

# GSM-boken

**Per Wallander**

*PERANT AB*

**Per Wallander**  
**GSM-boken**

Första upplagan

**ISBN 91-86296-09-4**

Innehållet i denna bok är skyddat enligt Lagen om upphovsrätt, 1960:729, och får inte reproduceras eller spridas i någon form utan skriftligt medgivande av Per Wallander, som är copyrightinnehavare. Förbudet gäller hela verket såväl som delar av verket och inkluderar tryckning, kopiering, överföring till annat medium etc.

Copyright © Per Wallander 2000

Tryckt i Sverige / Printed in Sweden 2000  
Smegraf, Smedjebacken

---

Förlag

*PERANT*

Per Wallander Antenn AB  
Strandängsstigen 2, S-125 52 ÄLVSJÖ, SWEDEN  
mail: [per@perant.se](mailto:per@perant.se)  
<http://www.perant.se>

# INNEHÅLL

---

<b>1 — Det började 1949</b> .....	<b>9</b>
1.1 Före NMT .....	10
1.2 NMT-utvecklingen .....	12
1.3 Utvecklingen utomlands .....	14
1.4 G1 — Första generationen .....	15
1.5 Analogt tal och digital datakommunikation .....	16
1.6 GSM-utvecklingen .....	18
1.7 Digital radio i USA .....	19
1.8 Digital radio i Japan .....	20
1.9 Personkommunikation .....	21
1.10 G2 — Andra generationen .....	22
1.11 Högre datahastighet i GSM .....	24
1.12 Datakommunikation i USA och Japan .....	26
1.13 GSM mot tredje generationens mobiltelefoni .....	27
1.14 Standardisering mot tredje generationen .....	28
1.15 Kommunikationsradio .....	33
1.16 GSM-varianter .....	35
1.17 Trådlösa telefoner .....	36
1.18 GSM frekvensplan .....	38
<b>2 — Vad händer när man ringer?</b> .....	<b>41</b>
2.1 Blockschema .....	42
2.2 Talets väg genom ficktelefonen .....	44
2.3 Sedan kommer signalen till basstationen .....	45
<b>3 — Fasta telenätet</b> .....	<b>47</b>
3.1 Signalerings- och trafikkanaler .....	48
3.2 Mellanstationssignalering .....	50
3.3 Systemstruktur för PSTN-nätet .....	52
3.4 Systemstruktur för ISDN-nätet .....	53
3.5 Telefonnumret .....	54
3.6 Signaleringsnät CCITT #7 (SS7) .....	56
<b>4 — GSM:s kravspecifikation</b> .....	<b>59</b>
4.1 Grundläggande krav .....	60
4.2 GSM Association, tidigare GSM MoU .....	62
4.3 Grundläggande funktioner, bastjänster .....	63
4.4 Bärartjänster och teletjänster .....	64
4.5 GSM Phase 1 .....	66
4.6 GSM Phase 2 .....	68
4.7 GSM Phase 2+ .....	69

<b>5 — Systemstruktur för GSM-nätet</b> .....	<b>71</b>
5.1 Ficktelefonen MS .....	72
5.2 Basstationen BTS .....	73
5.3 Basstationsstyrutrustningen BSC .....	74
5.4 Mobilteleväxeln MSC .....	75
5.5 Trunknätet och GMSC .....	76
5.6 Databaser för abonnentinformationen, HLR och VLR .....	77
5.7 Komplettering av signaleringsnätet .....	78
5.8 Inloggning i utlandet .....	79
5.9 GSM-områden .....	81
5.10 Hur många nätelement? .....	83
<b>6 — GSM-nätets delsystem</b> .....	<b>85</b>
6.1 GSM-nätets delsystem .....	86
6.2 Switching System, SS .....	87
6.3 Base Station System, BSS .....	89
6.4 Mobile Station, MS .....	90
6.5 Drift- och underhåll, OMC .....	91
6.6 Telecommunications Management Network, TMN .....	92
<b>7 — Nummer</b> .....	<b>93</b>
7.1 I fasta telenäten (PSTN- och ISDN-näten) .....	94
7.2 I GSM-näten .....	95
<b>8 — Sekretess- och säkerhetsfunktioner i GSM-nätet</b> .....	<b>101</b>
8.1 Säkerhetsfunktioner .....	102
8.2 Autenticering .....	103
8.3 Kryptering .....	104
8.4 Identitetssekretess .....	105
<b>9 — Så ringer man i GSM-nätet</b> .....	<b>107</b>
9.1 Ficktelefonen i vila .....	108
9.2 Samtal till eller från en ficktelefon .....	110
9.3 Om du befinner dig utomlands .....	113
<b>10 — Taxering</b> .....	<b>115</b>
10.1 Att ta betalt .....	116
10.2 Taxeringsinformation — mätning och registrering av samtal ...	117
10.3 Insamling av TT-poster och efterbearbetning .....	118
10.4 Vad kostar ett samtal? .....	119
10.5 Taxeringsprinciper .....	120
10.6 Framtiden .....	122
<b>11 — Tidluckor och logiska kanaler</b> .....	<b>125</b>
11.1 Att prata genom en tidlucka .....	126
11.2 Tidluckor i fasta telenäten .....	130
11.3 Tidluckor i GSM .....	132
11.4 Fördelen med tidluckor .....	133
11.5 Timing Advance, TA .....	134
11.6 GSM-frekvenserna .....	135

11.7	Flera sändare/mottagare (TRX) på varje basstation . . . . .	136
11.8	När man slår på sin ficktelefon . . . . .	138
11.9	TRX1 — nedlänk . . . . .	140
11.10	TRX1 — upplänk . . . . .	142
11.11	Tidluckor som används för trafikförbindelser . . . . .	143
11.12	De speciella signaleringskanalerna . . . . .	144
11.13	Dataskurar (bursts) i GSM . . . . .	146
<b>12</b>	<b>— Talkodning . . . . .</b>	<b>149</b>
12.1	Källkodning . . . . .	150
12.2	Vågformskodning . . . . .	151
12.3	Avancerad talkodning . . . . .	152
12.4	Excitationskodning . . . . .	154
12.5	DTX (Discontinuous Transmission) . . . . .	158
12.6	Tredje generationens GSM-talkodare . . . . .	159
<b>13</b>	<b>— Från databit till radiosymbol . . . . .</b>	<b>161</b>
13.1	Databitar, radiosymboler och C/I . . . . .	162
13.2	Cellmönster . . . . .	164
13.3	Sinusspänningen . . . . .	166
13.4	Radiosymbolerna i GSM . . . . .	168
13.5	GMSK . . . . .	171
13.6	Hur databiten mappas på radiosymbolen . . . . .	174
13.7	När man slår på sin ficktelefon . . . . .	176
<b>14</b>	<b>— Vad händer på radiosträckan? . . . . .</b>	<b>179</b>
14.1	Fri sikt mellan antennerna . . . . .	180
14.2	Länkbudget . . . . .	181
14.3	Hinderdämpning . . . . .	182
14.4	Vågutbredningsmodeller . . . . .	184
14.5	Reflexer . . . . .	186
14.6	Korta reflexer . . . . .	188
14.7	Långa reflexer . . . . .	192
14.8	Utjämnare och datadetektor . . . . .	196
<b>15</b>	<b>— Kanalkodning . . . . .</b>	<b>201</b>
15.1	Informationsbitar, databitar och symboler . . . . .	202
15.2	Kontrollsumma . . . . .	203
15.3	Felrättning med blockkoder . . . . .	204
15.4	Felminimering med faltningskoder . . . . .	205
15.5	Interleaving och frekvenshopp . . . . .	210
15.6	Kanalkodning vid GSM tal (full rate) . . . . .	212
15.7	GSM kanalkodning på andra kanaler . . . . .	214
15.8	AMR (Adaptive Multi Rate) . . . . .	216
15.9	ARQ (Automatic Retransmission Request) . . . . .	218
<b>16</b>	<b>— SMS-tjänsten . . . . .</b>	<b>221</b>
16.1	SMS — säker kommunikation . . . . .	222
16.2	SMS från ficktelefonen, SMS-MO/PP . . . . .	224
16.3	SMS till ficktelefonen, SMS-MT/PP . . . . .	226

---

<b>17 — Datakommunikation</b> .....	<b>229</b>
17.1 Datakommunikation 9,6 kbit/s och 14,4 kbit/s .....	230
17.2 HSCSD — High Speed Circuit Switched Data .....	233
<b>18 — GPRS</b> .....	<b>235</b>
18.1 Effektivt utnyttjande av tid och frekvens .....	236
18.2 Nätstrukturen i GPRS .....	238
18.3 Inloggning utomlands .....	240
18.4 Paketerna i GPRS .....	242
18.5 Kanalkodning i GPRS .....	244
18.6 Tidluckor i GPRS .....	246
18.7 52-multiframe i GPRS .....	247
18.8 Logiska kanaler i GPRS .....	248
18.9 MS (Mobile Station) för GPRS-tjänster .....	249
18.10 Så ringer man med GPRS-telefon .....	250
<b>19 — EDGE</b> .....	<b>253</b>
19.1 EDGE — Enhanced Data rates for GSM and TDMA/136 evolution .....	254
19.2 EGPRS — Enhanced GPRS .....	255
19.3 ECSD — Enhanced Circuit Switched Data .....	256
19.4 Radiotekniken i EDGE .....	258
19.5 Radiosymbolerna i EDGE .....	260
<b>20 — CDMA-system</b> .....	<b>263</b>
20.1 Standardiseringsorganen går samman i 3GPP .....	264
20.2 cdmaOne .....	266
20.3 Kapacitetsberäkning för cdmaOne .....	272
20.4 cdmaOne, cdma2000/X1 och cdma2000/X3 .....	274
20.5 UMTS/WCDMA .....	275
<b>21 — CDMA-tekniken</b> .....	<b>277</b>
21.1 Digital modulering .....	278
21.2 Digital modulering med spridningskod .....	279
21.3 Processing gain .....	281
21.4 Bandspridning ger skydd mot korta och långa reflexer .....	282
21.5 CDMA-sändaren .....	283
21.6 CDMA-mottagaren .....	285
21.7 Ortogonala koder .....	286
21.8 Walsh-modulering .....	288
<b>22 — Telekommunikationshistoria</b> .....	<b>289</b>
<b>INDEX</b> .....	<b>309</b>

# Förord

GSM-boken är en berättelse om GSM-systemet och dess utveckling i riktning mot tredje generationens mobiltelefoni med WCDMA.

Mitt mål har varit att förklara vad som händer, inte på ett matematiskt utan på ett så fysikaliskt korrekt sätt som möjligt. Avsnitten om modulering och CDMA-tekniken avviker därför en del från det vi är vana vid, utan att för den skull ligga på en fysikaliskt lägre nivå.

Älvsjö i november 2000







# 1 — Det började 1949

---

Varför ser GSM ut som det gör? Vilka faktorer påverkar utformningen av tredje generationens mobiltelenät, WCDMA?

Enklast besvaras den frågan genom att följa den historiska utvecklingen inte bara i Europa utan även i USA och Japan. Vi skall se varför GSM-systemet kom att se ut som det gör och, ännu viktigare, hur detta i sin tur påverkar utformningen av tredje generationens mobiltelesystem. Det är inte bara de fysikaliska lagarna som sätter gränser, utan även vårt teknikhistoriska arv, tidigare generationer mobiltelefoni.

Denna historiska vandring kommer att ta oss genom några förkortningar:

MTL  
MTA  
MTB  
MTC – NMT  
MTD  
Comvik 450  
NMT 450  
NMT 900  
AMPS  
TACS  
C-Netz  
Radiocom 2000  
Mobitex  
GSM 900  
D-AMPS  
NADC  
IS-54  
IS-136  
TDMA  
American TDMA

TDMA/136  
CDMA/IS-95  
PDC  
PCN  
DCS 1800  
GSM 1800  
PCS 1900  
DCS 1900  
cdmaOne  
HSCSD  
GPRS  
CDPD  
i-mode  
EDGE  
ECSD  
EGPRS  
ITU — ITU-T — ITU-R  
FPLMTS  
IMT-2000  
ETSI  
UMTS  
UTRA  
UTRAN  
WCDMA  
TD-CDMA  
ARIB  
PHPS  
cdma2000  
MRT  
MRG  
TETRA  
E-GSM  
GSM-R  
GSM-Pro  
CT1  
CT2  
DECT (DCT 1800)

## 1.1 Före NMT

I Sverige började det redan 1949 när dåvarande Telestyrelsen gav civilingenjörerna Ragnar Berglund (radioexpert) och Sture Lauhrén (reläexpert) i uppdrag att utforma ett mobiltelefonsystem, där samtal skulle kunna utväxlas helautomatiskt på samma sätt som i det fasta telenätet.

Den 3 december 1950 lyckades Sture Lauhrén ringa Fröken Ur från bilen genom att slå numret på nummerskivan, världens första helautomatiskt uppkopplade mobiltelefonsamtal. På den tiden kopplades riksamtal i fasta telenätet av telefonist. Man hade just automatiserat sträckan Norrköping – Linköping, och först 1954 gick det att ringa helautomatiskt Stockholm – Göteborg. På andra håll i världen experimenterade man med manuella mobiltelefonsystem, där samtalen kopplades av telefonist. Det svenska provsystemet uppmärksammades och fick besök av både amerikaner och japaner.

### 1956 – 1969: MTL som senare bytte namn till MTA

Provsystemet fungerade så väl att man beslutade öppna två mobiltelenät för allmänheten, ett i Stockholm och ett i Göteborg. Starten skedde 1956 och näten fick beteckningen MTL, *System Lauhrén*. Systemet levde kvar till 1969 och hade 125 abonnenter, 69 i Stockholm och 56 i Göteborg.

Knappt hade MTL tagits i drift förrän man påbörjade utveckling av ett förbättrat system. Framför allt ville man komma bort från det stora antalet elektronrör i de mobila enheterna. Det förbättrade systemet fick beteckningen MTB, *System Berglund*. Samtidigt ändrades MTL till MTA för att beteckna det första systemet.

### 1965 – 1983: MTB

År 1965 öppnades system MTB med radionät i Stockholm, Göteborg och Malmö. MTB fick totalt 660 abonnenter. System MTB utvecklades 1983.

### 1967: MTC

I början av 1960-talet fanns alltså två väl

fungerande helautomatiska mobiltetefon-system, MTA och MTB, men mobiltelefonerna kunde bara användas inom sitt "hemmanät". Inget av systemen var lämpat för en mer omfattande geografisk utbyggnad. Därför föreslogs utveckling av ett system MTC (namnet ändrades senare till NMT) där mobilerna skulle kunna förflytta sig inom systemets hela geografiska täckningsområde, och mobilerna skulle ligga i sådan prisklass att systemet hade förutsättningar att nå kommersiell framgång.

### 1969: MTC ändras till NMT

Redan på den tiden insåg man betydelsen av en stor marknad för att få ner priset på mobiltelefonerna. Därför bildades vid nordiska rådets möte 1969 en arbetsgrupp, NTR 69-5, Nordiska Mobiltelefongruppen, som fick i uppdrag att studera möjligheterna till en gemensam nordisk standardisering inom mobiltelefonområdet.

Genom den gemensamma satsningen fick de nordiska teleförvaltningarna ekonomiska och personella resurser att utveckla ett modernt automatiskt mobiltelesystem. Samtidigt blev marknaden så stor att många av världens ledande industriföretag inom radio- och telesektorn vågade investera i eget utvecklingsarbete.

Beslutet vid nordiska rådets möte 1969 ledde till att Norden i början av 1980-talet kunde ta världens modernaste och första internationella automatiska mobiltelefon-tjänst i bruk.

### 1964: Privata mobiltelefonnät

Även privata företag var intresserade av att starta mobilfontjänst. År 1964 erhöll Wikanders Ur & Optik i Jönköping frekvenser för mobiltelefoni i 35 svenska städer, och tillstånd att koppla samtal till/från Televerkets fasta nät, med begränsningen att kopplingen skulle skötas av telefonist. Helautomatisk koppling av samtal mellan olika operatörers nät innebar risk för att något av näten skulle "hänga" sig.

Verksamheten växte och 1969 hade bolaget, nu med namnet Telelarm Mobilte-

lefon AB, en landsomfattande manuell mobiltelefon-tjänst med 95 basstationer och 1500 abonnenter.

Några mindre mobiltelefonoperatörer gick 1971 samman och bildade Nordiska Biltelefonväxeln (NOBAB) med manuella mobiltelefonnät i Stockholm, Göteborg och Malmö. När bolagen år 1979 tillsammans hade 2500 abonnenter köptes de av Företagstelefon i Sverige AB.

#### 1970 – 1987: MTD

NMT-systemet skulle inte bli klart att tas i bruk förrän tidigast i slutet av 1970-talet. För att konkurrera med de privata manuella mobiltelefonnäten startade Televerket en manuell mobiltelefon-tjänst år 1970 i de frekvensband som hade reserverats för det kommande NMT 450-systemet. Den manuella (telefonistexpedierade) tjänsten fick beteckningen MTD.

MTD fortsatte att växa ända fram till NMT 450-starten 1981 och hade som mest 19 500 abonnenter. MTD-nätet stängdes 1987.

#### 1981 – 1996: Comvik 450

År 1980 köptes Företagstelefon av Kinnevik, som döpte om bolaget till Comvik. Viktigaste tillgången i Comvik var rätten att bedriva mobiltelefoni samt frekvenser i 450 MHz-bandet. Comvik införde helautomatisk koppling av samtal från Televerkets fasta nät till sina mobiltelefonkunder, eftersom man

ansåg att detta inte skulle kunna påverka televäxlarna i Televerkets nät. Efter påtryckningar lyckades man även få tillstånd att koppla samtal automatiskt till Televerkets fasta nät, och kunde starta ett helautomatiskt mobiltelefonsystem (Comvik 450) i augusti 1981, en dryg månad före NMT 450-starten. Comvik hade som mest ca 20 000 abonnenter i sitt 450 MHz-system, som stängdes 31 mars 1996.

#### Röstbrevlåda och koppling till personsökare

Televerkets mål var att skapa ett mobiltelefonnät, så likt det fasta telenätet som möjligt, medan Comvik utvecklade mobiltelefon-tjänsten för att konkurrera om kunderna. Man använde telefonisterna från de manuella mobiltelefonnäten för tjänsten "telefonpassning". Dåtidens mobiltelefoner var fordonsmonterade, eller placerade i "bärväska". Comvik utnyttjade sitt personsökningsnät Metagram för att nå abonnenter som inte befann sig vid mobiltelefonen, och på personsökaren lämnades uppgift om vem som ringt.

Denna konkurrens ledde till att även Televerket tvingades införa tjänster i sitt NMT 450-nät som aldrig planerats från början. I dag är det självklart att GSM-telefonen kopplas till röstbrevlåda och att numret på den som försökt nå oss visas i GSM-telefonens teckenfönster.

**MTA (1956 – 1969):** Världens första helautomatiska mobiltelefonsystem, med 125 abonnenter i Stockholm och Göteborg

**MTB (1965 – 1983):** Efterföljaren till MTA med sammanlagt 660 abonnenter, i Stockholm, Göteborg och Malmö

**Privata manuella mobiltelefonnät (1964 – 1980):** Hade 1969 ungefär 1500 abonnenter fördelade på 95 basstationer över hela landet

**MTD (1970 – 1987):** Televerkets manuella mobiltelefonnät för att konkurrera med de privata mobiltelefonnäten. MTD hade som max 19 500 abonnenter 1981

## 1.2 NMT-utvecklingen

### Förarbetet

Som grund för NMT-specifikationen låg kraven på system MTC:

- Trafikmöjligheter och handhavandet skulle i så stor utsträckning som möjligt överensstämma med vad som gäller för den fasta telefontjänsten.
- Fordonsstationerna (mobiltelefonerna) skulle kunna trafikera en lokal basstation lika väl som samtliga basstationer i ett landsomfattande system, vilket nu utvidgades till att omfatta Sverige, Norge, Danmark och Finland.
- Alla samtal skulle kopplas via det publika telenätet (via basstationer), även samtal mellan två mobiltelefoner.
- Avvägningen mellan egenskaper och kostnad skulle göras så att systemet hade förutsättning att nå kommersiell framgång.
- De mobila radiostationerna skulle vara anpassade till "Telestyrelsens tekniska bestämmelser för landmobila radioanläggningar med 25 kHz kanalseparation" och vara mångkanaliga. Som frekvensband föreslogs 400 MHz-bandet.

Hösten 1971 inleddes informations- och diskussionsmöten med industrin. Dominerande företag i mobilradiobranschen var vid denna tid Svenska Radio AB, Storno, Motorola och AP.

Den täta kontakten med industrin hade avgörande betydelse vid framtagningen av NMT. Detta samarbete mellan industrin och systemutvecklare spelade senare en framträdande roll vid GSM-utvecklingen, först mellan industrin och CEPT, och efter 1987 inom ETSI där industrin ingår som fullvärdig part.

Vid nordiska telekonferensen 1975 togs de avgörande besluten. Man uppskattade att systemet skulle kunna tas i drift tidigast i slutet av 1970-talet och att systemets livslängd skulle vara minst 15 år. Telekonferensen beslutade vidare att ett provsystem skulle byggas.

Systemprovet genomfördes 1977 – 78 i Stockholm med en experimentväxel där

hårdvaran konstruerats vid Televerkets Radiolaboratorium i Farsta, och mjukvaran utvecklats av norska televerkets forskningsinstitut. Som mobiltelefoner utnyttjades tio modifierade MTD-telefoner.

År 1978 placerade Televerket sin första order på basstationer för NMT. Ordern gick till japanska Mitsubishi respektive svenska Magnetic med Svenska Radio AB som underleverantör. Bland växelleverantörerna, främst Hitachi, Motorola och NEC, ville samtliga nordiska länder ha Ericssons AXE-växel med tilläggsfunktioner för mobiltelefoni. Det krävdes emellertid påtryckningar. Ericsson hade vid denna tidpunkt en reserverad inställning till ett engagemang inom mobiltelefoni.

### Första NMT-systemet: Saudi-Arabien

I slutet av 1970-talet vann Ericsson tillsammans med Philips i Holland en anbudstävling om att bygga ett nytt landsomfattande telefonnät för Saudi-Arabien, i konkurrens med AT&T och ITT. Saudi-kontraktet var det största som någonsin tecknats i telekommunikationsvärlden. År 1979 utvidgades kontraktet till att även omfatta ett mobiltelefonsystem. Philips höll på att utveckla ett mobiltelefonsystem i 160 MHz-bandet, men det visade sig omöjligt att utnyttja dessa frekvenser i Saudi-Arabien. Den enklaste lösningen blev att Ericsson levererade ett NMT 450-system. Sålunda kom det sig att världens första NMT 450-system öppnades i Saudi-Arabien 1 september 1981.

### NMT 450 öppnas i Norden

Den 1 oktober 1981 öppnades NMT 450 i Sverige, och ungefär samtidigt i Norge, medan starten i Danmark och Finland dröjde till början av 1982.

Tillströmningen av kunder blev större än väntat. Den 1 juli 1983 fanns i Sverige 18 000 NMT 450-abonnemang, 50 000 i hela Norden. I juli 1984 hade antalet ökat till 37 000 i Sverige och 100 000 i hela Norden. Framkomligheten i Stockholm, Göteborg och Malmö blev allt sämre. Antalet samtidiga samtal per radiocell var begränsat av till-

gängliga frekvenskanaler. Enda möjligheten var att dela upp cellerna i mindre enheter, och småcelltekniken fick världspremiär i Stockholm i februari 1985.

### NMT 900

Redan 1983 insåg man att frekvenserna i 450 MHz-bandet inte skulle räcka tills nästa generation mobiltelefonsystem blev klart att införas (GSM). Därför utarbetade den nordiska NMT-gruppen 1985 en specifikation för NMT 900. På samma sätt som det manuella MTD hade klarat abonnenttillströmningen i väntan på NMT, så skulle NMT 900 ta hand om abonnenttillströmningen, på GSM-frekvenserna, i väntan på att GSM blev klart att införas.

I NMT 900-specifikationen infördes förbättringar jämfört med NMT 450. En viktig förbättring var batterisparfunktion (ficktelefonen vet när den skall lyssna på basstationen och kan "sova" däremellan). Batterisparfunktionen möjliggjorde införandet av ficktelefoner.

Den 1 december 1986 öppnades NMT 900 i Sverige och Norge. Introduktionen gick trögt. NMT 900 var bara utbyggt i storstadsregionerna. Televerket tvingades därför att bygga ut NMT 900-täckningen och vid mit-

ten av 1991 var täckningen nästan likvärdig med NMT 450.

Tillväxten i NMT 900 tog fart. Vid slutet av 1995 fanns 750 000 abonnemang i Sverige. Även NMT 450 ökade, och toppen nåddes 1994 med 260 000 svenska NMT 450-abonnemang.

I september 1992 öppnade Comviq och Europolitian sina GSM-nät. Televerket öppnade sitt GSM-nät i november. I takt med abonnenttillströmningen i GSM-näten har NMT 900 återlämnat frekvenser till GSM-näten. NMT 900 lånade ju frekvenserna i väntan på GSM. Den 31 december 2000 stängdes NMT 900-nätet i Sverige.

### GSM 450 eller CDMA 450

Inom ETSI pågår standardisering som skall resultera i en digital efterföljare till NMT 450, ett GSM-system i 450 MHz-bandet, som skall kunna erbjuda alla de tjänster som utvecklas för GSM, datakommunikation med GPRS och högre datahastigheter med EDGE-tekniken.

I USA utvecklas ett CDMA-baserat system för 400 MHz-bandet, CDMA 450.

400 MHz-bandet är intressant i glesbygd, eftersom den lägre frekvensen ger längre räckvidd och dessutom lättare tar sig igenom vegetation. Framtiden får utvisa om efterföljaren till de analoga systemen i 400 MHz-bandet blir GSM-baserade som ett komplement till GSM-tekniken på övriga frekvensband, eller CDMA-baserad som komplement till tredje generationens WCDMA-teknik på högre frekvensband.

**Comvik 450 (augusti 1981 – mars 1996):** Helautomatiskt rikstäckande privat mobiltelenät

**NMT 450 (oktober 1981 – ):** Televerkets rikstäckande helautomatiska mobiltelenät

**NMT 900 (december 1986 – 31 december 2000):** Televerkets NMT-nät på GSM-frekvenserna, i väntan på GSM

## 1.3 Utvecklingen utomlands

### AMPS i USA

Samtidigt med NMT-utvecklingen i de nordiska länderna utvecklades i USA ett automatiskt mobiltelefonsystem i 800 MHz-bandet som fick namnet AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Ett provsystem byggdes i Chicago 1979. AMPS togs i kommersiell drift 1983.

### ”Roaming”

AMPS och NMT uppvisar stora likheter vad gäller radiotekniken. Skillnaden ligger på nät-sidan. NMT konstruerades med många samverkande mobilteleväxlar, och abonnenterna skulle kunna ströva omkring (roaming) och överallt ringa och ta emot inkommande samtal. NMT är det första mobiltelefonsystemet med ”internationell roaming”

Frekvenstillstånd för mobiltelefoni har i USA auktionerats ut i konkurrens, inte ”riks-täckande” för hela USA, inte för varje enskild delstat, utan i varje stad. Därför finns i USA många små mobiltelefonoperatörer som bara har tillstånd att erbjuda mobiltelefoni i den eller de städer där operatören lyckats köpa frekvenstillstånd. Därför fanns ursprungligen inget behov av att koppla ihop flera mobilteleväxlar. AMPS saknade därför roamingfunktion.

Sedan början av 1990-talet finns i USA en kompletterande standard ANSI 645 för mobiltelefonsystemets nätdel, som även

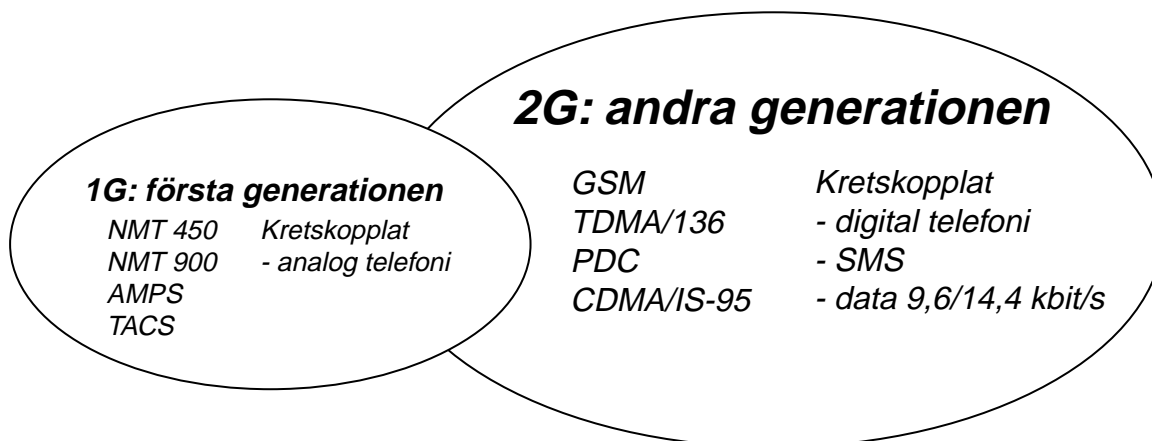
innefattar roamingfunktionalitet.

### TACS i England

År 1985 öppnades analoga mobiltelefonsystem på andra håll i Europa, med start i England, som valde AMPS-teknik utvidgad med NMT-systemets roamingfunktion. Denna analoga mobiltefonteknik fick namnet TACS (Total Access Communication System).

NMT 900-system installerades förutom i Sverige, Norge, Finland och Danmark, även på Island, i Holland och Schweiz, där svenska abonnenter med NMT 900-telefoner kunde ringa eller bli nådda.

NMT 450-system finns/fanns förutom i ovan nämnda länder även i de baltiska staterna, i delar av Ryssland, och på många andra håll i världen. Det var emellertid inte säkert att en svensk NMT 450-telefon med svenskt abonnemang kunde användas bara för att landet hade ett NMT 450-system. Dels fanns tekniska skillnader. I vissa länder ligger NMT 450 på något avvikande frekvenser. Dessutom måste det finnas affärsmässiga avtal som möjliggör för operatören att få betalt för samtal som rings till/från dessa besöksabonnenter som är kunder hos helt andra mobiloperatörer.



## 1.4 G1 — Första generationen

### Analog kretskopplad telefoni

Första generationens mobiltelesystem erbjuder tjänsten analog kretskopplad telefoni. Sådana nät byggdes under 1980-talet.

### Europa

I Europa byggdes analoga mobiltelenät som antingen följde NMT 450-specifikationen eller någon AMPS-variant. Exempel på AMPS-varianter är Comvik 450, TACS, Netz-C (Tyskland) eller Radiocom 2000 (Frankrike). Flertalet europeiska länder placerade dessa mobiltelesystem i 400 MHz-bandet, och i några länder byggde man kompletterande system i 900 MHz-bandet när man fick kapacitetsbrist i 400 MHz-bandet. Med

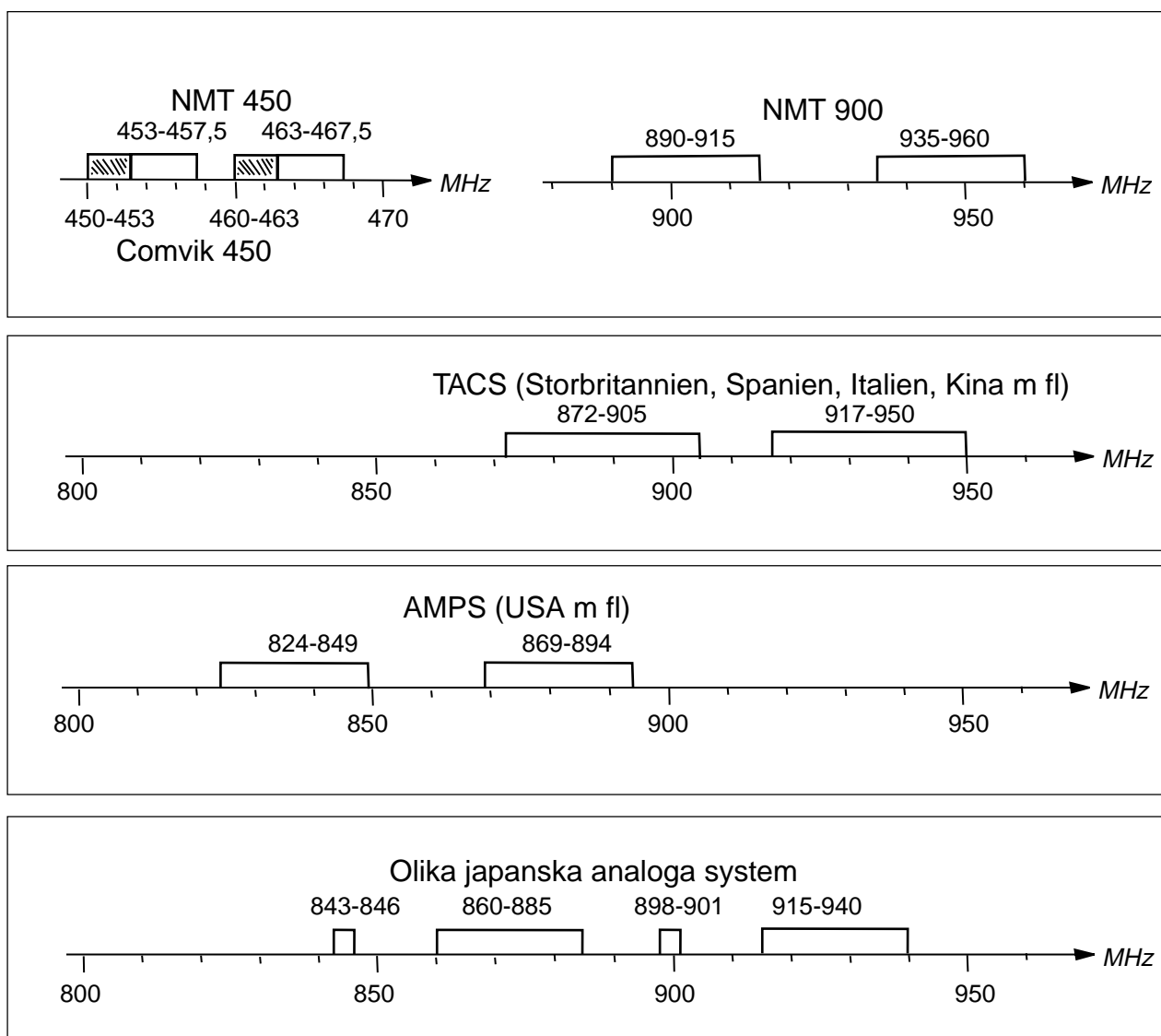
ett undantag. I bl.a. England förlade man sina TACS-system i 900 MHz-bandet redan från början. Detta innebar, som vi skall se, att England fick problem med GSM-frekvenser när GSM skulle införas. Alltför stor del av 900 MHz-bandet var ockuperat av första generationens mobiltelesystem.

### USA

I USA var 800 MHz-bandet avdelat för mobiltelefoni. Det var i detta frekvensband man byggde sina AMPS-nät.

### Japan

De japanska analoga näten byggdes i japanska 800 – 900 MHz-bandet.



## 1.5 Analogt tal och digital datakommunikation

### Digitala signaler i PSTN-nätet

När vi vill överföra digital information, t.ex. telefonnumret vid uppkoppling, så omvandlas telefonnumrets siffror till tonsignaler (DTMF, Dual Tone Multi Frequency).

När vi kopplar upp vår dator till Internet, då låter vi ett telefonmodem omvandla datorns digitala signaler till ljudsignaler som kan skickas över analoga telenätet.

Faxen gör en digital avbildning av texten/bilden, och utnyttjar ett modem som finns inbyggt i faxen.

### Modem inne i NMT-telefonen

Även i NMT-telefonen finns ett modem (1200 bit/s) för att skicka telefonnumret vid samtalsuppkoppling. Det är även denna modemförbindelse som utnyttjas när ficktelefonen beordras att byta basstation under pågående samtal (hand over). Modemtonerna filtreras bort i NMT-telefonen så att abonnenten inte hör "kvittret".

### Koppla eget modem till NMT-telefonen

Det gick alldeles utmärkt att ansluta ett vanligt telefonmodem eller en vanlig fax avsedd för PSTN-nätet till en NMT-telefon. Om radioförbindelsen var störningsfri kunde man komma upp i 19,2 kbit/s. Men detta hörde till ovanligheterna.

### Digitala system — inbyggt modem (radiomodem)

I andra generationens mobiltelesystem går alla signaler genom modemmet i mobiltelefonen. Modemet kallas radiomodem. De digitala mobiltelesystemen kan bara överföra digital information. Därför måste talsignalen "översättas" till digital form, en översättning som utförs av talkodaren.

Radiomodemet skiljer sig från det vanliga telefonmodemet genom att utnyttja "ljudsignaler" som lättare kan urskiljas vid de störningar som finns på en radioförbindelse. Det vanliga telefonmodemet är optimerat för så hög datahastighet som möjligt när man bara har kvantiseringsbruset att ta hänsyn till i PSTN-nätet.

Första generationens mobiltelefonsystem erbjöd bara tjänsten analogt kretskopplat tal. Det stod abonnenten fritt att själv koppla in modem och skicka data, men detta var ingen tjänst som garanterades av mobiloperatören.

### MOBITEX

Datakommunikation via mobiltelefon var något man började intressera sig för i slutet av 1970-talet, när NMT-utvecklingen var avklarad. På Televerket Radio i Göteborg hade man utvecklat ett helautomatiskt telexsystem för världsomspännande kortvägs trafik med sjöfarten, MARITEX. Detta följdes av MOBITEK, ett mobiltelesystem för paketförmedlad datakommunikation.

Man utnyttjade NMT-telefonens inbyggda modem, det som användes för samtalsuppkoppling, och konstruerade ett radiosystem där abonnenten kunde skicka egen datatrafik via NMT-modemet. Och systemet var paketförmedlande, inte kretskopplat.

### Kretskopplat kontra paketförmedlande

Att koppla upp en samtalsförbindelse tar tid, både för abonnenten och för telefonväxeln. Denna uppkopplingstid spelar liten roll om själva samtalet är långt eller om det är en lång datafil som skall överföras. Och även om datafilen är kort men det bara är en enda fil, så spelar uppkopplingstiden ingen roll. Upp- och nedkoppling måste alltid göras.

Om jag däremot behöver skicka många korta datafiler utspridda över lång tid? Skall jag koppla upp för varje enskild datafil, eller koppla upp och betala för döttiden mellan varje datafil? Många korta samtal är besvärligt för abonnenten, och ett ännu större problem för operatören, som inte tar betalt för uppkopplingstiden utan bara för själva samtalstiden. Dessutom riskerar operatören att få korta snuttar av döttid på sina förbindelser, tid som inte kan säljas.

Långa uppkopplingar ger visserligen hög "uthyrningsgrad" av förbindelserna, men



taxan kanske ändå inte kan sättas i proportion till kostnaderna, och tillgängligt frekvensspektrum klarar bara ett mindre antal samtidigt uppkopplade abonnenter, trots att den överförda datavolymen är liten.

En effektivare metod är att låta många abonnenter koppla upp sig samtidigt på samma förbindelse. När någon inte skickar data kan andra ta över. Men om flera skickar samtidigt? Paketkollision! Då får mottagarna begära omsändning. Men hör du inte alla andra? Nej, varje datapaket har en adresslapp så att du kan sortera ut de datapaket som är avsedda för dig.

### **MOBITEX: analogt tal och data**

I början av 1980-talet var det svårt att hitta kunder till ett pakettörmedlande datanät därför att kunderna även ville ha talförbindelse. Mobitex blev därför ett kombisystem, där den analoga kanalen användes för kretskopplad taltrafik, medan radiomodemet utnyttjades i ett pakettörmedlande datanät (1200 bit/s). 1986 öppnades Mobitex i Sverige, i 80 MHz-bandet, på frekvenser som blev lediga när MTB stängdes.

### **Nästan ett andra generationens mobiltelenät**

Med andra generationens mobilnät menas ett nät som kan erbjuda digitalt kretskopplat tal och låghastighetsdata, digitalt tal för att kunna kryptera så att talförbindelsen blir avlyssningssäker. Mobitex kan sägas ha nått halvvägs.

Tio år senare, 1995, öppnades i USA ett pakettörmedlat datanät som kombinerades med analoga AMPS-systemet. Denna kombination har stora likheter med Mobitex.

### **MOBITEX 8k i 400 MHz och 800 MHz**

Ericsson fick överta utveckling och marknadsföring av Mobitex på världsmarknaden. Mobitex vidareutvecklades. Kunderna uppnådde större datormognad. Man tog bort talkanalen så som ursprungligen var tänkt, och utvecklade radiomodemet så att datahastigheten kunde höjas till 8 kbit/s, Mobitex 8k.

Ute i Europa fanns operatörer som fick lägga Mobitexsystem i 400 MHz-bandet, och för USA och Kanada byggdes Mobitex-

system för 800 MHz-bandet. Den högre frekvensen gjorde det möjligt att använda handterminaler. I dag finns Mobitex 8k i 400 MHz-bandet även i Sverige.

### **Utvecklingen inom datakommunikation**

På 1970-talet infördes i de fasta telenäten både kretskopplade datanät, DATEX, och pakettörmedlande datanät av X.25-typ, DATAPAK. Inget av dessa nät fick någon större tillströmning av privatabbonenter, helt enkelt för att man inte kunde experimentera på dessa nät. Det krävdes skraddarsydda applikationer, att man i förväg visste vad man ville göra, för att kunna koppla in sig.

Först när Internet kom, ett öppet protokoll tillgängligt för experimentlystna tonåringar, har privatabbonenterna lärt sig utnyttja datanät. 1999, nästan femton år efter Mobitexstarten, öppnades i Japan ett pakettörmedlande datanät i japanska digitala mobiltelenätet PDC, kallat i-mode, som blivit en enorm succe. Med i-mode kan tonåringarna komma ut på Internet från ficktelefonen.

Mobitex är paketradio på X.25-sätt, medan i-mode är paketradio på Internet-sätt.

## 1.6 GSM-utvecklingen

År 1978 hade Televerkets Radiolaboratorium i stort sett slutfört utvecklingen av NMT. I början av 1980-talet bildade de nordiska teleoperatörerna en ny arbetsgrupp med uppgift att studera andra generationens mobiltelesystem vars introduktion ansågs ligga runt 1990.

### Gemensamt frekvensband

Vid WARC 79 (World Administrative Radio Conference år 1979) reserverades en del av 900 MHz-bandet för mobiltelefoni. De europeiska tele- och postmyndigheternas samarbetsorganisation CEPT beslöt att preliminärt reservera 2 delband om vardera 25 MHz (890 – 915 MHz och 935 – 960 MHz) i enlighet med WARC:s tilldelning.

### NMT – en gemensam europeisk standard?

I Norden pågick NMT 450-starten för fullt, i Tyskland planerades för Netz-C i 450 MHz-bandet, medan Storbritannien och Frankrike hade svårigheter att finna en lämplig väg inom mobiltelefonområdet. I juni 1982 enades emellertid France Telecom och British Post Office om att gemensamt införa NMT i 900 MHz-bandet. Det fransk-brittiska samarbetet kom emellertid inte till stånd. Så nära var det att Europa redan 1982 hade fått en gemensam mobiltelefonstandard. I stället valde Storbritannien TACS (Total Access Communication System), som är amerikanska AMPS försedd med "roaming", en funktion som NMT var först att utnyttja. Fransmännen valde en egen standard, Radiocom 2000.

### Groupe Spécial Mobile

Det blev till slut de nordiska teleoperatörerna tillsammans med Holland som i juni 1982 i CEPT föreslog att en grupp skulle bildas för att utarbeta tekniska och operativa lösningar för ett publikt europeiskt mobiltelefonsystem i 900 MHz-bandet. Gruppen fick namnet GSM (Groupe Spécial Mobile) och hade sitt första möte i Stockholm 1982. Till ordförande valdes Thomas Haug vid Televerkets Nätavdelning. Redan i de allra första dokumenten skissades grundläggande egenskaper

och funktioner som borde finnas i ett pan-europeiskt system, funktioner och egenskaper som också i huvudsak kom att bli verklighet.

Arbetet under de första åren resulterade 1985 i en funktions-specifikation som i stort motsvarade vad som angavs när GSM-gruppen bildades.

Frågan om det kommande systemet skulle vara analogt eller digitalt på radiosträckan diskuterades under flera år. I slutet av 1986 testades och utvärderades åtta experimentsystem i Paris. Fyra system kom från fransk-tyska konsortier där tre av systemen tillämpade bredbandig TDMA med 2 MHz kanalbredd. Fyra smalbandiga TDMA-system kom från Nokia, Elab i Norge, svenska Televerket och från Ericsson. Huvudargumentet mot bredbandig TDMA, som lämpar sig i storstäder och tätbefolkade områden, var att de skulle bli olönsamma i glest befolkade områden (bl.a. kortare räckvidd), argument nog så viktiga inte bara för länder som Finland, Norge och Sverige.

Våren 1987 beslöt GSM-gruppen att välja smalbandig TDMA med åtta tidluckor, och specifikationen fick stora likheter med det experimentsystem som levererats av Ericsson.

Standardiseringsarbetet innebar att jämka samman tekniskt kunnande och idéer från hela Europa. Flera gånger hotade arbetet att bryta samman därför att parterna stod långt från varandra. I dag inser vi fördelarna med en gemensam standard och är beredda att kompromissa. På den tiden var detta inte lika uppenbart. Utan Thomas Haugs förmåga att medla och övertala skulle det kanske aldrig blivit någon gemensam GSM-standard.

### SMG (Special Mobile Group)

GSM har blivit namnet på mobiltelesystemet (Global System for Mobile Communications) medan standardiseringen inom ETSI bedrivs i kommittéer som numera går under beteckningen SMG (Special Mobile Group).

## 1.7 Digital radio i USA

### D-AMPS (Digital AMPS)

I Europa hade man frilagt ett särskilt frekvensområde för andra generationens mobiltelesystem och hade därför full frihet att välja bandbredd för frekvenskanalen. Det blev 200 kHz, vilket möjliggör åtta samtidiga samtal på varje frekvenskanal.

I USA fanns inget frekvensband som kunde friläggas. Lämpligt frekvensutrymme utnyttjades redan av första generationens system, AMPS-systemet med 30 kHz kanalbredd. Dessutom började operatörerna få frekvensbrist och behövde få in fler samtal i befintligt frekvensutrymme.

År 1988 presenterade amerikansk industri och Ericsson var sitt förslag som gick ut på att få in tre samtidiga telefonsamtal i en 30 kHz-kanal. Detta skulle ge möjlighet att gradvis ersätta AMPS-basstationer med ny teknik, med början i de områden där frekvensbristen var som störst.

Det amerikanska förslaget innebar att dela radiokanalen i tre smalbandiga analoga kanaler, Narrow AMPS. Ericssons förslag var digitalt och baserat på tidluckor på samma sätt som GSM. Det skulle ge tre digitala samtal på en 30 kHz-kanal.

En gradvis övergång innebar att det måste finnas kombitelefoner som klarade både gamla AMPS och det nya systemet. Många tvivlade på möjligheten att få in både analog och digital radio i samma ficktelefon. Men det lyckades och Ericssons förslag valdes som standard, IS-54.

### Många namn: D-AMPS, NADC, IS-54, IS-136, TDMA, TDMA/136

Eftersom detta digitala system skulle ersätta de analoga AMPS-systemen så fick det namnet D-AMPS (Digital AMPS). Men beteckningen på standarden är IS-54, och i början förekom även NADC (North America Digital Cellular).

D-AMPS har utvecklats och finns numera även i det amerikanska 1900 MHz-bandet. För att slippa associationer med det analoga AMPS-systemet har man i USA övergått till beteckningen TDMA, eller Ame-

rican TDMA, eller IS-136 som är beteckningen på den nya standarden, eller TDMA/136 för att inte förväxlas med TDMA som är den allmänna förkortningen för all teknik som använder tidluckor. Även GSM är ju ett TDMA-baserat system.

### CDMA/IS-95, numera cdmaOne

I början av 1990-talet standardiserades ytterligare ett amerikanskt förslag, en efterföljare till AMPS som bygger på bandspridningstekniken CDMA.

CDMA standardiserades med beteckningen IS-95. Den första större marknaden för IS-95 blev inte USA utan Korea, där högskolor och universitet aktivt deltar i utvecklingsprocessen.

I GSM delar åtta abonnenter på samma radiosändare genom tidsdelning, TDMA. I CDMA/IS-95 har sändaren en frekvenskanal på 1,25 MHz och alla abonnenter använder hela frekvenskanalen under all tid, d.v.s. samtalen pågår hela tiden. Man skiljer de olika abonnenterna åt genom att koda varje databit med ett långt kodord. Mottagaren klarar att särskilja de olika kodorden från varandra, CDMA (Code Division Multiple Access).

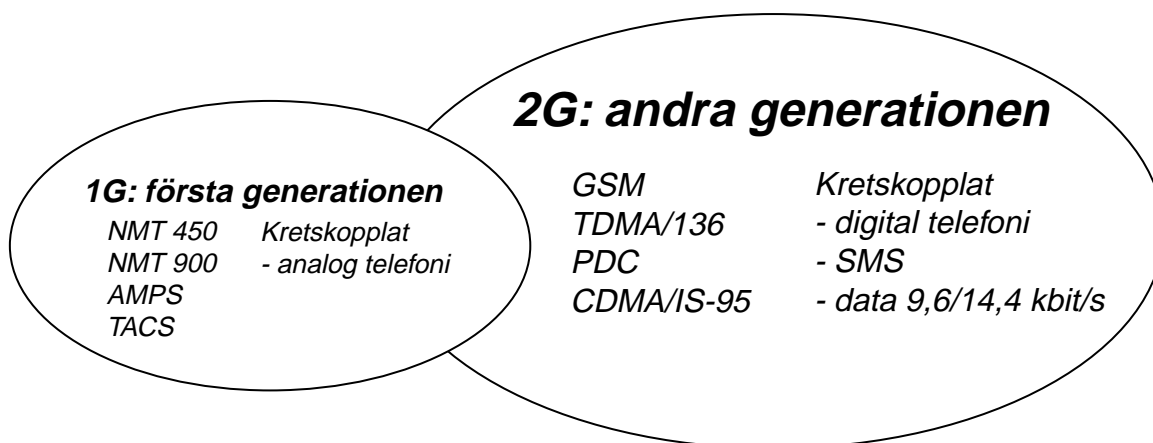
## 1.8 Digital radio i Japan

### PDC (Pacific Digital Cellular)

I Japan fanns ett flertal olika analoga mobiltelesystem i 800/900 MHz-bandet. Japanerna insåg fördelen med en gemensam standard, som ger stora tillverkningsserier, nödvändigt för att få ner priset på ficktelefonerna. Men man kunde inte frilägga de frekvensband som utnyttjades av GSM. Därför fick Ericsson uppdraget av de japanska myndigheterna att specificera ett D-AMPS-liknande system för den japanska marknaden. Detta system fick först beteckningen JDC (Japan Digital Cellular), men ändrades nästan omedelbart till PDC (Pacific Digital Cellular). PDC har ändå inte kunnat säljas utanför Japan utan är fortfarande ett renodlat japanskt system.

D-AMPS är konstruerat som en utvidgning av analoga AMPS. Nätutrustningen som styr AMPS, ANSI-41, har utvidgats till att även styra D-AMPS.

PDC skulle bli ett helt fristående digitalt system som inte bygger på några tidigare analoga system. Därför styrs PDC av dåtidens mest avancerade nätstyrutrustning, GSM-strukturen. Detta blev betydelsefullt i det japansk-europeiska samarbetet inför tredje generationens mobiltelesystem. Såväl i Japan som i Europa ville man bygga vidare på befintlig infrastruktur.



## 1.9 Personkommunikation

### PCN, DCS 1800 och GSM 1800

Begreppet PCN (Personal Communication Networks) skapades i England 1987 och kom så småningom att betyda en form av personlig telefon med personligt nummer, som man i England tänkte sig skulle ligga i 1800 MHz-bandet.

Tre operatörer fick licens med kravet att vara i drift 1994. Den enda teknik som skulle vara tillgänglig 1994 var DECT eller GSM, där GSM var ett säkrare val eftersom man kommit längre i standardiseringsarbetet. Därför gick de tre operatörerna till ETSI och bad att få en GSM-variant standardiserad i 1800 MHz-bandet. Det blev DCS 1800. Enda skillnaden mellan DCS 1800 och GSM är frekvensområdet och lägre uteffekt. Därför talar vi i dag oftare om GSM 1800 än om DCS 1800. (DCT 1800 är Ericssons benämning på DECT!)

### Kombitelefoner 900/1800 MHz

När NMT 900 infördes försökte Televerket skapa en speciell mobilteletjänst som bara hade täckning i storstäderna. Men abonnenterna nobbade. Först när man byggt ut NMT 900 så att det blev rikstäckande kom abonnenterna. För att slippa råka ut för samma sak igen och tvingas bygga ett rikstäckande 1800 MHz-nät gick Telia till ETSI och begärde ändring av standarden så att den medgav kombitelefoner, GSM-telefoner som kunde användas både på 900 MHz och på 1800 MHz.

I många europeiska länder, bl.a. Sverige, kräver GSM-operatörerna att en GSM-telefon för 1800 MHz alltid skall vara en kombi som även klarar 900 MHz. Rena GSM 1800-telefoner är förbjudna (utlänning på besök får ringa). Då behöver inte operatörerna bygga rikstäckande nät på 1800 MHz utan kan använda 1800 MHz-bandet enbart för expansion i trafiktäta områden. Kombitelefon innebär att pågående samtal kan växla mellan 900 MHz och 1800 MHz, helt beroende på var det finns lediga trafikkanaler.

### PCS — Personal Communication Services

Även i USA behövdes nya frekvensband för att klara abonnenttillströmningen till det som skulle bli en massmarknad, PCS (Personal Communication Services). Man valde 1900 MHz-bandet som styckades upp i delband om 15 MHz respektive 5 MHz, som auktionerades ut för PCS-tjänsten.

När operatörerna väl hade köpt frekvenserna, då gällde det att välja radioteknik, och valet var fritt.

- Så kom det sig att det i dag i USA finns PCS-operatörer som använder GSM-teknik, under benämningen GSM 1900 eller DCS1900. I de delar av USA där det finns GSM 1900-nät kan en GSM-abonnent från Europa stoppa in sitt SIM-kort i en lånad ficktelefon och utnyttja sitt europeiska GSM-abonnemang även i USA (förutsätter roamingavtal mellan operatörerna). Det finns i dag även multiband GSM ficktelefoner som klarar både 900 MHz, 1800 MHz och 1900 MHz. Största svårigheten är att få en amerikan att slå ett europeiskt telefonnummer för att nå mig när jag befinner mig i USA och använder vad som ser ut som en amerikansk ficktelefon.
- Andra PCS-operatörer valde den digitala AMPS-tekniken, flyttad till 1900 MHz. Samtidigt bytte man namn till TDMA/136.
- Ytterligare andra PSC-operatörer använder CDMA/IS-95, som numera kallas cdmaOne, i sina PSC-nät.

PCS 1900 är namnet på en tjänst, PCS-tjänsten i 1900 MHz-bandet. En operatör kan välja DCS 1900 som teknisk plattform för sin PCS 1900-tjänst!

## 1.10 G2 — Andra generationen

### Digital kretskopplad telefoni och låghastighets datakommunikation

Första generationens mobiltelesystem erbjöd analog kretskopplad telefoni, inga andra tjänster. Det gick att ansluta telefonmodem till ficktelefonen och koppla upp kretskopplad data in till fasta telenätet, om signalstyrkan var hög och radiokanalen var fri från störningar. Men operatören lämnade inga garantier och oftast kom man inte upp i högre datahastighet än 4,8 kbit/s (beroende på att NMT-systemet införde 32 kbit/s-ADPCM på de fasta förbindelserna ut till basstationerna).

Andra generationens mobiltelesystem erbjuder digital kretskopplad telefoni och data, minst med hastigheten 9,6 kbit/s. Vid bitfel kan dock omfrågningar innebära att den effektiva datahastigheten sänks. Dessutom innehåller andra generationens mobiltelesystem en kortmeddelandetjänst, SMS (Short Message Service).

### Europa

Första generationens mobiltelesystem kan ses som ett provisorium. Visserligen hade man mobil telefoni, men i flertalet länder kunde telefonen bara användas inom det egna landets gränser. Dessutom var analog mobiltelefoni lätt att avlyssna.

GSM skulle bli det första verkligt mobila telesystemet i Europa, uppbyggt så att man kunde ta med sig ficktelefonen till vilket land som helst och överallt kunna ringa och bli nådd. Dessutom var talet digitalt och krypterat och därigenom skyddat mot avlyssning.

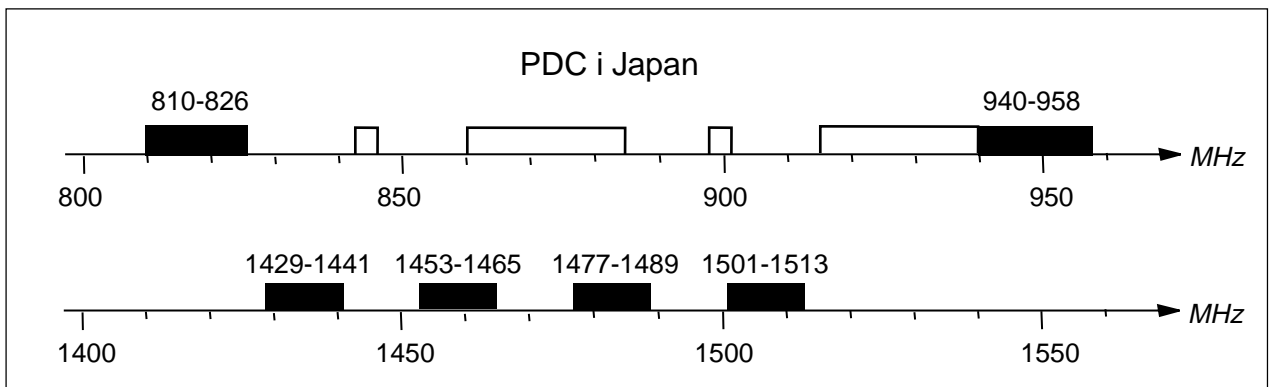
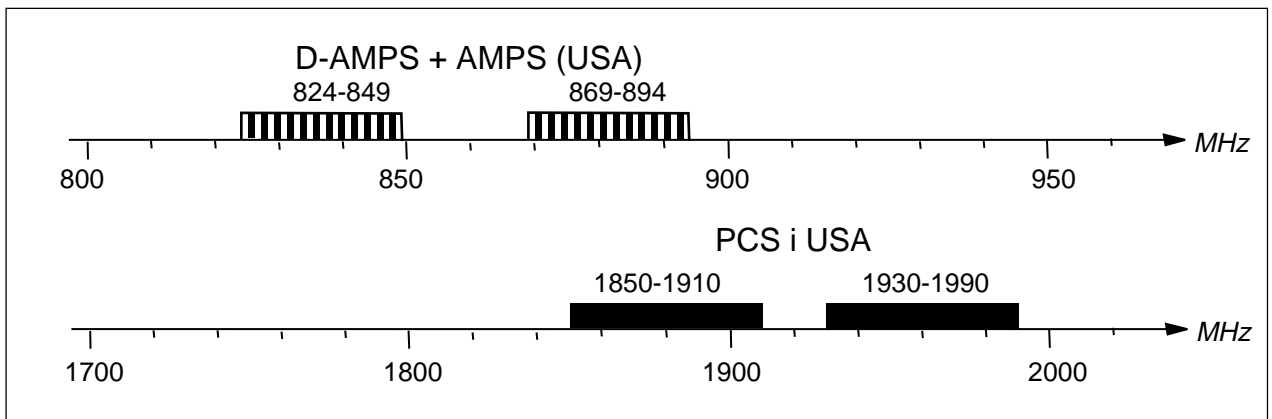
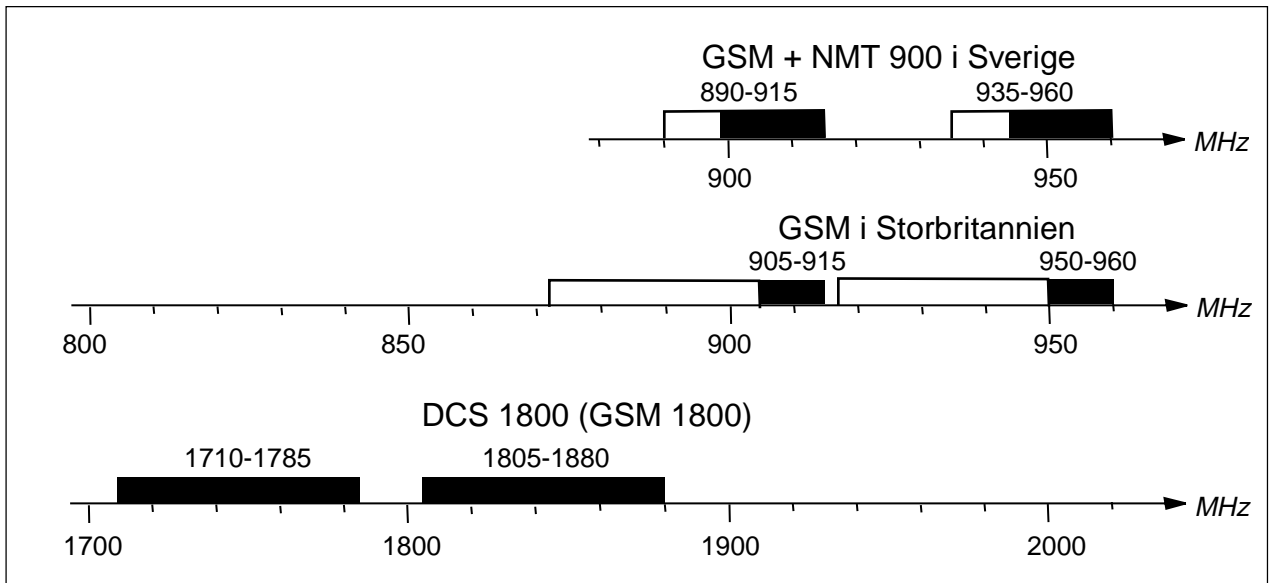
Eftersom GSM var heltigenom digitalt så var det enkelt att åstadkomma en datatjänst som medgav säker datakommunikation vid datahastigheten 9,6 kbit/s eller i ett senare utförande 14,4 kbit/s. GSM-systemet konstruerades för i första hand kretskopplad telefoni. Därför blev även datatjänsten kretskopplad.

### USA

I början av 1990-talet blev frekvensbristen kännbar i det amerikanska 800 MHz-bandet. Eftersom amerikanska AMPS-operatörer betalade för sina frekvenstillstånd, ofta mycket höga belopp, så var de inte intresserade av att köpa nya frekvenser utan ville i första hand utnyttja frekvenserna de redan betalt för, på ett så effektivt sätt som möjligt. Detta var drivkraften bakom D-AMPS, den digitala radioteknik som möjliggjorde tre samtidiga telefonsamtal på en AMPS frekvenskanal.

CDMA/IS-95 behöver en enda frekvenskanal på 1,25 MHz, men samma frekvenskanal används i alla celler. En annan expansionsmöjlighet för AMPS-operatörerna blev därför att frilägga 1,25 MHz av sitt inköpta frekvensband och installera ett CDMA-system. Man kunde få in fler samtidiga samtal per MHz med CDMA än vid den analoga AMPS-tekniken, samtidigt som man lockade nya kunder, eller behöll gamla kunder, genom att erbjuda ett alternativ som byggde på avancerad teknik.

Under andra halvan av 1990-talet har AMPS-operatörerna dessutom kompletterat med CPDP för att erbjuda kunderna paketförmedlad data, och moderniserat sin nätstruktur i enlighet med ANSI-41, för att erbjuda roaming med andra operatörer. På detta sätt har en 800 MHz AMPS-operatör kunnat växa inom ramen för sina möjligheter, och kan i dag erbjuda tjänster som fullt ut tillhör andra generationens mobilteletjänster.



System	Abonnenter <sup>*)</sup>	Länder/nätoperatörer <sup>*)</sup>	tillväxt/månad <sup>*)</sup>
GSM	183 milj	120/284	7,6 milj
PDC	42,3 milj	1/30 (Japan)	0,6 milj
TDMA	24,3 milj	34/104	1,4 milj
cdmaOne	31,5 milj	12/31	1,5 milj

<sup>\*) juni/juli 1999</sup>

## 1.11 Högre datahastighet i GSM

### Bitfel vid datakommunikation

Nästa steg i GSM-utvecklingen blev att införa högre bithastighet vid datakommunikation.

Den verkliga bithastigheten vid ett GSM-samtal är 22,8 kbit/s. När man kopplar upp en talkanal behövs 13 kbit/s för att överföra talet. Men det kan bli bitfel.

För att klara bitfel finns två vägar. Antingen lägger man till extra databitar som används som checksumma, CRC (Cyclic Redundant Check). Med hjälp av checksumman kan man avgöra om det finns bitfel, men inte vilka databitar som är fel. Då frågar man om, begär omsändning, ARQ (Automatic Repeat Request). Omfrågning tar tid. Därför kan detta inte tillämpas på en talförbindelse. Talet skulle bli hackigt.

Andra möjligheten är att lägga till databitar så att man kan rätta bitfel utan att behöva fråga om, FEC (Forward Error Correction). Detta kan göras på två sätt. Antingen lägger man till databitar med vars hjälp man identifierar vilka databitar som är fel. Detta används t.ex. på FM-sändarnas RDS-kanal, som tidigare utnyttjades för RDS personsökning. Tekniken ger både felrättning och kontroll av att databitarna är rätt mottagna.

Den andra möjligheten är att lägga till databitar så att information om varje nyttodabit finns på flera platser i dataströmmen, och avkoda genom att välja den mest sannolika nyttodatabiten. Detta ger färre bitfel, men man vet inte om datasekvensen är rätt mottagen. Faltningskodning är en sådan kodningsform som medger att man väljer det mest sannolika utseendet på sin datasekvens, dock utan att veta om datasekvensen är rätt mottagen.

Vid GSM tal utnyttjas trafikkanalens 22 800 b/s så att 13 kbit/s är nyttodatabitar, 9,650 kbit/s adderas för faltningskodning, medan 150 bit/s är checksumma, för att avgöra hur många bitfel som återstår. Vissa databitar måste vara rätt mottagna, annars kastar GSM hela datasekvensen och använder det man sade 20 millisekunder tidigare.

### GSM data 9,6 kbit/s

Vid data 9,6 kbit/s är 9,6 kbit/s nyttodata medan 10,8 kbit/s adderas för faltningskodning, och 2,4 kbit/s används för checksumma och "paketidentifiering". Vid dataöverföring är det viktigt att checksumman klarar att avgöra om det finns bitfel, eftersom dataöverföring måste vara bitfelsfri. När checksumman indikerar bitfel så frågar man om, ARQ.

### GSM data 14,4 kb/s

Om radiokanalen är störningsfri är det onödigt att addera så mycket som 10,8 kbit/s för faltningskodning. Man klarar sig med omfrågning om det sällan blir bitfel. Därför finns en tilläggs specifikation GSM data 14,4 kbit/s, där bara 6 kbit/s reserveras för faltningskodningen.

Ett vanligt telefonmodem kopplar upp i högsta hastigheten, t.ex. 33,4 kbit/s om telefonförbindelsen är tillräckligt störningsfri. Om inte, så kopplar modemmet ner till lägre hastighet, t.ex. 28,8 kbit/s eller 19,2 kbit/s, eftersom det är effektivare att ligga permanent vid den lägre hastigheten än att ha alltför många omfrågningar vid en högre hastighet. På samma sätt vid GSM. Om basstation och ficktelefon klarar tilläggs specifikationens 14,4 kbit/s och radioförbindelsen är tillräckligt störningsfri så kopplas datakanalen upp för denna hastighet. Annars väljer systemet 9,6 kbit/s.

### HSCSD

Nästa steg i utvecklingen blev HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), höghastighets kretskopplad data, som innebär att flera trafikkanaler (tidluckor) kopplas upp parallellt (egentligen "efter varandra").

Med tre trafikkanaler (tre tidluckor av åtta) kommer man upp i 28,8 kbit/s om datahastigheten är 9,6 kbit/s på varje tidlucka, eller 43,2 kbit/s om datahastigheten är 14,4 kbit/s på varje tidlucka.



**GPRS — paketförmedlad data**

HSCSD är fortfarande kretskopplad data. Detta innebär, på samma sätt som i fasta telenätet, att om man kopplar upp en dataförbindelse så ligger förbindelsen, alla tidluckorna, blockerade av mitt samtal under hela uppkopplingstiden. Detta är acceptabelt om det gäller filöverföring. Man får uppkoppling, filöverföring, nedkoppling. Men vid uppkoppling mot Internet så går största delen av tiden åt till att sitta framför skärmen och läsa. Den del av samtalstiden då vi verkligen skickar databitar på förbindelsen är liten. Under övrig tid borde andra få möjlighet att använda radiokanalen. Inte bara för att få ner samtalskostnaden. Radiokanaler är en begränsad resurs. Om många skall få möjlighet till radiouppkoppling mot Internet, då måste vi samsas om radiokanalerna.

GPRS (General Packet Radio Service) är en teknik som möjliggör att ficktelefonen kopplar upp en eller flera tidluckor mot basstationen, på samma sätt som vid HSCSD. När ficktelefonen väl sänt eller tagit emot sina data så kopplas tidluckorna ner, men applikationen (egentligen "TCP/IP-klienten") tror att förbindelsen fortfarande är uppkopplad. När applikationen vill sända sker en blixtn snabb uppkoppling, och sedan släpper man tidluckorna igen. På detta sätt kan många abonnenter ligga samtidigt på samma tidluckor. Allihop upplever som om de har tillgång till tidluckorna hela tiden. Men i verkligheten har de bara tidluckorna när det finns

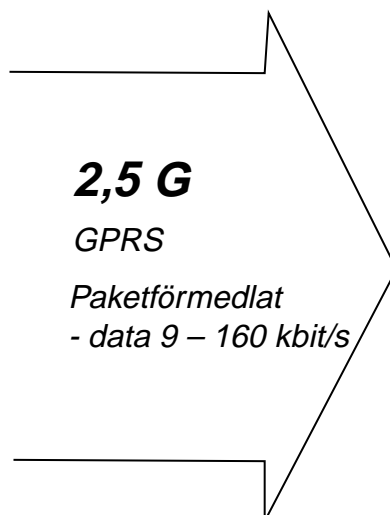
data att sända eller ta emot.

Nackdelen är att man kan hamna i kö, få vänta ett kort ögonblick om flera abonnenter vill utnyttja tidluckorna samtidigt. En kort väntetid någon enstaka gång är inte störande vid datakommunikation. Däremot blir sådan väntetid störande vid talkommunikation. Det är därför som kretskopplat, en helt egen förbindelse hela tiden, är att föredra vid talkommunikation.

Om åtta abonnenter får var sin kretskopplade dataförbindelse, GSM data 14,4 kbit/s, då kommer de allihop att uppleva förbindelsen som långsam. Men om alla åtta gemensamt samsas om de åtta tidluckorna med en total bithastighet på 115,2 kbit/s, då skulle de uppleva förbindelsen som blixtn snabb.

Om abonnenterna vill ladda hem data exakt samtidigt så kommer de att dela på förbindelsen. Förbindelsen till var och en blir långsammare. Men det är bara om alla åtta vill ha data exakt samtidigt som hastigheten sjunker till 14,4 kbit/s, den hastighet som ingen av abonnenterna kan överskrida i ett kretskopplat system.

GPRS innebär att man i GSM-systemet får möjlighet till tjänster som funnits sedan 1986 i Mobitex. Den paketförmedlande tekniken innebär att man upplever sig vara uppkopplad hela tiden, men bara belastar radiokanalen under den korta tid då man verkligen har något att sända eller ta emot.



## 1.12 Datakommunikation i USA och Japan

I början av 1990-talet var man fortfarande kvar i mobiltelefonins första generation. Europa hade sina NMT- och TACS-nät, USA sitt AMPS-system och i Japan hade man ett flertal egna analoga system. Den enda tjänst dessa nät erbjöd var analog kretskopplad telefoni.

Drivkraften i Europa, drivkraften bakom GSM, var egentligen ett enhetligt mobiltelesystem så att alla skulle kunna röra sig fritt och överallt kunna ringa och ta emot samtal. Digitalteknik gav vissa fördelar, bl.a. fler samtidiga samtal på en basstationssändare. Dessutom var digitalt tal lätt att kryptera. GSM blev avlyssningssäkert. Och när systemet ändå var digitalt var det lätt att införa en datakommunikationstjänst. Men datakanalen specificerades i slutet av 1980-talet, innan Internet och publik datakommunikation kommit igång på allvar.

### CDPD — Cellular Digital Packet Data

En bit in på 1990-talet började efterfrågan på datatjänster dyka upp i USA. Införandet av D-AMPS pågick, men bara i områden där operatörerna hade frekvensbrist, inte som generellt system. Eftersom man ville erbjuda datatjänster till alla abonnenter, även där man bara hade analog AMPS-täckning, så kunde datatjänsten inte bygga på D-AMPS.

Lösningen blev ett separat datanät, med egna sändare/mottagare, på frekvenser som passade in i AMPS-frekvensplanen. På detta sätt kunde AMPS-operatörerna komplettera sitt AMPS-nät med datatjänsten helt oberoende av en eventuell D-AMPS-utbyggnad.

I GSM är datatjänsten kretskopplad därför att hela GSM-strukturen är optimerad för kretskopplad telefoni. CDPD är fristående. Det enda man har gemensamt med AMPS är att man delar på frekvenskanalerna. Därför kunde datanätet optimeras för datatjänsten. Och vid alla datatjänster där det ibland blir dödtid därför att abonnenten behöver tänka, där är paketförmedlad överföring det optimala.

Således har man i USA byggt upp, med början 1994, ett paketdatanät med datahastigheten 19,2 kbit/s. Effektiv datahastighet blir 5 – 10 kbit/s, beroende på störnivån på radiokanalen och hur många abonnenter som är aktiva samtidigt. CDPD är utformat för att utnyttja AMPS-frekvenskanaler som för tillfället inte används för telefoni. När frekvenskanaler behövs för telefoni minskas antalet aktiva CDPD-stationer.

CDPD har givit de amerikanska operatörerna möjlighet att erbjuda alla mobilteleabonnenter, oavsett om deras talkommunikation går via analoga AMPS eller digitala D-AMPS, en SMS-tjänst (Short Message Service) och ständig paketförmedlad uppkoppling mot Internet.

### I-mode — PDC-P

I Japan startades i februari 1999 en paketförmedlande kanal i PDC-nätet med datahastigheten 9,6 kbit/s, som går under namnet PDC-P (PDC Packet). På denna datakanal har man skapat tjänsten i-mode som medger kontakt med Internet. Ficktelefonen (i-mode-telefonen) har liten skärm och datahastigheten är låg, men trots detta har nätet i dag 20 miljoner abonnenter. Detta visar att det inte är datahastigheten utan möjligheten att ständigt ligga uppkopplad, en sorts interaktiv text- och bildförmedlande personsökare, som är det primära.

## 1.13 GSM mot tredje generationens mobiltelefoni

Andra generationen var kretskopplad telefoni och låghastighetsdata. Med tredje generationen menar man telefoni och datahastighet i intervallet 384 kbit/s – 2 Mbit/s. Övre gränsen, 2 Mbit/s, kan bara erhållas i basstationens omedelbara närhet. Hög datahastighet innebär alltid att man får kortare räckvidd, eller behöver högre sändareffekt.

### EDGE

GSM är ett europeiskt projekt, med delprojekt som bl.a. inriktats mot högre datahastigheter. Ett sådant delprojekt är EDGE (Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution).

EDGE bygger på standard GSM-teknik med skillnaden att själva radiomodemet moderniserats. I stället för bara en databit per symbol så överför man tre databitar per symbol. På samma 200 kHz radiokanal klarar man att överföra en bithastighet som är tre gånger så hög. Men bara vid högre signalstyrka, d.v.s. vid lägre störnivå, än vid standard GSM. Den högre datahastigheten kan därför inte utnyttjas av alla GSM-abonnenter i en radiocell. Men tekniken är utformad så att varje abonnent får den högsta datahastighet som är möjlig med hänsyn till signalstyrka och störnivå.

### ECSD (Enhanced Circuit Switched Data)

EDGE-tekniken kan utnyttjas för att ge högre datahastighet per tidlucka vid kretskopplade dataförbindelser, ECSD (Enhanced Circuit Switched Data). Tjänsteutbudet blir som vid HSCSD och maximala datahastigheten är fortfarande 64 kbit/s, på grund av begränsningar i det kretskopplade nätet. Vinsten är att man klarar sig med färre tidluckor, trafikkanaler, för att uppnå maximala datahastigheten 64 kbit/s.

### EGPRS (Enhanced GPRS)

EDGE-tekniken kommer även att införas för paketförmedlad data, EGPRS (Enhanced GPRS). Här finns inga begränsningar i nä-

tet mer än rena kapacitetsproblem som kan uppstå när många vill utnyttja hög datahastighet samtidigt.

Med GPRS, standard GSM-teknik, kan man uppnå datahastigheter i intervallet 8 – 20 kbit/s per tidlucka, medan EDGE-tekniken ger datahastigheter i intervallet 8 – 60 kbit/s på varje tidlucka, och maximalt kan alla åtta tidluckorna utnyttjas. Vad datahastigheten i verkligheten blir, i intervallet 8 – 480 kbit/s, beror på signalstyrka och störnivå på radioförbindelsen. EDGE-tekniken är utformad att automatiskt ställa in sig på högsta möjliga datahastighet och följa radiokanalens fluktuationer när man t.ex. är i rörelse.

I ett inledningsskede kommer bara vissa av de möjliga datahastigheterna i GPRS och EDGE att implementeras. Ovan nämnda siffror hänför sig till ett fullt utbyggt system.

## 1.14 Standardisering mot tredje generationen

### ITU — ITU-T — ITU-R

Internationellt standardiseringsarbete inom telekommunikationsområdet leds av FN-organet ITU (International Telecommunications Union) med säte i Geneve. Fasta telenätet hörde tidigare till underavdelningen CCITT som numera benämns ITU-T, medan radiokommunikation låg under CCIR som fått byta namn till ITU-R.

### FPLMTS — IMT-2000

Redan 1986 började man inom CCIR, sedermera ITU-R, att studera FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications Systems).

Under 1990-talet har man slopat förkortningen FPLMTS och talar i stället om IMT-2000 (International Mobile Telecommunications). I dag innebär IMT-2000 den internationella överenskommelsen, ITU-standard, för tredje generationens mobilnät.

### Rekommenderade frekvensband för IMT-2000

Vid WARC79 reserverades frekvensband för andra generationens mobiltelefoni, men frekvensbanden blev inte lika i de tre regionerna. När det blev aktuellt med frekvenser för tredje generationens mobiltelesystem så var målet att försöka uppnå en gemensam världsstandard.

Den bästa kompromiss som gick att åstadkomma bestod av två frekvensband,

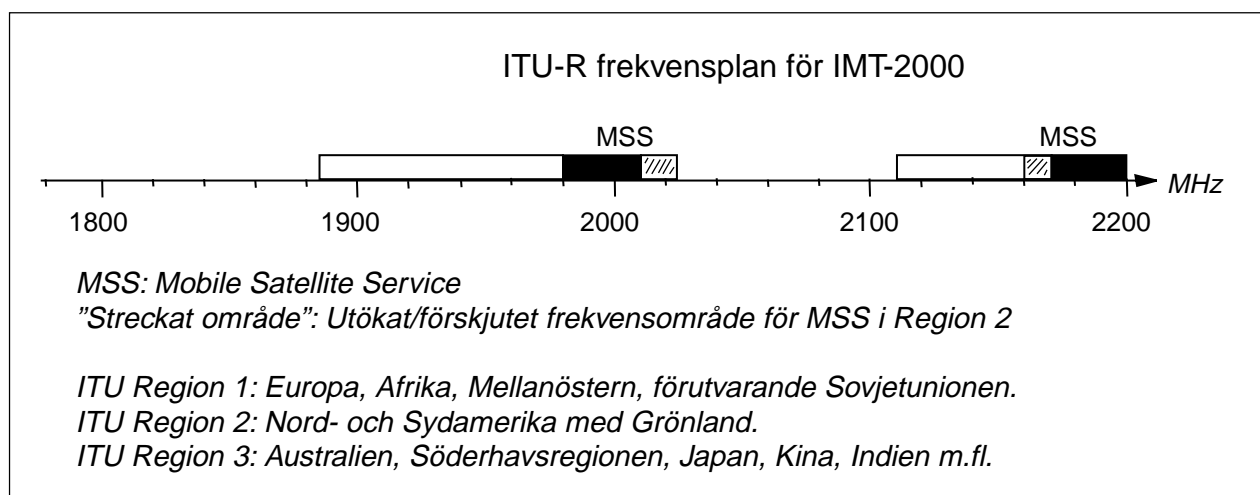
1,9 – 2 GHz och 2,1 – 2,2 GHz, för att möjliggöra tekniska lösningar som behöver olika frekvensband i upp- och nedlänken.

Även om man inte klarar att följa denna rekommendation i alla regioner, så är det viktigt att frekvenserna för satellittjänsterna är gemensamma för hela världen. Satelliterna snurrar runt jorden. Det innebär onödiga tekniska problem om ett frekvensband som används av satelliten utnyttjas för något helt annat i vissa delar av världen.

Total enighet gick inte att uppnå. Vi ser av bilden att frekvensbanden för satellittjänster, MSS, är utökade (förskjutna) i Region 2 eftersom viss del av det rekommenderade (svarta) frekvensbandet redan används för andra tjänster.

### PC (Personal Communicator)

I arbetet på det framtida radiobaserade telekommunikationssystemet lanserades begreppet "Personal Communicator", PC, som benämning på den radioterminal som man bär med sig för att över hela världen kunna ringa och bli nådd, med såväl telefoni som data.



## Europa — ETSI

Samordnande organ för standardisering inom Europa är ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Standardiseringen av GSM påbörjades inom CEPT (Conférence Européenne des Postes et des Telecommunications), som består av myndighetsrepresentanter från de europeiska länderna, men flyttades över till det nybildade ETSI där även tillverkare och operatörer fick delta i standardiseringsprocessen.

År 1991 bildade ETSI en undergrupp som skulle studera tredje generationens mobilnät. Tredje generationens mobilnät fick arbetsnamnet UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).

UMTS underindelas i en radiodel som benämns UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) samt en större del som även omfattar basstationsstyrningen, UTRAN (UTRA Network). Resten av UMTS-nätet består av delar från GSM-nätet. UTRAN är därför den komplettering en GSM-operatör behöver göra för att få ett UMTS-nät (dessutom kan nya frekvensband behövas för UTRA).

## Radiotekniken

Vilken radioteknik skulle väljas för UTRA? Arbetet inom ETSI gick i tre riktningar:

- EDGE som bygger på GSM.
- WCDMA (FD-CDMA) som behöver två frekvensband, ett i upplänk och ett i nedlänk (FDD, Frequency Division Duplex).

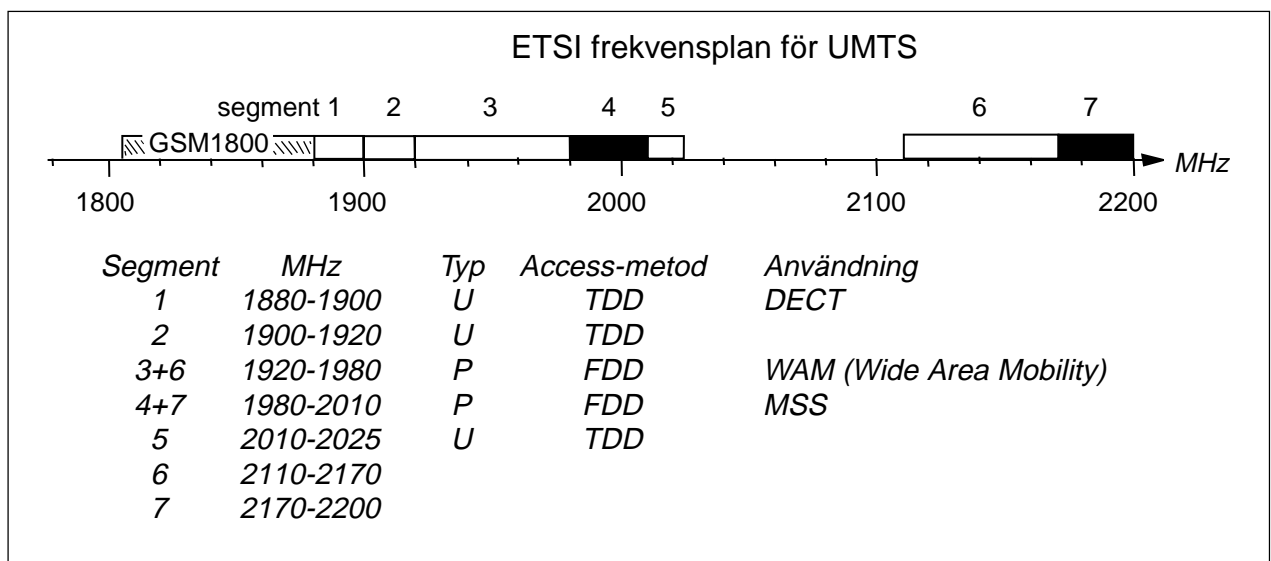
- TD-CDMA där både upp- och nedlänk tidsdelar på ett gemensamt frekvensband (TDD, Time Division Duplex).

## Europeisk anpassning till ITU-R frekvensplan

I Europa uppstod inga problem eftersom man av tradition varit sparsam med att dela ut frekvensband till nya tjänster. Hela det av ITU rekommenderade frekvensspektrat gick att avsätta för 3G, med ett litet undantag: DECT ligger mellan 1880 – 1900 MHz.

Som vi skall se hade Japan kommit långt i standardiseringen av ett tredje generationens system, som byggde på CDMA-teknik i två frekvensband, typ P (Paired). För att få en standard som omfattade så stor del av världen som möjligt så enades Europa och Japan om att avsätta den del av frekvensområdet som ETSI kallar segment 3 och 6 för ett sådant gemensamt system.

Segment 4 och 7 var internationellt reserverade för satellitbaserade mobiltjänster. Återstod segmenten 1, 2 och 5. Dessa frekvensband var av typ U (Unpaired). I segment 1 hade Europa redan DECT, och för segmenten 2 och 5 enades Europa om CDMA-teknik med TDD (Time Division Duplex, tidsdelningsduplex), som fick benämningen TD-CDMA.



**Japan — ARIB**

I det japanska 800 MHz-bandet gick utvecklingen från första generationens analoga system till andra generationens PDC som gav tre digitala trafikkanaler i en 25 kHz frekvenskanal. När efterfrågan ökade på PCS-tjänster byggde man PDC-system i 1500 MHz-bandet, PDC 1500. PDC har under 1999 kompletterats med den paketförmående datakanalen PDC-P, som marknadsförs under namnet "i-mode".

När man i Japan skulle fortsätta mot tredje generationens mobilnät så fanns de frekvensband som ITU rekommenderar för IMT-2000 att tillgå. I Japan har man därför specificerat ett FDD CDMA-system i så nära samarbete med ETSI att Japan och Europa kunnat enas om ett gemensamt förslag. Japanska standardiseringsorganet ARIB förespråkar alltså WCDMA som radioteknik i tredje generationens mobilnät, IMT-2000.

**PHPS (Personal Handy Phone Systems)**

I början av 1990-talet utvecklades i Japan en trådlös telefon, PHPS, som har likheter med DECT.

DECT var ursprungligen ett renodlat inomhussystem för upp till 12 samtidiga samtal på samma radiobas. Symbolhastigheten i luften var 1,152 Msymb/s. Så hög symbolhastighet utan skydd i radiotekniken mot långa reflexer gör att DECT får svårt att klara utomhusmiljö. DECT-standarden medger visserligen uppbyggnad av kompletta DECT-baserade mobiltelesystem. Men problemen med långa reflexer utomhus har inte gått att lösa inom ramen för DECT-standarden.

PHPS har en symbolhastighet på 92 ksymb/s, med två databitar per radiosymbol. Eftersom symboltiden är mer än tio gånger längre, så klarar PHPS reflexer som gått mer än tio gånger så lång väg, jämfört med

DECT. Nackdelen är att den lägre bit-hastigheten, 384 kbit/s, bara räcker till 4 samtidiga samtal på varje radiobas.

PHPS finns som trådlös telefon för hemmabruk och i företagsmiljö, men också som enklare form av mobiltelefon i många Japanska städer. PHPS ligger i frekvensbandet 1895 – 1907 MHz.

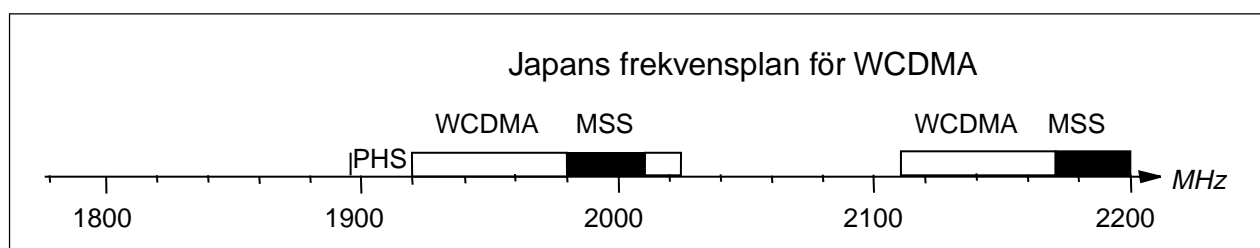
**USA**

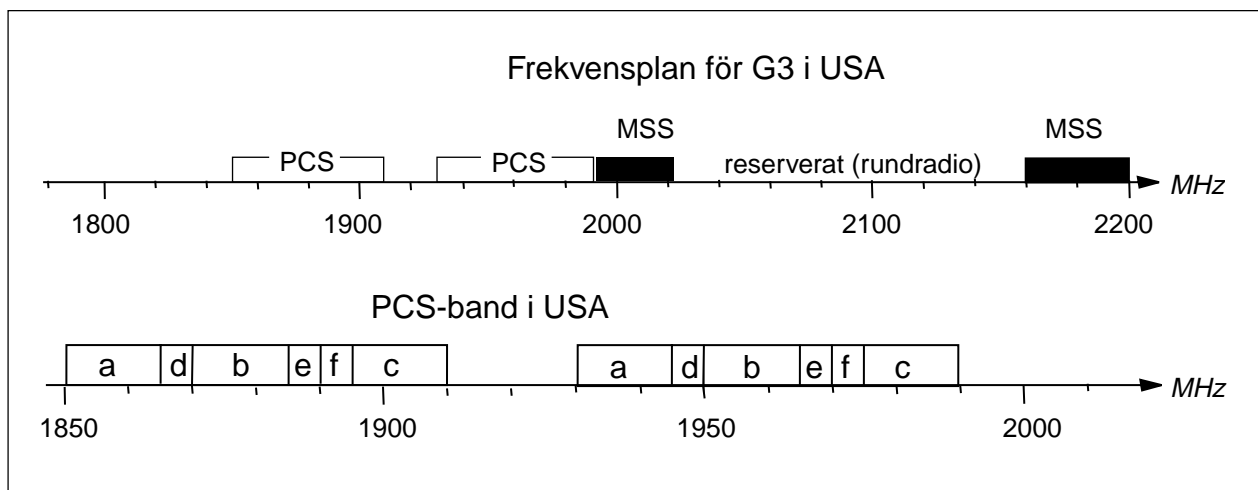
USA hade sin första generations AMPS-system, 30 kHz frekvenskanaler i 800 MHz-bandet. För att klara abonnenttillströmningen kompletterade man med D-AMPS som gav tre digitala talkanaler på en AMPS frekvenskanal. Under 1990-talets andra hälft specificerades det separata paketförmående datanätet CDPD, och operatörerna kunde på så sätt erbjuda andra generationens mobilteletjänster.

När det blev efterfrågan på PCS-tjänster auktionerade FCC (Federal Communications Commission) ut 1900 MHz-bandet. Varje operatör fick en mindre del, två delband om 5 MHz eller två delband om 15 MHz, benämnda från a till f, se bilden.

Operatörerna kunde fritt välja radioteknik för sin PCS 1900-tjänst. Därför finns i dag i USA vissa operatörer som har GSM 1900, andra som har CDMA/IS-95 som numera kallas cdmaOne, och operatörer som har D-AMPS som numera kallas TDMA/136.

När diskussionerna om tredje generationens mobiltelesystem tog fart befann sig USA i den situationen att de inte hade några frekvenser. De frekvensband som ITU rekommenderade för tredje generationens system hade tagits i anspråk för PCS-systemen.





### PCS-operatör med cdmaOne

De PCS-operatörer som byggt sin PCS-tjänst på CDMA-tekniken ville att tredje generationens system skulle vara en utvidgning av cdmaOne. Därför specificerades i USA ett bredbandigt CDMA-system där tredje generationens mobila terminaler sänder bredbandigt, ett CDMA-system med 3,75 MHz frekvenskanal, medan basstationerna kombinerar tre frekvenskanaler med 1,25 MHz bandbredd. Två av dessa är cdmaOne-system och den tredje är cdma2000, totalt 3,75 MHz bandbredd. På detta sätt kan nuvarande abonnenter med cdmaOne-terminaler fortsätta att ha kontakt med basstationerna via en cdmaOne-kanal, medan cdma2000-abonnenter utnyttjar tre samtidiga cdma-kanaler, och får tillgång till högre datahastighet. En operatör som bara har tillgång till 5 MHz men har cdmaOne-teknik kan växa utan att det påverkar hans nuvarande PCS-abonnenter.

### PCS-operatör med GSM 1900 eller TDMA/136

Men de operatörer som bara har tillgång till 5 MHz och har fyllt större delen av sitt frekvensband med GSM 1900 eller TDMA/136? De klarar inte att frilägga tillräckligt stor del av sitt frekvensband för att få in ny bredbandig CDMA-teknik utan att störa nuvarande PCS-abonnenter.

UWCC (Universal Wireless Communications Consortium), en sammanslutning som tillvaratar TDMA/136-operatörernas intressen, kom med förslaget att tredje genera-

tionens mobilsystem även skulle inbegripa GSM påbyggd med EDGE-tekniken. EDGE ger möjlighet att erbjuda datatjänster med datahastigheter upp till 384 kb/s, ett förslag som fick benämningen EDGE/UWC-136.

Så kom det sig att den teknik som Europa betraktade som en övergångsfas till tredje generationens nät, EDGE-tekniken, har införlivats i IMT-2000-specifikationen.

I länder där operatörerna betalat höga summor för sitt frekvensband är avskrivningstiden för investeringen mycket lång. Dessa operatörer måste beredas möjlighet att följa med i teknikutvecklingen. Om alla PCS-frekvensband från början varit 15 MHz breda, då hade operatörerna kunnat stuva om sina GSM 1900- eller TDMA/136-basstationer och frilägga ett tillräckligt stort delband för att dessutom få in bredbands CDMA-teknik. Men ett frekvensband som bara är 5 MHz brett måste tömmas på GSM 1900- eller TDMA/136-basstationer. Under tiden kommer abonnenterna, operatörens levebröd, att fly till annan operatör.

**IMT-2000 minimiprestanda**

Minimiprestanda för IMT-2000 är specificerade till följande:

- Inomhus, t.ex. kontorsmiljö, skall datahastigheten uppgå till 2 Mbit/s vid en bitfelshalt BER (Bit Error Rate) på  $10^{-6}$ .
- Utomhus eller inomhus, när man är fotgängare, skall datahastigheten uppgå till 384 kbit/s vid BER som ovan.
- När man befinner sig i fordon i rörelse skall bithastigheten uppgå till 144 kbit/s vid BER som ovan.
- Vid kommunikation via satellit skall bithastigheten uppgå till 9,6 kbit/s vid BER som ovan.

**IMT-2000 radioteknik**

Det som styrts val av radioteknik har naturligtvis varit de olika ländernas önskan att gynna sin egen radioindustri med dess kunskap och patent. Men det går att lära nytt, och patent kan säljas och köpas, eller släppas fria genom internationella överenskommelser.

Besvärligare har varit arvet från de nuvarande mobilteleoperatörerna. En anpassning i USA till en världsstandard skulle innebära att förutsättningarna för flertalet mobiloperatörer raderas. De måste börja från början. Och abonnenterna måste byta ficktelefoner.

Radiotekniken för 3G skulle bli det mest avancerade. Men detta kan inte genomföras fullt ut, därför att vi har arvet från tidigare system som ligger och blockerar den naturresurs som vi alla måste dela, radiofrekvenserna.

**Europa**

I Europa utvecklades EDGE-tekniken som en första påbyggnad på GSM. Men tanken var att gå längre. Därför utvecklades CDMA-system, dels för två frekvensband, WCDMA (FD-CDMA), dels för ett tidsdelat frekvensband, TD-CDMA. Möjligheten att gå samman med Japan om ett gemensamt system gjorde att man valde WCDMA som radioteknik för UTRA, men även TD-CDMA, därför att frekvensplanen innehåller två segment som inte kan utnyttjas med FDD-teknik. Nätstyrningen skulle baseras på nuvarande GSM infrastruktur.

**Japan**

Önskemålen från Japan var WCDMA eftersom frekvensbanden fanns tillgängliga. De nuvarande PDC-näten styrs av GSM-infrastruktur. Det var därför naturligt för Japan att koppla WCDMA till GSM-infrastruktur, på samma sätt som i Europa.

**USA**

I USA såg man inga möjligheter att införa W-CDMA, inte ens om man valde andra frekvensband än Europa och Japan. Det finns helt enkelt inga lediga frekvensband utan all ny teknik måste passa in i frekvensband där det redan finns befintlig mobiltelefoni av andra generationen.

Eftersom de amerikanska operatörerna fått fria händer så var det inte en enhetlig teknik man skulle anpassa sig till, utan tre olika: cdmaOne, GSM 1900 respektive TDMA/136. Det enda dessa system hade gemensamt var nätstyrningen, där infrastrukturen är baserad på ANSI-41.

De operatörer som har GSM 1900 eller TDMA/136 och som inte kan frilägga frekvensutrymme för bredbandig CDMA-teknik får möjlighet att gradvis byta mot GSM-teknik utbyggd med EDGE. Detta blir EDGE-nät som inte styrs av GSM-styrutrustning utan av ANSI-41-styrutrustning (UWC-136).

De operatörer som redan har CDMA-teknik men inte kan byta mot bredbandig CDMA får möjlighet att växa genom att man tagit fram ett bredbandigt alternativ som bygger vidare på tre smalbandiga CDMA-system (3 x 1,25 MHz), cdma2000.



## 1.15 Kommunikationsradio

Sedan 1950-talet har kommunikationsradio använts av polis och taxi, och på 1960-talet spreds användningen till åkerier, men även till privatpersoner i form av det fria 27 MHz privatradiobandet.

Den ursprungliga formen av kommunikationsradio bestod av en högt belägen basstation med användarterminaler som var fordonsmonterade. I dag finns även handterminaler. Karakteristiskt för kommunikationsradio var att alla lyssnade hela tiden. Alla hörde alla. När någon ropade och pratade med basstationen så hörde även alla andra.

Varje företag behövde en egen frekvenskanal för att inte radiokommunikationen från flera företag skulle blandas. Dessutom kanske man behövde flera frekvenskanaler. En frekvenskanal som anropskanal och för meddelanden som riktades till alla företags bilförare, och en extra frekvenskanal att växla över till för samtal som bara riktades till en eller några få bilförare.

### MRT

När varje företag ville ha egna frekvenskanaler så blev det frekvensbrist. I slutet av 1960-talet påbörjade Televerket utveckling av ett system kallat MRG (Mobilradio med Gemensam basstation).

En kommunikationsradio är uppbyggd som vilken FM-mottagare som helst. När ingen radiosignal kommer in på antennen så spärras mottagarens högtalare av "brusspärren", annars skulle det bli ett förskräckligt väsende. När radiosignal tas emot öppnar brusspärren och signalen hörs i högtalaren. MRG försågs med selektivt tonanrop. I början av varje sändningssekvens sändes en grupp toner. För att brusspärren skulle öppna krävdes både att det kom signal till antennen, men dessutom att signalen inledes med rätt kombination av toner. Annars förblev högtalaren tyst.

Genom selektivt anrop kunde man låta flera företag dela på samma frekvenskanal. Användarna hörde bara kommunikation som

berörde det egna företaget.

I början av 1970-talet avbröts MRG-projektet, men tekniken utnyttjades för att bygga ett eget internt radionät för Televerkets fältpersonal, kallat MRT (Mobilradio för Televerket).

### MRG

Företaget IKAB i Gävle hade i början av 1980-talet skaffat rikstäckande frekvenskanaler i 160 MHz-bandet. IKAB höll på att bygga upp ett MRG-nät där radiobasstationen manövrerades via en vanlig telefonledning. Men Televerket, som just fått Comvik som framgångsrik konkurrent inom mobiltelefonin, ville förhindra att ytterligare en konkurrent med rikstäckande radionät dök upp på marknaden. Därför köpte man IKAB 1984 och fortsatte MRG-utbyggnaden och marknadsföringen i egen regi.

Televerket marknadsförde MRG till början av 1990-talet, då kundunderlaget minskade, troligtvis beroende på att många kunder övergick till mobiltelefon.

### Avancerad datakommunikation

Som komplement till talkommunikation så växer behovet av avancerad datakommunikation med fordonsflottor, långtradare, bussar, taxi, ambulans, polis m.m. Visst används datakommunikation för att dela ut körorder. Men ännu viktigare har blivit att veta var fordonen befinner sig. I dag monteras GPS satellitnavigeringsutrustning (General Positioning System) på fordonen och uppgift om position sänds automatiskt till kommunikationscentralen.

### MOBITEX

MOBITEX gav en avancerad paketdata-tjänst redan 1986. Ytterst få utnyttjade datakommunikation över huvud taget, än mindre mobil datakommunikation. Vad som hade behövts 1986 var ett system där abonnenterna kunde experimentera, pröva hur de skulle kunna dra nytta av mobil datakommunikation. Men MOBITEK medgav inget experimenterande så som på Internet,

utan kunde bara hantera skraddarsyddna applikationer. MOBITEX var den perfekta plattformen för mobil datakommunikation för den som visste vad han ville ha. Men bara ett fåtal visste och det gick inte att pröva.

## TETRA

Under GSM-utvecklingen 1988 insåg ETSI att GSM inte skulle kunna fylla de krav som ställs på ett modernt kommunikationsradio-system. Därför påbörjades specifikationen av TETRA (Trans European Trunked Radio), och produkter började komma på marknaden under 1998.

- TETRA ligger i 400 MHz-bandet, på frekvenser som är gemensamma för hela Europa. Man skall kunna hålla kontakt med lastbilen oavsett var den befinner sig.
- TETRA utnyttjar 25 kHz frekvenskanaler, med fyra tidluckor/talkanaler. I detta avseende har TETRA stora likheter med amerikanska D-AMPS och japanska PDC, som båda har tre tidluckor/talkanaler på en smalbandig frekvenskanal.
- TETRA har en datakanal PDO (Packet Data Optimized), som kan utnyttja alla fyra tidluckorna och komma upp i 28,8 kbit/s. Och detta är paketförmedlad data, snarlikt japanska i-mode.
- TETRA har DMO (Direct Mode Operation), vilket innebär att man kan kommunicera direkt mellan två fickterminaler utan att behöva gå via en basstation. Dessutom kan fickterminalen hålla kontakt med basstationen samtidigt som den är i direktkontakt med en annan fickterminal. Detta innebär att en fickterminal kan fungera som relästation. Tänk dig en brandman som går ner i ett rökfyllt källarutrymme och tappar radiokontakt med basstationen. Hans radiosignaler kan reläas via andra ficktelefoner och ge honom direktkontakt med ett sjukhus.

## Kommunikationsradio är inte

## mobitelefone

Under andra halvan av 1990-talet har vi sett en återgång till kommunikationsradio, sådan den såg ut på 1970-talet.

Hur gör chefen som vill tala med en viss anställd? Lyfter telefonluren och ringer. Här passar mobiltelefonen perfekt. Men hur gör chefen som vill informera hela personalen? Ett som är säkert är att han inte använder telefon. Troligtvis kallar han till möte för att informera alla samtidigt. Tidigare fanns på många företag ett "intercom"-system, högtalare i varje rum. Detta är kommunikationsradio. Chefen trycker på "allanrop". Alla lyssnar. Alla får veta samtidigt.

Men hur är det för de anställda? När alla arbetar tätt ihop på samma arbetsplats med dagliga kafferaster så finns alltid tillfällen till kommentarer inom gruppen, kommentarer som är viktiga för gruppkänslan. Men om verksamheten är utspridd? Det är inte bara polisen som har behov av att avlyssna ordergivningen för att känna sig informerad om vad som händer. Även verksamheter som hemtjänsten, åldringsvård i hemmet, kan ha behov av en gemensam radiokanal där alla kan nå alla och avlyssnas av de övriga, så att alla känner sig delaktiga.

Ett radiosystem som klarar ett sådant kommunikationsbehov måste vara uppbyggt så att många kan lyssna på samma radiokanal, och det får inte kosta något att lyssna. Däremot kan man debiteras samtalstaxa när man sänder på kanalen. Mobiltelefonnäten klarar inte detta användningssätt. Därför finns fortfarande behov av speciella kommunikationsradiolösningar, trots mobiltelefonins utbyggnad.

## 1.16 GSM-varianter

I fasta telenätet finns en teknik, CENTREX, som innebär att man mjukvarumässigt skapar en företagsväxel i den vanliga AXE-stationen. Ett företags anställda får vanliga telefoner, anslutna med vanliga ledningar till lokalstationen på samma sätt som ett vanligt fast abonnemang. Men telefonerna uppför sig som om det satt en företagsväxel mellan AXE-stationen och deras telefoner. De ringer varandra med hjälp av kortnummer. De måste slå "0" eller möjligen "00" för att komma ut på linjen.

En fördel är att företaget slipper skaffa egen växel, avsätta utrymme för växeln och administrera underhållet. Allt detta sköts av operatörens ordinarie serviceorganisation. En annan fördel är att de anställda geografiskt kan vara spridda över hela landet och ändå uppleva att de ligger under en egen växel. De utgör en sluten användargrupp. Även i GSM-näten kan man skapa slutna användargrupper.

### GSM-Pro

En produkt som bygger på sluten användargrupp är den av Ericsson lanserade GSM-Pro. I ett standard GSM mobiltelesystem skapas slutna användargrupper som kommunicerar som om de ligger i ett eget kommunikationsradionät. GSM-växlarna kompletteras med noder som klarar att ställa upp gruppsamtal, så att alla inom gruppen kan ligga uppkopplade samtidigt. Skillnaden jämfört med kommunikationsradio är att vid kommunikationsradio så sker "hopkopplingen till gruppsamtal" i luften. Alla använder samma radiokanal. Vid gruppsamtal i mobiltelenätet sker hopkopplingen i själva televäxeln. Varje användare ligger uppkopplad via en egen radiokanal, en egen tidlucka, även den som bara lyssnar. En byggarbetsplats med 37 arbetare, var och en med GSM-Pro i lyssningsläge, ockuperar en hel GSM basstation med 5 TRX. "Äkta" kommunikationsradio klarar sig med en enda radiokanal, en tidlucka. Om däremot verksamheten är sådan att alla 37 är utspridda så att en kommunikationsradio-lösning skulle kräva 37 basstationer, då är

GSM-Pro fullt jämförbar.

Till GSM-Pro har Ericsson utvecklat en speciell ficktelefon som är stryktåligare och dessutom har hörluren utbytt mot högtalare. När GSM-Pro ligger uppkopplad mot den egna gruppen kan man ha ficktelefonen hängandes i bältet och via högtalaren avlyssna all kommunikation inom gruppen. Den som vill prata trycker in sändningsknappen som på en vanlig kommunikationsradio. Dessutom kan ficktelefonen naturligtvis användas för vanliga telefonsamtal, men då minskas ljudstyrkan så att telefonen måste hållas mot örat.

Eftersom GSM-Pro bygger på standard GSM-infrastruktur så fungerar dessa slutna användargrupper även vid besök i andra GSM-nät. Ett åkeri kan ha sina långtradare utspridda över Europa. Förarna kan fortfarande kommunicera inom gruppen på kommunikationsradiovis, men med GSM samtalstaxor.

Det finns likheter mellan GSM-Pro och TETRA, men också skillnader. TETRA medger att man kommunicerar direkt mellan ficktelefoner. Dessutom kan en ficktelefon kopplas upp som relästation så att man kan nå utrymmen som inte har radiotäckning från någon basstation. Denna möjlighet finns inte i GSM-Pro.

## 1.17 Trådlösa telefoner

### CT1

I början av 1980-talet behövde Europa en standard för trådlös telefon, och detta blev CT1 (1st generation of Cordless Telephone). CT1 är ett analogt system som likt NMT utnyttjar frekvenskanaler som är 25 kHz breda, 40 kanaler i ett frekvensband på 1 MHz. Upplänken ligger inom 914 – 915 MHz och nedlänken inom 959 – 960 MHz, alltså övre delen av det frekvensband som avdelats för GSM. CT1 har fått stor spridning i Sverige.

### CT2

Första digitala trådlösa telefonen var brittisk och kallades CT2 (Cordless Telephone version 2). Medan CT1 använder två delband om vardera 1 MHz för 40 trafikkanaler, behövde CT2 ett enda frekvensband på 4 MHz för att få plats med 40 kanaler, 864 – 868 MHz. Digitaliseringen innebar ingen vinst ur frekvenssynpunkt, snarare tvärtom, men med digitaliserat tal var CT2 svår att avlyssna. NMT och CT1 kan ju avlyssnas med en vanlig "scannermottagare".

CT2 kom i början av 1990-talet, när NMT-telefonerna fortfarande var dyra och GSM ännu inte introducerats. Många försök gjordes att bygga billiga förenklade mobilnät med hjälp av CT2.

Första försöket var i London, där systemet kallades "telepoint". Fyra operatörer fick tillstånd att sätta upp telepoint-basstationer, det skulle vara konkurrens. Svagheten med telepoint var att man bara kunde ringa från CT2-telefonen, och bara när man befann sig inom ca 200 m avstånd från en telepoint-bas. Telepointnätet kunde inte hantera inkommande samtal. Man kunde inte bli nådd. Samtidigt med introduktionen av telepoint passade British Telecom på att modernisera sina telefonautomater. Folk upptäckte att det räckte med växelpengar, man behövde inte bära med sig en telefon enbart för utgående samtal, där man dessutom måste leta upp en telepoint-bas för att kunna ringa.

I flera franska städer byggdes nät under varumärket "Bee-Bop". Här hade CT2-telefonen kompletterats med en personsö-

kare. När du fick ett inkommande samtal söktes din CT2-telefon via personsökarnätet på personsökfrequensen, varefter CT2-telefonen ringde upp och samtalet kopplades.

I dag är tillverkningsseriens storlek bestämmande för ficktelefonpriset, inte den tekniska komplexiteten. Därför finns ingen marknad för tekniskt enklare mobiltelefonvarianter.

### DECT (DCT 1800)

CT1 och CT2 var direkta förlängare av telefonledningen. I stället för en fast telefon så hade man en liten radiobas för trådlös förlängning till en trådlös telefon. Men behov fanns av en avancerad trådlös telefon som även skulle kunna användas på stora företag med många användare på liten yta. Och helst skulle man kunna röra sig inte bara i närheten av sitt eget tjänsterum, utan över hela företaget.

Resultatet blev DECT (Digital European Cordless Telecommunications), en ETSI-standard som har stora likheter med en tidigare Ericsson-produkt, DCT 900, i 900 MHz-bandet (8 dubbla tidluckor i stället för 12 dubbla tidluckor som det blev i DECT). Ericssons benämning på DECT är DCT 1800.

DECT är ett avancerat lokalt mobiltelenät, där de trådlösa telefonerna flyttar sig från basenhet till basenhet, även under pågående samtal.

DECT utnyttjar frekvensbandet 1880 – 1900 MHz, och kan byggas ut för att täcka arbetsplatser med många användare, men finns även som trådlös telefon i hemmet. En intressant tillämpning är DECT-basenheten för ISDN-anlutning. En ISDN-anlutning klarar upp till 8 abonnemang, med egna telefonnummer. Denna DECT-basenhet klarar alltså upp till 8 trådlösa telefoner, för det

mindre företaget eller tonårsfamiljen. Nackdelen är att bara 2 telefoner kan användas samtidigt, men detta beror inte på DECT utan är en begränsning i ISDN-anlutningen.

### **GSM-CTS (Cordless Telephony System based on GSM)**

Inom ETSI pågår standardisering av en trådlös telefon som är baserad på GSM.

Basenheten, som ansluts på vanligt sätt till ett fast teleabonnemang, arbetar på GSM-frekvenser i 900 MHz- och 1800 MHz-banderna. Basenheten söker upp en ledig frekvenskanal (basenheten avgör själv om kanalen kan anses vara ledig). På denna frekvenskanal sänder basenheten som om den vore en GSM-basstation med sändareffekten 10 mW.

Ficktelefonen, som måste vara en GSM ficktelefon som stöder CTS, skall söka och hitta basenheten när avståndet är så kort att den låga effekten räcker för kommunikation.

Eftersom GSM delar upp tiden i 8 tidluckor och varje GSM-telefon bara arbetar i en tidlucka (och dessutom bara ibland) om den är i vila, den lyssnar efter inkommande samtal, så finns tekniska möjligheter att låta GSM-telefonen passa både GSM-nätet och hemmabasen (fasta telenätet) samtidigt.

Lösningen är tekniskt intressant, men efterfrågar abonnenterna en sådan lösning? Det finns kombiapparater för GSM och DECT för den som vill passa båda abonnemangen. Vad säger GSM-operatörerna om det kommer ett stort antal hemmabaser i GSM-frekvensbanden?

## 1.18 GSM frekvensplan

GSM-tekniken används och kommer att användas i många olika frekvensband.

### GSM 450

Följande frekvenser skall gälla för utrustning avsedd för GSM 450:

- 450,4 – 457,6 MHz upplänk
- 460,4 – 467,6 MHz nedlänk

Utrustning för GSM 450 kan t.ex. användas i de frekvensband som används av NMT 450, och i de band som användes av Comvik 450.

### GSM 480

Följande frekvenser skall gälla för utrustning avsedd för GSM 480:

- 478,8 – 486 MHz upplänk
- 488,8 – 496 MHz nedlänk

Utrustning för GSM 480 kan användas i de länder som har eller har haft analoga system i dessa frekvensband. I vissa länder finns NMT 450-nät som arbetar i dessa frekvensband.

### GSM 850

Följande frekvenser skall gälla för utrustning avsedd för GSM 850:

- 824 – 849 MHz upplänk
- 869 – 894 MHz nedlänk

Detta är de frekvensband som används för AMPS och TDMA/136 i USA. Eftersom dessa operatörer vill kunna välja EDGE för tredje generationens nät, EDGE är ju GSM-teknik, så behövs en GSM-frekvensplan för dessa frekvensband.

När GSM 850-utrustning skall samsas med AMPS och TDMA/136-utrustning i samma frekvensband ställs högre krav på bl.a. grannkanalutstrålningen. Sådan GSM 850-utrustning som följer de strängare kraven kallas MXM 850.

### GSM 900, P-GSM

Standard GSM 900, eller primary GSM 900 (P-GSM).

Följande frekvenser skall gälla för P-GSM:

- 890 – 915 MHz upplänk
- 935 – 960 MHz nedlänk

### Utvidgat GSM 900, E-GSM

Utvidgat GSM-band, extended GSM 900 (E-GSM) är P-GSM som utvidgas 10 MHz nedåt i frekvens. E-GSM-utrustning skall alltså klara hela frekvensbandet, inte bara utvidgningen.

Följande frekvenser skall gälla för E-GSM:

- 880 – 915 MHz upplänk
- 925 – 960 MHz nedlänk

Denna utvidgning i 900 MHz-bandet har ännu inte utnyttjats. Operatörer med kapacitetsproblem har i stället valt att utvidga i 1800 MHz-bandet.

### Railways GSM 900, R-GSM

De europeiska järnvägsbolagen har fått ett eget frekvensband som sträcker sig ytterligare 4 MHz nedåt i frekvens. Utrustning för detta frekvensband skall klara hela 900 MHz-bandet, såväl standard-delen som den utvidgade delen.

Följande frekvenser skall gälla för R-GSM:

- 876 – 915 MHz upplänk
- 921 – 960 MHz nedlänk

Det är fortfarande oklart om järnvägsbolagen kommer att välja GSM-teknik eller TETRA-teknik.

**DCS 1800**

Den officiella beteckningen för GSM-teknik i 1800 MHz-bandet är DCS 1800. I vardagligt tal, även i vissa av ETSI:s egna publikationer, ser man ofta beteckningen GSM 1800. Själv föredrar jag GSM 1800 eftersom bokstavsförkortningen DCS kan blandas ihop med så mycket annat.

Följande frekvenser gäller för DCS 1800:

- 1710 – 1785 MHz upplänk
- 1805 – 1880 MHz nedlänk

**PCS 1900**

PCS 1900 är beteckningen på den GSM-teknik som valts av vissa amerikanska operatörer i 1900 MHz-bandet. I framtiden kan det bli aktuellt för operatörer med TDMA/136-utrustning att utnyttja PCS 1900 för att få tillgång till de högre datahastigheter som EDGE-tekniken erbjuder.

När PCS 1900-utrustning skall samsas med TDMA/136-utrustning i samma frekvensband ställs högre krav på bl.a. grannkanalutstrålningen. Sådan PCS 1900-utrustning som följer de strängare kraven kallas MXM 1900.

Följande frekvenser skall gälla för GSM-utrustning för detta frekvensband:

- 1850 – 1910 MHz upplänk
- 1930 – 1990 MHz nedlänk

**ARFCN**

Inom GSM anges frekvensen med ett heltal, ett "Absolute Radio Frequency Channel Number" (ARFCN). I tabellen är  $F_l(n)$  den lägre frekvensen (nedlänk) och  $F_u(n)$  den övre frekvensen (upplänk). ARFCN anger inte bara frekvens utan även frekvensband, förutom för 1800 MHz- och 1900 MHz-bandet, som delar på samma nummerserie.

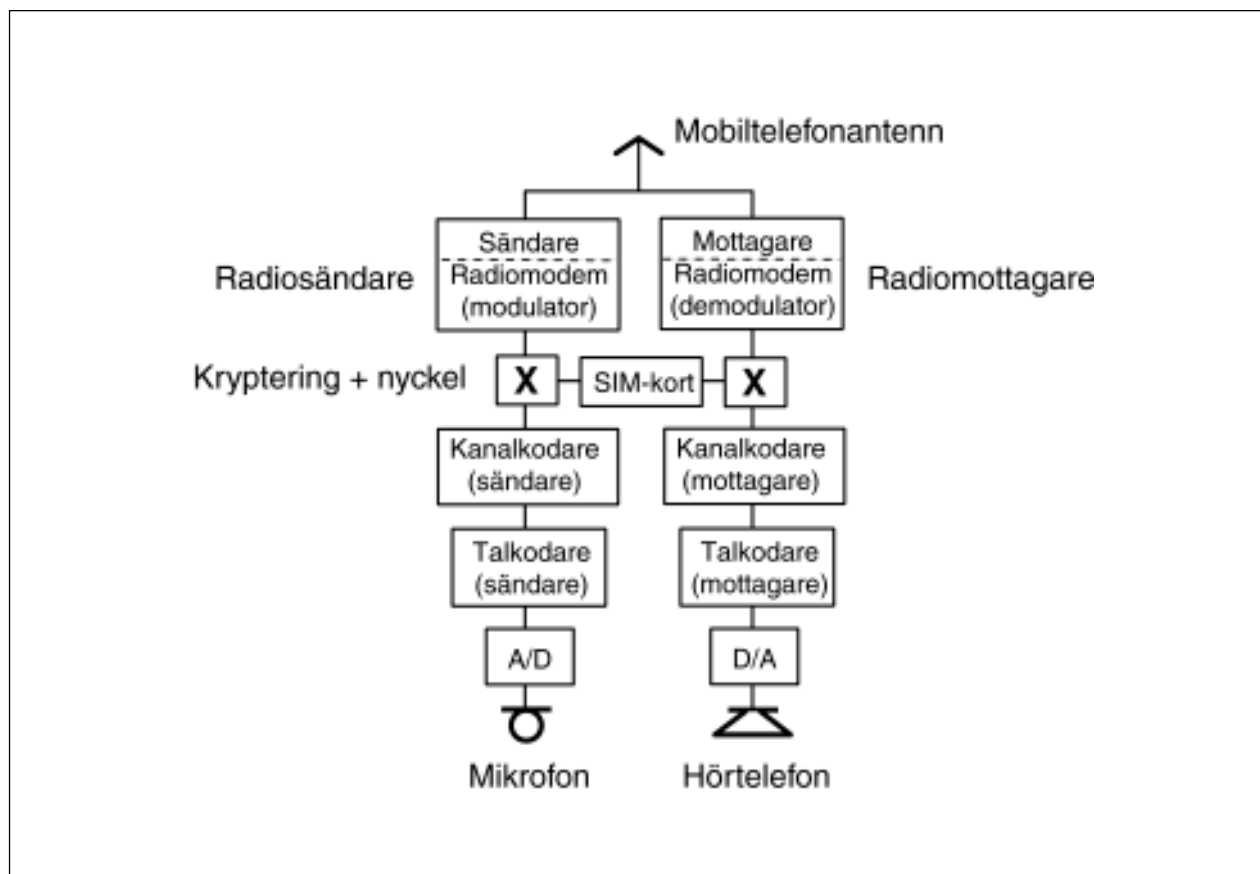
P-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$	$1 \leq n \leq 124$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
E-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$ $F_l(n) = 890 + 0,2n(n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
R-GSM 900 P-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$ $F_l(n) = 890 + 0,2n(n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $955 \leq n \leq 1023$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
DCS 1800	$F_l(n) = 1710,2 + 0,2(n-512)$	$512 \leq n \leq 885$	$F_u(n) = F_l(n) + 95$
PCS 1900	$F_l(n) = 1850,2 + 0,2(n-512)$	$512 \leq n \leq 810$	$F_u(n) = F_l(n) + 80$
GSM 450	$F_l(n) = 450,6 + 0,2(n-259)$	$259 \leq n \leq 293$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$
GSM 480	$F_l(n) = 479 + 0,2(n-306)$	$306 \leq n \leq 340$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$
GSM 850	$F_l(n) = 824,2 + 0,2(n-128)$	$128 \leq n \leq 251$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$





## **2 — Vad händer när man ringer?**

---

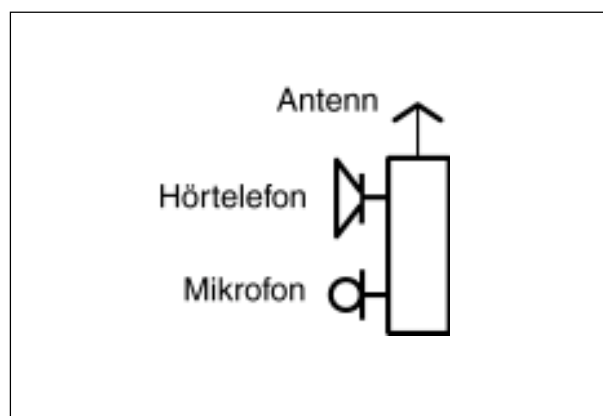


## 2.1 Blockschema

Bilden här intill visar ficktelefonen så som våra ögon ser den, ett hölje med antenn. I höljet finns ett hål att prata i, där sitter mikrofonen, och en massa småhål att lyssna i, där sitter hörtelefonen. Dessutom finns batteriet, och SIM-kortet. Detta är vad vi kan se.

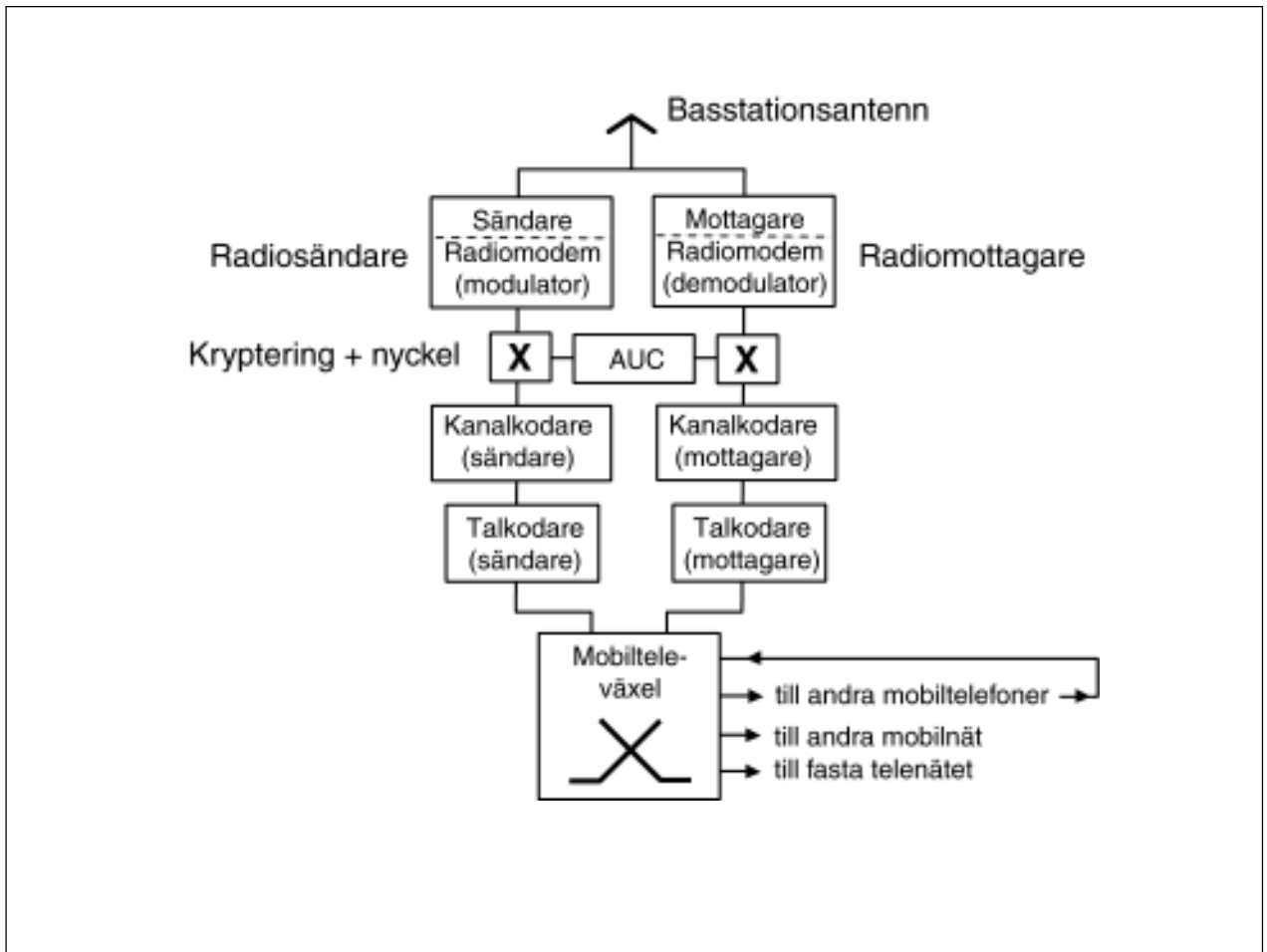
Bilden ovan är en noggrannare beskrivning av ficktelefonen. Ficktelefonen har delats in i block, ett blockschema, där varje block innehåller en funktion, en process, som signalen genomgår. Blockschemat är därför en funktionsbeskrivning av ficktelefonen.

Radioapparater som arbetar med analoga signaler består normalt av förstärkarsteg som konstruerats för att utföra en viss funktion. Hos dessa apparater överensstämmer oftast den mekaniska uppbyggnaden med blockschemat.



Digitala signaler bearbetas vanligen i en mikroprocessor. Samma mikroprocessor kan under viss tid utföra arbete i ett block, under annan tid i ett annat block. I radioapparater för digitala signaler kan man därför inte fy-

## 2 — Vad händer när man ringer?



siskt identifiera de olika blocken på samma sätt som i analoga radioapparater. Men fortfarande är blockschemat den bästa utgångspunkten för diskussioner om vad som händer och varför man gör just så.

- Kapitel 1 är mobilkommunikationshistoria, från 1949 fram till våra dagar, samt de planer man har för framtiden, tredje generationens mobiltelenät.
- Kapitel 3 – 11 behandlar nätstrukturen och indelningen i tidluckor.
- Kapitel 12 – 15 tillsammans med kapitel 8 beskriver talkodningen, kanalkodningen, krypteringen och radiomodemet lite mer i detalj.
- Kapitel 16 – 18 tar upp datakommunikation, SMS, kretskopplad data, HSCSD och GPRS.
- Kapitel 19 – 21 beskriver EDGE-tekniken och CDMA-tekniken, den radioteknik som kommer att utgöra basen för tredje

generationens mobiltelefoni.

- Kapitel 22 avslutar med telekommunikationshistoria, utvecklingen i fasta telenätet.

## 2.2 Talets väg genom ficktelefonen

Lisa tar fram sin ficktelefon och ringer till Kalle i fasta telenätet. Vi skall följa Lisas röst fram till Kalle.

### A/D-omvandlaren

Från mikrofonen går talspänningen in i A/D-omvandlaren. Här sker filtrering, sampling, kvantisering och kodning, d.v.s. den analoga växelspanningen från mikrofonen omvandlas till en digital beskrivning av talspänningen (vågformskodad). För att få god överensstämmelse mellan talspänningen och den digitala beskrivningen sker detta med 104 kbit/s.

### Talkodaren (sändaren)

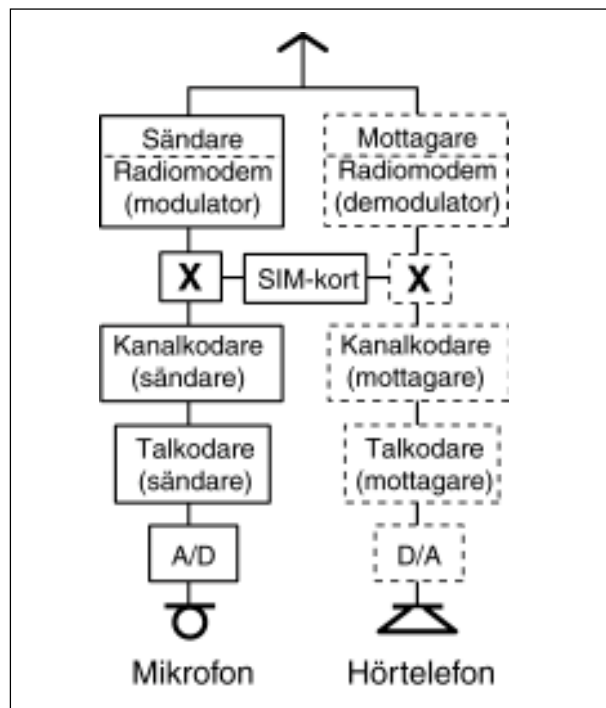
Frekvensbandet som är reserverat för GSM klarar viss maximal bithastighet per ytenhet (cell). Ju lägre bithastighet varje ficktelefon har, desto fler abonnenter kan ringa samtidigt. Målet är därför att beskriva talet med så låg bithastighet som möjligt.

I talkodaren ändras talsignalen från vågformskodad till en kod som gör det möjligt att återge mänskligt tal med 13 kbit/s. Datasignalen är inte längre en kopia av talspänningen, utan styrinformation så att man i mottagaren kan återskapa något som för vårt öra liknar det ursprungliga talet.

Vid video/TV-sändning används bildkodare som på motsvarande sätt minskar bithastigheten. Signalen från en TV-kamera har bithastigheten 216 Mbit/s. Genom avancerad bildkodning (t.ex. MPEG) kommer man ner i så låga bithastigheter som 4 Mbit/s vid fullgod TV-kvalitet och 1 Mbit/s vid VHS-kvalitet.

### Kanalkodaren (sändaren)

I kanalkodaren lägger man till databitar för felupptäckt (CRC) och felrättning (falteningskodning) samt blandar om databitarna (interleaving) för att lättare kunna rätta databitar som blivit felaktiga på grund av vågutbredningsstörningar. Dessa extra databitar gör att datahastigheten stiger till 22.8 kbit/s.



### SIM-kortet

SIM-kortet innehåller kryptonyckel och mikroprocessor som skapar ett bitflöde (flödeskrypto) som krypterar datasignalen. SIM-kortet lämnar inte ifrån sig själva kryptonyckeln. Det är därför i princip omöjligt att få tag i kryptonyckeln.

Nödsamtal (112) går okrypterat och är de enda samtal som kan genomföras om GSM-telefonen saknar SIM-kort.

### Radiosändaren

Först adderas ytterligare ca 20% databitar i en "träningssekvens" som utnyttjas av mottagaren för att lära sig hur ett or och nollar ser ut när de gått genom luften och påverkats av vågutbredningsstörningar.

Sedan omvandlas datasignalen till analog signal i modulatorens som har likheter med de 33,6 kbit/s-modem vi ansluter till telenätet.

Därefter "flyttas" den analoga signalen till 900 MHz-bandet, förstärks i "Power Amplifier" och matas till antennen.

## 2.3 Sedan kommer signalen till basstationen

### Radiomottagaren

Mottagaren tar emot och förstärker antennsignalen, samt matar den till demodulatoren som är mottagande delen av radiomodemet.

Därefter utnyttjas "träningsekvensen" för att mottagaren skall lära sig hur ett or och nollar ser ut med de vågutbredningsstörningar som finns just nu på radiosträckan.

### Kryptoenheten

Informationen måste dekrypteras för att bli begriplig. GSM-nätet hämtar uppgifter för att skapa bitströmmen som dekrypterar flödeskryptot från en speciell databas, AUC (Authentication Center).

### Kanalkodaren (mottagaren)

Kanalkodaren stuvar tillbaka (interleaving), detekterar så bitfelsfritt som möjligt samt kontrollerar (CRC) om "datapaketet" är tillräckligt felfritt för att kunna användas.

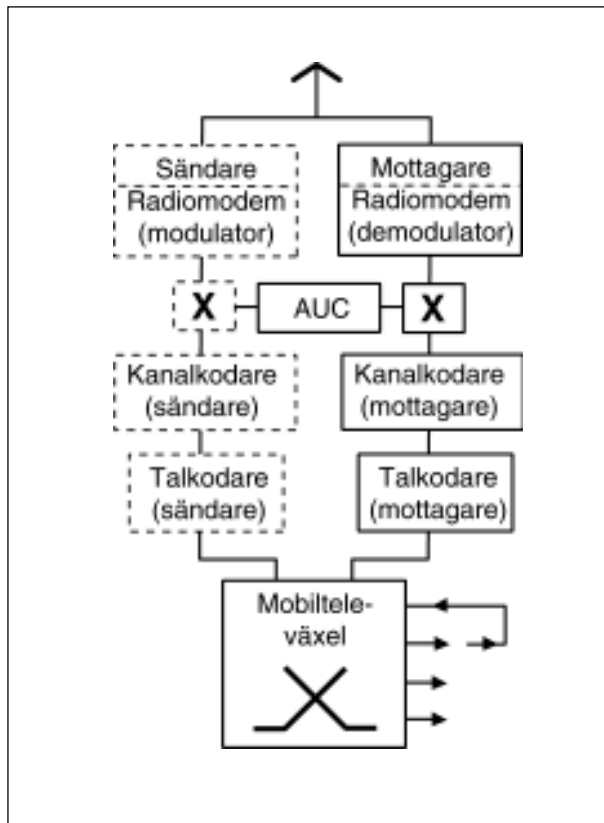
### Talkodaren (mottagaren)

Ut från kanalkodaren kommer talet kodat till datahastigheten 13 kbit/s. Detta måste omvandlas till 64 kbit/s vågformskodning (PCM) som är den digitala signal televäxlarna arbetar med.

### Mobilteleväxeln

I mobilteleväxeln sker hopkopplingen av samtalen. Ringer du till annan abonnent i samma GSM-nät sker hopkopplingen i denna växel eller i en parallellväxel. Varje mobilnät har flera växlar spridda över landet för att klara alla samtal.

Ringer du till abonnent i annat GSM-nät, NMT 450-nät eller fasta telenätet skickas samtalet till respektive nät via en "gateway-växel", en typ av "brandvägg" som ser till att andra nätoperatörer inte kan komma in och hämta otillåten information. Här sker även avräkning, d.v.s. man sparar uppgifter om samtalsvolym för att kunna ta betalt för "överlämnat samtal".





## 3 — Fasta telenätet

---

### Varför börja med fasta telenätet?

Det finns flera orsaker:

- Det skall gå att ringa från vilken fast telefon som helst i hela världen till en GSM-telefon och det skall även gå att ringa från GSM-telefonen till vilken fast telefon som helst i hela världen.  
Fasta telenätet och GSM-näten måste kunna utväxla uppkopplingsinformation.
- Det skall gå att ringa mellan GSM-abonnenter i olika GSM-nät.  
I detta fall utnyttjas fasta telenätet för att koppla trafik mellan GSM-näten.
- För det tredje vill jag kunna använda min GSM-telefon när jag är utomlands, utan att behöva teckna abonnemang i besökslandet.  
I detta fall "hyr" min GSM-operatör en del av GSM-nätet i besökslandet och kopplar ihop den med sitt eget GSM-nät. Även sådan hopkoppling skall kunna transporteras av det fasta telenätet.

## 3.1 Signalerings- och trafikkanaler

### Signaleringskanal

Hur gör vi när vi ringer? Vi lyfter på luren "och inväntar ton". Tonen är telefonväxels sätt att informera oss om att den lyssnar. Vi har förbindelse med telefonväxels hjärna.

Telefonväxeln lyssnar. Vad önskar vi att växeln skall göra?

Telefonväxeln kan nå oss genom att skicka ut ringsignal. Accessledningen är uppkopplad som signaleringskanal.

Tidigare var det växeltelefonisten som lyssnade. Vi kunde säga med ord vart vi ville komma.

Den automatiska telefonväxeln förstår inte mänskligt tal, utan bara impulser från fingerskiva eller DTMF-toner. Ända sedan automatiska telefonväxlar började införas (1923 i Sverige) har teknikerna försökt konstruera röststyrda växlar. I dag börjar tekniken känna igen tal, men fortfarande är tjänsten "namnanrop" en manuell tjänst (ring nummerupplysningen och be dem koppla samtalet).

### Trafikkanal

Vi önskar hyra en telekommunikationsförbindelse och slår telefonnumret till en viss plats (fast telefon) eller viss bärbar telefon (mobiltelefon).

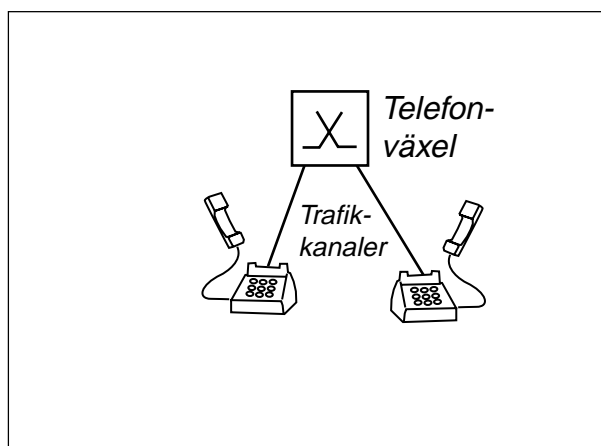
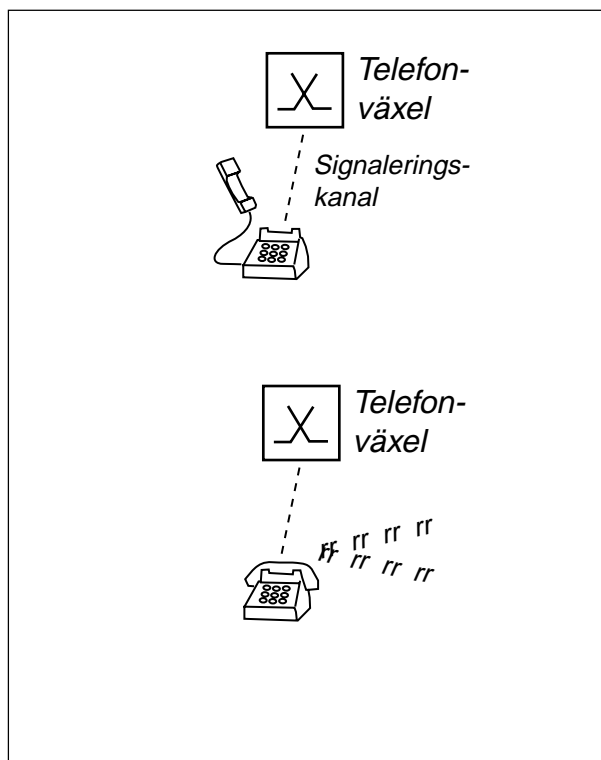
När telefonväxeln uppfattat vad vi önskar så kopplar växeln upp en trafikkanal till det önskade numret, en förbindelse avpassad för mänskligt tal.

### Alltid signalerings- och trafikkanaler

Ett telenät innehåller alltid dessa båda typer av transmissionskanaler:

- Signaleringskanal för kommunikation mellan abonnent och telenätet.
- trafikkanal för kommunikation mellan abonnenter.

Det är trafikkanalen vi vill hyra. Vi betalar för det antal sekunder vi får disponera trafikkanalen.





### Signaleringskanal vid PSTN-abonnemang

I PSTN-nätet (Public Switched Telephone Network, "plain simple telephone network"), d.v.s. det "analoga" telenätet som numera till övervägande del är digitalt utom på accessnätetsdelen, i PSTN-nätet är accessledningen först signaleringskanal. När växeln vet vad den skall göra, då kopplas accessledningen om och blir trafikkanal. Nu kan vi inte längre tala med växeln. Växeln lyssnar inte på våra DTMF-toner (Dual Tone Multi Frequency). Om vi alstrar DTMF-toner matas dessa vidare på trafikkanalen till den andra abonnenten. Det är så vi talar med "bank på telefon".

### Koppla tillbaka till signaleringskanal: R-knappen

Det finns dock ett sätt att få telefonväxeln att lyssna: Tryck på R-knappen. Under pågående samtal, d.v.s. när trafikkanalen är uppkopplad, ligger växeln och avlyssnar vår kommunikation för att upptäcka när samtalet är slut, d.v.s. när vi lägger på luren.

- När den som ringer upp (A-abonnenten) lägger på luren så bryts trafikkanalen efter 3 sekunder.
- Den som blir uppringd (B-abonnenten) kan lägga på och har 90 sekunder på sig att byta till annan telefon innan trafikkanalen bryts.

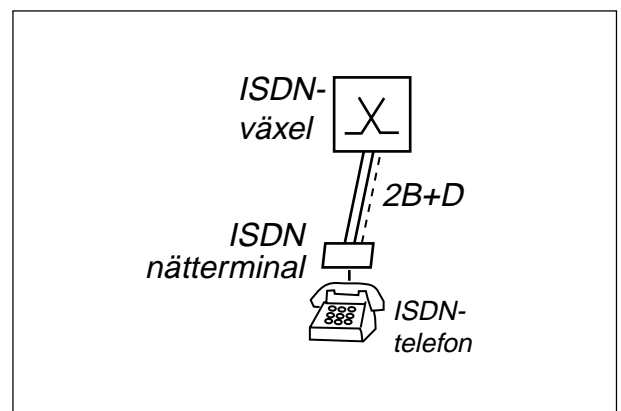
Men om A- eller B-abonnenten lägger på och blixtnsnabbt lyfter på luren igen, egentligen bara slår till klykan, d.v.s. skapar ett mycket kort avbrott på trafikkanalen (detta ytterst korta avbrott alstras av R-knappen) då förstår telefonväxeln att just den abonnenten önskar något, utan att trafikkanalen bryts. Växeln ger ton för att tala om att nu är accessledningen signaleringskanal. Växeln lyssnar på dina önskemål och är beredd att tolka DTMF-tonerna.

### Signaleringskanal vid ISDN-abonnemang (2B+D)

Vid ISDN skickas digital information på accessledningen. Man överför 160 000 databitar per sekund. Dessa databitar är uppdelade, så att av de 20 databitar som skickas under 125  $\mu$ s, så ingår 8 databitar i den ena trafikkanalen **B** (64 kbit/s), 8 databitar ingår

i ytterligare en trafikkanal **B** (64 kbit/s), 2 databitar ingår i signaleringskanalen **D** (16 kbit/s) och 2 databitar är bl.a. synkronisering för att identifiera vilka databitar som hör till vilken kanal.

Vid PSTN kopplas accessledningen om mellan signaleringskanal och trafikkanal på vårt kommando. Vid ISDN sker omkopplingen 8000 ggr per sekund och vi upplever det som om vi samtidigt har tre kanaler på accessledningen, två trafikkanaler och en signaleringskanal. Men även här sker alltså omkoppling, tidsdelning.



## 3.2 Mellanstationssignalering

Men inte bara abonnenterna behöver tala med växlarna. Växlarna behöver tala med varandra när samtal skall kopplas upp mellan abonnenter som ligger anslutna till olika telefonväxlar.

### Kanalassocierad signalering

Accessledningen kan ses som en trafikkanal som ibland fungerar som signaleringskanal. På samma sätt var det tidigare i trunknätet mellan växlarna. Trunknätet bestod av trafikkanaler som först användes som signaleringskanal. Växeltelefonisterna talade med varandra för att koppla upp samtalet, varefter kanalen överläts som trafikkanal till abonnenterna.

Även de automatiska televäxlarna gjorde på samma sätt. Mellanstationssignaleringen gick som kanalassocierad signalering på den trafikkanal som sedan skulle användas för själva samtalet.

Teleoperatören tar betalt av A-abonnenten för den tid som A-abonnenten har tillgång till trafikkanalen. Den tid som kanalen används av växlarna för samtalsuppkopplingen är tid som inte kan hyras ut.

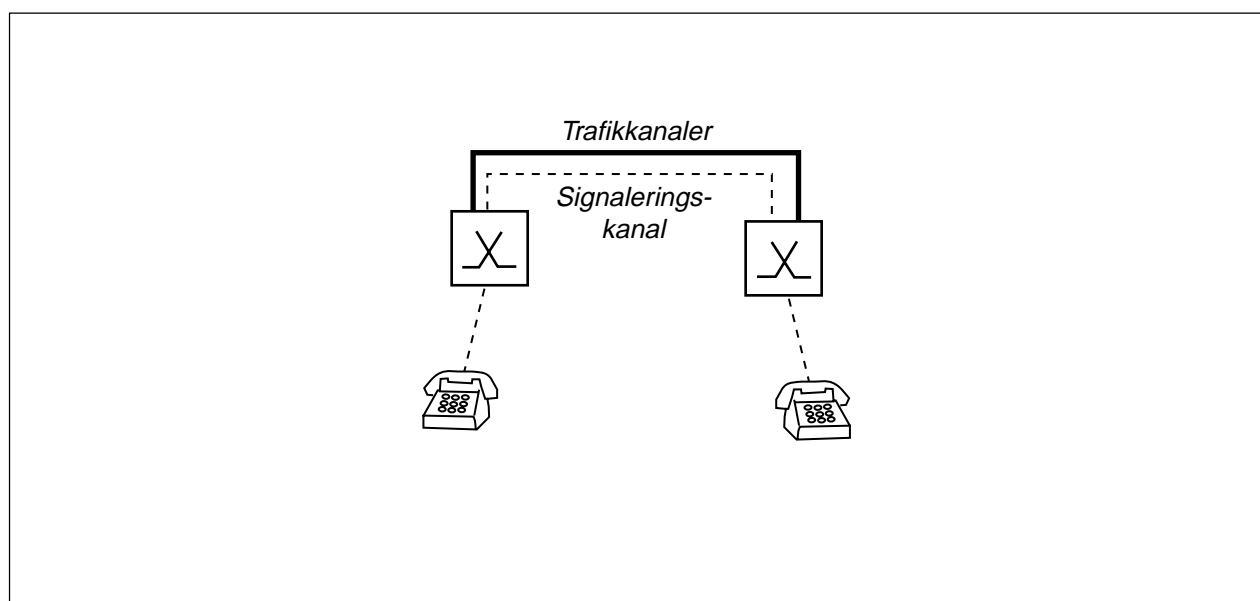
### Separat signaleringsnät

Det har alltid varit brist på förbindelser i trunknätet. Redan 1905 användes telegraf-förbindelsen på sträckan Stockholm – Göteborg för att överföra uppkopplingsinformation och därigenom frilägga trunk-förbindelser för själva samtalen.

Inte bara bristen på trafikkanaler, utan även möjlighet att överföra mer avancerad signaleringsinformation ledde till att man på 1980-talet utvecklade ett separat datanät för signaleringsinformationen.

### GK-signalering, CCITT #7, SS7

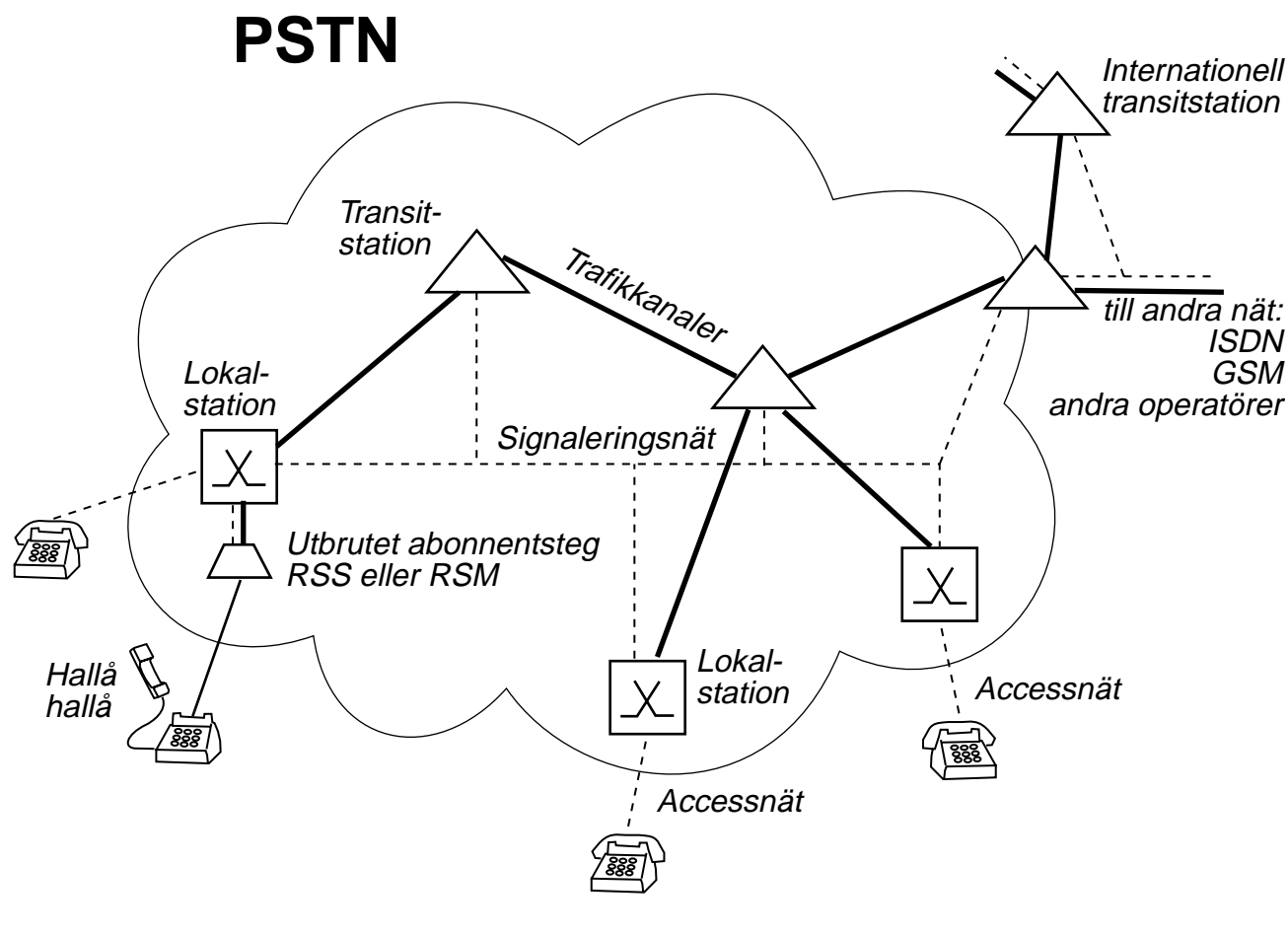
Under 1980-talet infördes, först i det internationella trunknätet, sedan även i de nationella näten, ett separat signaleringsnät kallat CCITT signaleringsnät nr 7 (CCITT #7, SS7), som är ett paketdananät av X.25-typ, inte olikt Internet. All signalering sker på denna gemensamma kanal, gemensam kanalsignalering (GK-signalering). Växlarna kunde börja prata med varandra utan att först belägga en ledig trafikkanal.



### **Om du ringer en abonnent i Spanien**

Tänk att du ringer en abonnent i Spanien. Den svenska växelns frågar den spanska växelns, via CCITT #7 signaleringsnätet, om abonnenten är upptagen. Om abonnenten inte är upptagen begär växelns en internationell trafikkanal mellan Sverige och Spanien. Man slipper koppla upp och hålla trafikkanalen beredd om samtalet ändå inte kan genomföras därför att B-abbonnten är upptagen.

Man skulle kunna tänka sig att gå ytterligare ett steg. Skicka ut ringsignal. Om B-abbonnten svarar, först då kopplas en trafikkanal upp. Men om det just då inte finns någon ledig trafikkanal så bryts samtalet, och B-abbonnten har svarat i onödan. För att inte "reta" abonnenterna reserveras alltid trafikkanalen innan ringsignal skickas ut.



### 3.3 Systemstruktur för PSTN-nätet

#### Accessnätet

I det fasta telenätet är abonnenterna anslutna till telefonväxeln med en kopparkabel. I några fall delar två abonnenter på samma kopparkabel, utan att det märks (ABBF-teknik). Ännu vanligare är att kopparkabeln inte når ända fram till telefonväxeln utan är ansluten till ett "utbrutet abonnentsteg" (RSS, RSM), men vi upplever det ändå som om kopparkabeln går hela vägen ända fram till telefonväxeln.

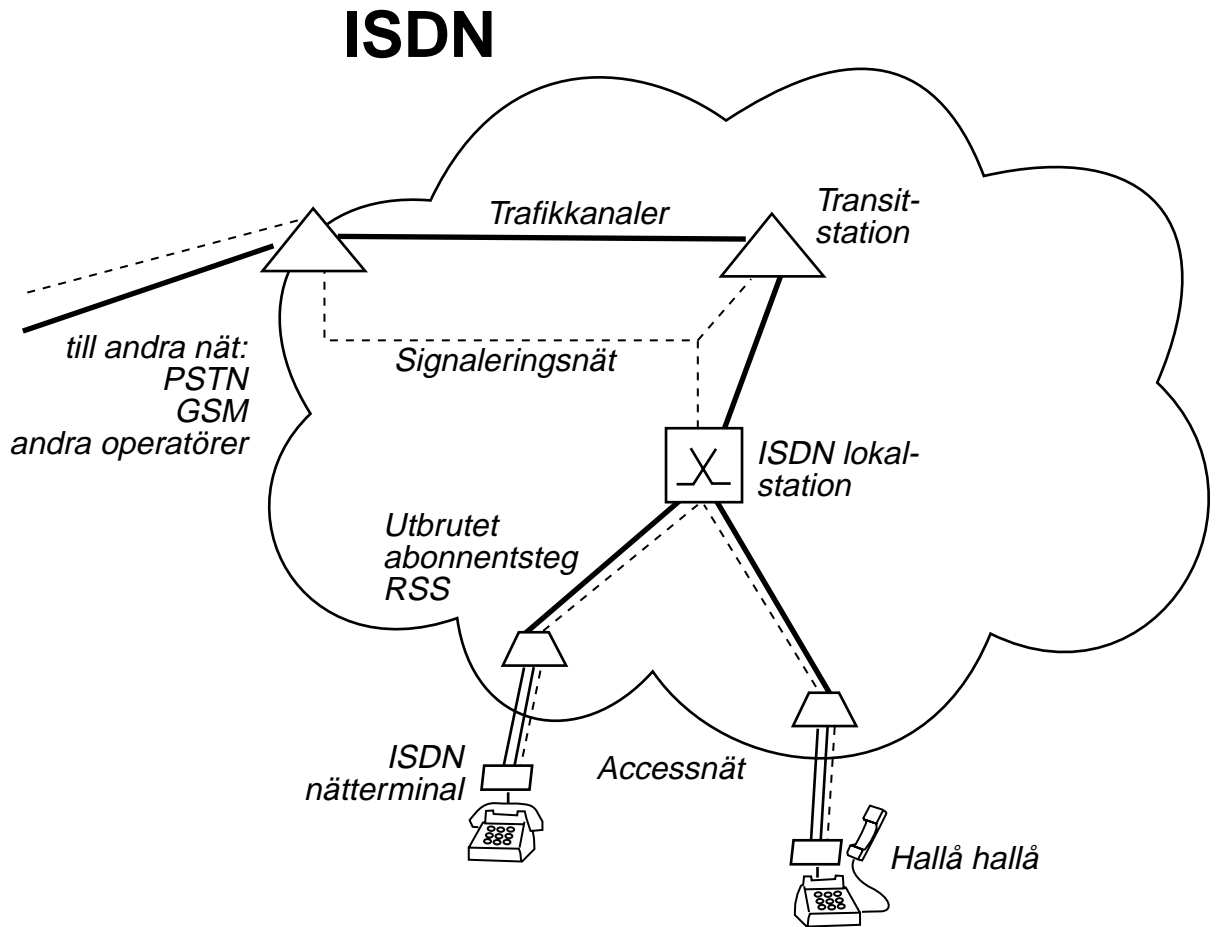
Denna del av telefonnätet, kopparkablarna som ansluter abonnenterna till telefonväxlarna, vår egen ledning som inte används av andra abonnenter, denna del kallas accessnätet (lokálnätet, anslutningsnätet).

#### Trunknätet

När vi önskar tala med abonnenter som är anslutna till någon annan telefonväxel, då behövs förbindelser mellan växlarna. Förbindelser som sammanbinder telefonväxlarna kallas trunkförbindelser, trunknätet (rikslinjenätet).

#### Lokalstationer och transitstationer

Telefonväxlarna dit abonnenterna är anslutna kallas lokalstationer. Men det finns även telefonstationer i trunknätet som växlar trafik som går mellan telefonstationer. Sådana telefonväxlarna kallas transitstationer (förmedlingsstationer).



### 3.4 Systemstruktur för ISDN-nätet

#### Accessnätet

Med en ISDN nätterminal (NT) kan man överföra digitala signaler på accessnätets kopparkabel. Linjeinterface-kortet (LIC) i lokalstationen måste vara avsett för ISDN.

#### Trunknätet och transitstationerna

Det finns inget som i dag skiljer trunknätet och transitstationerna i ISDN-nätet från PSTN-nätet. Bägge näten är digitala. Därför kan man använda gemensamt trunknät och transitstationer för både PSTN- och ISDN-näten. Vad som skiljer ligger i signaleringsinformationen. Men signaleringsnätet klarar att hantera alla olika typer av signaleringsdata samtidigt. Enda kravet är att transitstationerna skall klara att hantera både PSTN-signalering (TUP) och ISDN-signalering (ISUP).

#### Lokalstationen

Det finns lokalstationer som klarar att hantera både PSTN-abonnenter (LIC för PSTN) och ISDN-abonnenter (LIC för ISDN) i samma lokalstation. Men trots att PSTN- och ISDN-abbonenterna utnyttjar samma AXE centralprocessor så hör de logiskt till skilda nät, PSTN-nätet respektive ISDN-nätet.

## 3.5 Telefonnumret

### I fasta telenätet

Sedan 1997 skall fasta telenäten kunna hantera nummerlängder på upp till 15 siffror vid internationella samtal.

Det internationella telefonnumret i fasta telenätet består av

$$CC + NDC + SN$$

*CC* = Country Code (Landskod)

*NDC* = National Destination Code (Områdesnummer)

*SN* = Subscriber number (abonnentnummer)

### Att slå ett internationellt telefonnummer

Man måste tala om för lokalstationen att man matar in hela det internationella telefonnumret. Detta gör man genom att inleda med det internationella prefixet, standardiserat till "00" (Sverige gick över från "009" till "00" hösten 1999).

$$"00" + CC + NDC + SN$$

Men alla länder har inte gått över till "00". Hur det internationella telefonnumret ser ut beror alltså på i vilket land man befinner sig. Därför skriver man t.ex. på brevpapper "+" som internationellt prefix.

$$"+" + CC + NDC + SN$$

### GSM-näten kan hantera "+"

GSM-näten kan hantera "+" som internationellt prefix. Vid samtal från en GSM ficktelefon behöver man därför inte känna internationella prefixet i det land man ringer från. Det är valfritt att mata in landets internationella prefix eller tecknet "+".

### Öppen numreringsplan i fasta telenätet

När man ringer inom Sverige i fasta telenätet (PSTN och ISDN) tillämpas vad som kallas öppen numreringsplan. Detta innebär att man inte behöver slå områdesnummer

*Vi får följande alternativ vid samtal inom de fasta telenäten*

- **Utlandssamtal:**

*"00" + CC + NDC + SN*

- **Rikssamtal:**

*"0" + NDC + SN*

- **Lokalsamtal** (två möjligheter, valfritt):

*SN*

eller

*"0" + NDC + SN*

om man ringer från en PSTN- eller ISDN-telefon till annan telefon i PSTN- eller ISDN-näten, om denna telefon ligger inom samma riktnummerområde.

Man markerar för televäxeln om man inkluderar områdesnumret genom att inleda nummerslagningen med "0" ("0" + NDC kallas riktnummer).

**Mobilnäten har egna områdesnummer**

Abonnenterna i mobiltelenäten har mobiltelefonnummer som överensstämmer med den internationella standarden för fasta telenäten. Man skall ju kunna ringa till/från de olika näten, och näten måste kunna hantera (sifferlängd) och tolka ( $CC + NDC + SN$ ) telefonnumrets uppbyggnad för att hitta rätt.

Mobiltelenäten betraktas som egna områden, och har därför fått egna områdesnummer.

*Områdesnummer inklusive inledande "0" för de svenska mobiltelenäten ("0" + NDC):*

- *Comviq GSM: 0704, 0707, 0736, 0739*
- *Europolitan GSM: 0708, 0709, 0733*
- *Telia GSM: 0702, 0703, 0705, 0706, 0730*
  
- *Telia NMT 450: 0102, 0103, 0106, 0107*

**Sluten numreringsplan i GSM**

När man ringer en GSM-abbonent från fasta telenätet eller något annat mobilnät så måste man alltid slå hela numret inklusive prefix:

*"0" + NDC + SN*

*"00" + CC + NDC + SN*

*"+" + CC + NDC + SN*

För att abonnenterna inte ideligen skall ta miste på vilket mobilnät en abonnent tillhör, så tillämpas inom GSM vad som kallas sluten numreringsplan. Man måste alltid mata in prefix och områdesnumret NDC även vid samtal till abonnenter i samma mobilnät, alltså abonnenter som har samma områdesnummer som jag själv.

Som GSM-abbonent så vill jag att man skall kunna nå mig från vilken telefon som helst i hela världen. Detta villkor uppfylls av att mitt mobiltelefonnummer (GSM-nummer) följer den internationella nummerplanen.

Oavsett vilket land man ringer från så skickas mitt internationella telefonnummer till en utlandsstation ansluten till de internationella trunk- och signaleringsnäten. På signaleringsnätet går numret till en svensk utlandsstation som med hjälp av mobiltelefonnumrets områdesnummer skickar vidare till rätt "område", rätt GSM-operatör. Där lämnar min GSM-operatör besked om vilka trafikkanaler som behöver reserveras för att samtalet skall kunna kopplas upp.

## 3.6 Signaleringsnät CCITT #7 (SS7)

Vid mitten av 1980-talet fanns ett världsomspännande PSTN-nät. Trafikkanalerna i det internationella trunknätet var på många håll fortfarande analoga, men man kompletterade med en digital signaleringskanal (64 kbit/s) som följde CCITT #7-signalering, där den del i protokollet som hanterar PSTN-signaleringen kallas TUP (Telephone User Part).

När man började bygga ISDN-nät i vissa länder, som isolerade öar, och abonnenter ville ringa mellan två sådana isolerade öar, så kompletterades CCITT #7-protokollet så att ISDN-näten kunde utväxla uppkopplingsinformation (ISUP, ISDN User Part). Om två abonnenter ville koppla upp "ISDN tal" så räckte det med en internationell analog trafikkanal, och samtalet kunde utväxlas. Om de däremot ville koppla upp "ISDN 64 kbit/s dataförbindelse", då krävs en internationell 64 kbit/s-trafikkanal hela vägen.

Trafikkanalerna är i dag till övervägande del digitala 64 kbit/s PCM-förbindelser, men på vissa håll finns fortfarande trafikkanaler som är analoga, och på några sträckor med brist på förbindelser kan talsignalen vara kodad med 32 kbit/s ADPCM. Det finns alltså ingen enhetlig standard för trafikförbindelser. Det enda man säkert kan säga är att förbindelserna klarar att överföra tal.

På många håll innebär det stora kostnader att modernisera samtliga trafikkanaler till 64 kbit/s PCM. Men att få fram någon enstaka 64 kbit/s-förbindelse som kan ingå i ett digitalt signaleringsnät är enklare. Därför krävde CCITT att även om trafikkanalerna inte var digitala, så skulle signaleringen ske i ett digitalt signaleringsnät som följer standarden CCITT #7.

Vad kunde man räkna med vid GSM-standardiseringen? Jo, trafikkanaler som klarar att överföra tal, och ett signaleringsnät som följer CCITT #7.

### CCITT #7

Signaleringsnätet är ett paketdatanät på samma sätt som X.25 och Internet. Sådana nät brukar beskrivas med sju olika skikt enligt OSI-modellen, där olika arbetsuppgifter hör till respektive skikt.

OSI-skikt 1 har hand om den fysiska nätanslutningen. Paketdatanät innebär att datapaket skickas från nod till nod tills de når slutdestinationen. Skikt 2 kontrollerar kommunikationen mellan två noder och utför felkontroll och begär omsändning om det blivit bitfel på överföringssträckan mellan två noder. Vid Internetanslutning tillhör skikt 2 det LAN där du är ansluten (oftast Ethernet), eller också utförs denna felkontroll av ditt modem, om du ligger ansluten till Internet via modem.

OSI-skikt 3 har hand om "vägvalet". Här avläser man paketets adress och avgör vart det skall skickas för att så småningom nå slutdestinationen. Vid Internet sköts detta av IP-protokollet. Läs adress och skicka vidare. "Förbindelselös" kommunikation.

OSI-skikt 4 – 7 är intelligensen i ändarna av förbindelsen. Vid Internet finns bl.a. TCP-protokollet som klarar att sätta samman många IP-paket i rätt ordning till en sammanhängande datafil, kontrollera att alla paket kommit fram och att det inte finns några kvarvarande bitfel. Om något inte stämmer så begär TCP-protokollet omsändning, inte från närmaste nod utan från "datorn i andra ändan". Sätta upp en förbindelse för flerpaketskommunikation är "förbindelseorienterad" kommunikation.



### Ursprungligen MTP och TUP

I signaleringsnätet motsvaras skikten 1, 2 och halva 3 av MTP (Message Transfer Part). Ovanpå MTP ligger användardelarna som är TUP (Telephony User Part) för PSTN-nätet och ISUP (ISDN User Part) för ISDN-nätet.

Varför finns bara halva skikt 3? Jo, TUP och ISUP är "standard" signaleringsmeddelanden med begäran om trafikförbindelse. Sådana signaleringspaket har ett förenklat adressfält. Växeln vet vart den skall skicka sådana paket.

### SCCP

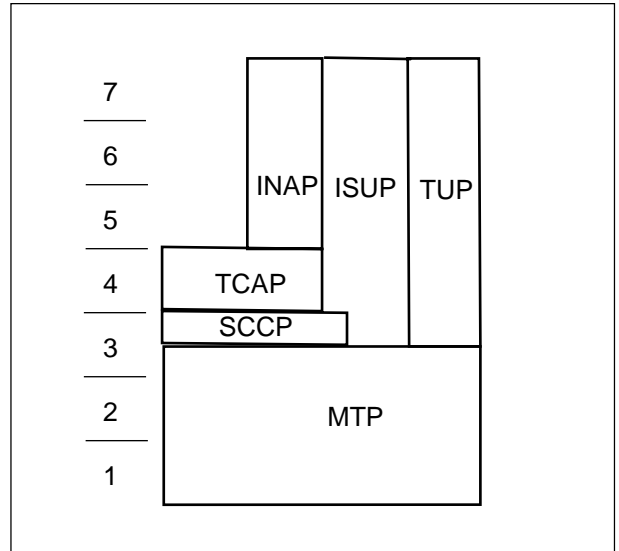
Nästa steg i utvecklingen var att utöka användningen av signaleringsnätet, för att skicka datapaket som inte innebär uppkoppling av förbindelser. Dessa paket behövde ett mer fullständigt adressfält. Därför kompletterades signaleringsprotokollet med SCCP (Signalling Connection Control Part), som kan sägas vara den saknade delen av skikt 3 för att göra signaleringsnätet till ett generellt paketdatanät med möjlighet att kommunicera med vilken nod som helst.

### TCAP

Ovanför SCCP i OSI-skikt 4 har man lagt TCAP (Transaction Capabilities Application Part) som är ett protokoll för att skicka frågor till databaser och få svar. Detta protokoll utnyttjas bl.a. av INAP (Intelligent Network Application Part). Exempel på en IN-tjänst är när jag ringer ett 020-nummer (mottagaren betalar). Detta nummer skickas till en databas där det översätts till telefonnumret på den fysiska telefon dit samtalet skall kopplas. Samtidigt lagras faktureringsinformation så att personen eller företaget med 020-numret blir fakturerad för samtalet.

ISUP är protokollet som används av ISDN. Vid uppkoppling av förbindelser kommunicerar ISUP direkt med MTP. Men en liten del av ISUP kommunicerar via SCCP.

Vid ISDN har abonnenten tillgång till två trafikkanaler om vardera 64 kbit/s, och signaleringskanalen med bithastigheten 16 kbit/s. Via SCCP kan man ställa upp en förbindelseorienterad dataförbindelse genom



signaleringsnätet, i princip en X.25-förbindelse.

När ISDN specificerades tänkte man att abonnenten skulle få inte bara två kretskopplade trafikkanaler, utan även möjlighet till permanent X.25-uppkoppling med låg datahastighet (< 16 kbit/s). Dessutom tänkte man att korta textmeddelanden skulle kunna skickas till ISDN-abbonenter via signaleringskanalen.

Denna kundanvändning av signaleringskanalen har inte realiserats i ISDN. Däremot skall vi se att SMS-tjänsten i GSM är uppbyggd på detta sätt.

### Signaleringspaketens storlek

Signaleringspaketet kan ha variabel längd, men största längden är 272 oktetter (2176 bit). De olika GSM-näten utnyttjar signaleringsnätet för att skicka diverse information mellan sig. Denna information är i de flesta fall utformad så att varje fråga eller svar ryms i ett enda signaleringspaket för att man skall slippa hantera information som är uppdelad på flera signaleringspaket. Även SMS-tjänsten utnyttjar signaleringsnätet, och med all adressinformation m.m. så blir det bara 140 oktetter över för själva SMS-meddelandet. För att få in så lång text som möjligt på dessa 1120 databitar så utnyttjas 7-bitsalfabet, vilket ger 160 tecken. För att slippa komplikationer med variabel paketlängd, omvandling från 7-bit till oktetter osv. har man bestämt att SMS-meddelanden skall ha fast längd på 160 tecken.



## 4 — GSM:s kravspecifikation

---

I början av 1990-talet konkurrerade teleoperatörerna med nya tjänster, framför allt plus-tjänsterna i fasta telenätet. Därför var det viktigt för operatörerna att kunna presentera så många olika tjänster som möjligt.

Ett av de primära målen vid upprättandet av kravspecifikationen för GSM blev därför introduktionen av nya tjänster.

## 4.1 Grundläggande krav

CEPT tillsatte 1982 en arbetsgrupp med beteckningen GSM (Groupe Spécial Mobile) som fick uppgiften att specificera ett pan-europeiskt mobiltelefonsystem i 900 MHz-bandet.

GSM-gruppen ställde upp som mål att det nya systemet skulle vara lika bra som existerande analoga system, som vid denna tid var NMT 450 och AMPS, men helst bättre på ett antal punkter:

- **Mobiltelefonen måste bli billigare**

Första generationens mobiltelefonsystem hade nyss öppnats för trafik. Mobiltelefonerna var fortfarande dyra. Man ville att den tekniska lösningen för det nya systemet skulle möjliggöra billigare mobiltelefoner.

De analoga mobiltelesystemen sänder och tar emot samtidigt på samma antenn. Därför behövs ett filter, duplexfilter, som skyddar radiomottagaren för den egna sändarsignalen. GSM-systemet blev ett tidsdelat system där mobiltelefonen sänder i en tidlucka och tar emot i en annan. Därför behövs inte ett lika avancerat duplexfilter.

Senare har det visat sig att det är seriestorlekarna snarare än hur systemet är uppbyggt som påverkar mobiltelefonernas pris.

- **Handtelefoner**

Det nya systemet skulle vara uppbyggt så att handtelefoner, ficktelefoner, skulle kunna användas.

Mobiltelefonerna i NMT 450 hade 15 W sändareffekt och detta påverkade hur tätt man placerade basstationerna. Men 15 W från en ficktelefon är omöjligt. Batteriet skulle laddas ur alltför fort. Därför specificerades flera effektklasser för GSM: 20 W och 8 W fordonsmonterade mobiltelefoner, och handportabla mobiltelefoner i effektklasserna 5 W, 2 W och 0,8 W.

Den första klassen, 20 W, ströks på ett tidigt stadium. GSM-telefoner för 8 W och 5 W har vad jag vet aldrig realiserats. Den första ficktelefonen var på 0,8 W men försvann snabbt ur marknaden. I dag har alla

GSM 900-telefoner 2 W uteffekt (1 W vid GSM 1800), och basstationerna är utplacerade så att denna effekt skall räcka för att få kontakt med en basstation.

Även radiomottagaren drar ström, och det gör den hela tiden, även när man inte ringer. Radiomottagaren måste lyssna efter "ringsignal", inkommande samtal. Men genom att bestämma att ringsignal (paging) bara skickas i vissa bestämda tidsintervall, så kan ficktelefonen "sova" däremellan och på så vis spara på batteriet. Detta kallas batterisparfunktion, något som infördes även i NMT 900.

- **Kostnaden för mobiltelenätet skulle vara lägre**

En stor kostnad för nätoperatören var investering i radiobasstationer. I de analoga systemen hade man en sändare/mottagare för varje trafikkanal.

GSM blev ett tidsdelat system uppdelat i åtta tidluckor. På så vis fick man in åtta trafikkanaler på varje sändare/mottagare.

Ytterligare kostnader är transmissionen ut till basstationerna. Genom att behålla GSM-talkodningen (13 kbit/s) även på denna sträcka så fick man in fyra talkanaler på en 64 kbit/s-förbindelse. Basstationen optimerades så att flera basstationer kunde serie-matas via 2 Mbit/s-förbindelser. Man tänkte sig matning via radiolänk på 2 Mbit/s eller 8 Mbit/s.

Även sammankopplingen med andra nät, inklusive GSM-nät utomlands, utfördes så att befintliga världsomspännande telekommunikationsnät skulle kunna utnyttjas.

- **Introduktion av nya tjänster: Tal och data integrerat**

Första generationens mobiltelenät var uppbyggda för att klara tal. Nu sneglade man på ISDN-utvecklingen, ett integrerat nät både för tal och för data.

Kopplingen till ISDN blev så hård vid GSM-standardiseringen att det inte finns något eget datakommunikationstänkande i

GSM. Allting är som ISDN, fast med lägre datahastighet.

Den långsamma utvecklingen av datatjänster i GSM beror till stor del på att inga datatjänster kommit fram i ISDN. Den enda datatjänst som fått allmän spridning är SMS, kortmeddelanden. SMS-tjänsten är ursprungligen specificerad för ISDN, korta datameddelanden som skickas på signaleringskanalen. SMS-tjänsten blev stor inom GSM men infördes aldrig i ISDN. Den enda datatjänst som blivit stor i ISDN är krets-kopplad datauppkoppling mot Internet. Från GSM-telefonen hade en paketförmedlad datauppkoppling mot Internet fungerat bättre. En sådan får vi när GPRS införs.

- **Bättre transmissionskvalitet**

Med transmissionskvalitet menas inte tal-kvalitet. Det var inte bättre ljudkvalitet som efterfrågades, utan färre "skrap" vid låg signalstyrka. Dessutom skulle datatjänsterna ha låg bitfelshalt, något som klaras med CRC-checksumma och automatisk omfrågning vid bitfel.

- **Högre säkerhet**

När NMT 450 introducerades var det relativt lätt att gå in i mobiltelefonen och ändra så att mobiltelefonen fick ett annat nummer. Man kunde tjuvringa och få samtalskostnaden att hamna på någon annan abonnents teleräkning. Att säkert identifiera vem som skall betala samtalet, autentisering, var det viktigaste säkerhetskravet ur nätoperatörens synvinkel.

Självklart var abonnenterna intresserade av att slippa bråka med operatören om felaktiga teleräkningar, men ett viktigare krav var att tal- och datatrafiken skulle krypteras, för att försvåra avlyssning.

## 4.2 GSM Association (GSMA), tidigare GSM MoU

Tänk dig två företag som tänker samarbeta om en produkt. Samarbetet innebär att parterna måste avslöja affärshemligheter för varandra. För att gardera sig så att motparten inte drar nytta av sådana avslöjanden om samarbetet skulle avbrytas, så undertecknar parterna ett avtal där de förbinder sig att inte utnyttja eller föra vidare sådan information annat än inom samarbetets ram. Ett sådant avtal brukar kallas "Memorandum of Understanding".

### Från överenskommelse till samarbetsorganisation

På CEPT-mötet i Köpenhamn 1987 utarbetades ett MoU (Memorandum of Understanding) som undertecknades av 20 blivande GSM-operatörer. I avtalet förband sig operatörerna att under 1991 införa GSM med täckning av huvudstäder och tillhörande flygplatser. Under 1993 skulle alla större städer och flygplatser ha täckning och senast 1995 skulle alla viktigare städer och transportleder mellan städerna ha GSM-täckning. Dessa 20 operatörer bildade samtidigt en sammanslutning som tog namnet GSM MoU. Från att beteckna dokumentet övergick namnet till att betyda GSM-operatörernas samarbetsorganisation.

I många europeiska länder fanns analoga mobilnät. Vem ville skaffa GSM-telefon innan GSM-näten blivit rikstäckande? GSM-telefonen var större än den analoga ficktelefonen (1992) och hade sämre ljudkvalitet.

Bildandet av GSM MoU var ett lyckokast. Den gemensamma GSM-utbyggnaden över hela Europa fick abonnenterna att inse att GSM var framtidens system, som skulle finnas överallt. Och abonnenterna strömmade till, trots att GSM till en början hade sämre täckning.

### Från GSM MoU till GSM Association

MoU hängde med i namnet på operatörernas samarbetsorganisation ända fram till 1998, då det ändrades till GSM Association.

I juli 2000 bestod GSM Association av över 460 GSM-, satellit- och 3G-operatörer från 150 länder med tillsammans 345 milj GSM-abonnenter.

GSM Association hanterar frågor som berör operatörerna. Hit hör säkerhetsfrågor som stulna apparater, stulna identiteter och krypteringsalgoritmer. Vidare utarbetar man rutiner för ekonomisk avräkning när abonnenterna loggar in på GSM-nät i andra länder.

### GRX-operatörer

När jag ringer GSM-samtal från utlandet (internationell roaming) så kopplas samtalet över det internationella fasta telefoninätet via mitt eget GSM-nätet. När GPRS införs skall motsvarande datatrafik kopplas över något IP-nät. Men GSM-operatörerna vill inte utnyttja publika Internet för denna roamingtrafik utan GSMA har utarbetat en teknisk specifikation (GPRS Roaming eXchange) för dessa IP-nät mellan GSM-operatörerna. Genom att utse vissa långdistansoperatörer att driva dessa nät (GRX-operatörer) så får GSMA möjlighet att ställa krav på funktionalitet och framkomlighet, något som skulle vara omöjligt om trafiken går i publika Internet.

## 4.3 Grundläggande funktioner, bastjänster

### Bastjänster

GSM-nätet klarar att leverera en mängd olika tjänster. Fyra av tjänsterna är grundläggande funktioner i GSM-nätet och kallas bastjänster.

Varför kallas dessa grundläggande funktioner för tjänster? Alla med GSM-telefon har ju dessa tjänster. Ja, men de som har annan mobiltelefon? Tag internationell roaming. Den fanns mellan vissa länder i NMT-systemet. Annars är det fortfarande bara GSM-abonnenter som har tillgång till internationell roaming.

- **Internationell Roaming**

Att kunna flytta sig inom operatörens hela GSM-nät och överallt kunna ringa och bli nådd av inkommande samtal kallas roaming. Ordet är engelska och betyder ungefär "ströva". Vilda djur t.ex. vargar eller renar strövar omkring när de söker efter föda.

Internationell roaming innebär att man dessutom skall kunna förflytta sig inom alla andra operatörens GSM-nät och fortfarande ha möjlighet att ringa och bli nådd av inkommande samtal.

Internationell roaming är inbyggd i GSM-tekniken. För att det skall fungera i praktiken behövs dessutom ett ekonomiskt avtal mellan GSM-operatörerna, ett "roamingavtal". En utländsk GSM-operatör släpper inte in mig i sitt nät utan ett ekonomiskt avtal med någon som är villig att betala. Jag har bara avtal med min hemmaoperatör. Alltså behöver den utländske GSM-operatören ett avtal med min hemmaoperatör för att vara säker på att få sina pengar (roamingavtal).

- **Skydd vid avlyssning (kryptering)**

All radiotrafik kan avlyssnas, men går den att förstå?

Vid analog mobiltelefoni kan man höra samtalet med en "scannermottagare". I GSM går abonnentens tal och data i digital form, vilket redan det är svårt att tyda utan expertkunskap. Men inte ens expertkunskap räcker för att på något enkelt sätt tyda abonnen-

tens tal och data, eftersom bitströmmarna är krypterade med ett förhållandevis starkt krypto.

- **Skydd av abonnenternas identitet**

Inte bara abonnentens trafik krypteras, utan även så gott som all signaleringstrafik. Den som avlyssnar en GSM-telefon skall inte kunna lista ut vem som ringer, eller till vem man ringer. Både den uppringandes och den uppringdes identiteter är skyddade genom kryptering.

- **Autenticering — äkthetskontroll**

Vem som ringer från GSM-telefonen är ointressant. Det viktiga är att säkert kunna identifiera vems GSM-abonnemang som utnyttjas, för att veta vart teleräkningen skall skickas.

Den som tecknar GSM-abonnemang skriver under ett ekonomiskt avtal att betala samtalskostnaderna. Operatören kan bara kräva pengar från fysiska eller juridiska personer om det finns ett undertecknat avtal. Dessutom måste operatören kunna bevisa "bortom allt tvivel" vilket GSM-abonnemang som använts. Abonnemanget är knutet till SIM-kortet. Autenticeringen innebär att operatören tar reda på vilket SIM-kort som sitter i GSM-telefonen.

Självklart är även abonnenten intresserad av att inkommande samtal verkligen skickas till rätt GSM-telefon så att man inte missar viktiga samtal.

## 4.4 Bärartjänster och teletjänster

GSM-tjänsterna delas in i bärartjänster och teletjänster.

I början av 1980-talet fanns flera bärarnät. Vi hade det vanliga telefonnätet PSTN, ett kretskopplat datanät DATEX, ett paketförmedlande X.25-nät DATAPAK, och dessutom ett analogt mobiltelenät NMT. I abonnemang på en teletjänst ingick anslutning till det bärarnät, PSTN-nätet, DATEX-nätet, DATAPAK-nätet eller mobiltelenätet, som använder bärarnätet som tjänstebärare. Telefoni, telefax och modemuppkopplad dataförbindelse är teletjänster i PSTN-nätet. I datanäten kunde man välja mellan många olika teletjänster beroende på vilken datahastighet man ville abonnera på, och om det skulle vara synkron eller asynkron anslutning.

Om kunden hade kopparkabel till PSTN-nätet men dessutom ville ha DATEX-tjänst så behövdes ytterligare en kabelanslutning. Men det fanns en annan möjlighet, nämligen att utnyttja PSTN-nätets modemtjänst och ringa till en nod som kopplade över modemanslutningen till DATEX-nätet. I detta fall agerar PSTN-nätet bärare in i DATEX-nätet, och uppringd DATEX blev en bärartjänst i PSTN-nätet.

Om detta låter invecklat så är det inget mot vad det var för teleoperatörerna som skulle hantera det hela. Därför hade man startat standardisering av ett nytt bärarnät, ISDN (Integrated Digital Services Network) som skulle klara alla teletjänster eller åtminstone kunna agera bärare in i alla övriga nät. Den kund som redan hade en ISDN-anslutning som bärartjänst skulle kunna beställa vilken teletjänst som helst utan att man behövde dra fram ytterligare bärarnät. Med ett undantag. Trådlös anslutning, radioaccess, var naturligtvis inte möjlig med ISDN.

### GSM — radioaccessens ISDN

Med detta för ögonen var det inte underligt att målet för GSM-standardiseringen var att åstadkomma ett trådlöst ISDN. Eftersom ISDN skulle klara alla framtida tänkbara teletjänster i ett fast telenät, så räckte det att kopiera ISDN, med den skillnaden att GSM

inte klarade lika hög datahastighet.

ISDN består av 2B + D, två kretskopplade 64 kbit/s-kanaler och en paketförmedlande datakanal på 16 kbit/s. GSM fick en (inte två) kretskopplad kanal  $B_m$ , där bithastigheten beror på teletjänst men faktiskt kan uppgå till 64 kbit/s vid HSCSD, och en paketförmedlande datakanal  $D_m$ , där datahastigheten normalt är 382 bit/s men kan ökas till 9,2 kbit/s om man stjälar talkanalen,  $B_m$ -kanalen, eller om ingen talkanal samtidigt är uppkopplad.

Den paketförmedlande datakanalen i ISDN används vid signalering, dvs. vid samtalsuppkoppling, men är även specificerad som bärare av en paketförmedlad teletjänst. Vid ISDN tänkte man sig permanent uppkoppling till DATAPAK-nätet, men en sådan teletjänst har vad jag vet aldrig införts i det svenska ISDN-nätet, utan bara testats. Däremot specificerade GSM-gruppen  $D_m$ -kanalen som bärare av SMS-tjänsten.

Till teletjänsterna i GSM räknas alla teletjänster som utnyttjar ISDN som bärare, med de begränsningar man får genom den oftast lägre datahastigheten.

Till bärartjänsterna räknas alla de olika anslutningsmöjligheter som finns från ISDN- och GSM-näten in i alla andra datanät, DATEX, DATAPAK m.fl. Det är tveksamt om någon enda av dessa bärartjänster finns att få i dagens GSM-nät.



**En parentes**

I mitten av 1990-talet utvecklades i Sverige en Internet-uppkoppling via ISDN, där man låg permanent uppkopplad via D-kanalen, med låg datahastighet. Så snart större datamängder skulle skickas i någonda riktningen kopplades även en eller två B-kanaler upp. Alla som har ISDN vet att uppkoppling går blixtnabbt. Nedkoppling går lika fort. Ändå ligger man kvar med en fördröjning på kanske 5 minuter, därför att man tappar sin IP-adress vid nedkopplingen (dynamisk IP-adresstilldelning).

Ring upp Internetbanken. Du måste logga in på nytt, med password, om du råkar sitta och tänka för länge så att förbindelsen kopplas ned. Via D-kanalen kan man ha ständig uppkoppling och behålla IP-adressen men koppla upp och ner B-kanalerna beroende på trafikvolymen.

En sådan lösning skulle innebära kortare effektiv beläggning av trafikkanalerna, lägre teleräkning. Telias försäljare gnuggade händerna. Många nya abonnemang skulle säljas. Men nätpersonalen som ansvarade för AXE-stationerna bävade. Det är upp- och nedkopplingarna som belastar AXE-processorn. Man hade behövt uppgradera till snabbare AXE-processor för att AXE-stationen skulle klara alla upp- och nedkopplingar.

## 4.5 GSM Phase 1

GSM-gruppen beslutade vilka GSM-tjänster som skulle finnas vid start 1992. Dessa tjänster specificerades som GSM Phase 1. Tjänster som kunde vänta till 1994 specificerades som GSM Phase 2. Dessutom har man en GSM Phase 2+ som hålls öppen. Där införs löpande nya tjänster och finesser som operatörerna kan införa i sina GSM-nät. Vi börjar med GSM Phase 1.

- **Telefoni**

Taltjänsten i GSM Phase 1 är "GSM Full Rate", dvs. tal kodat med bithastigheten 13 kbit/s.

- **Nödsamtal (GSM säkerhetstelefon)**

GSM-telefonen skall kunna användas för nödsamtal oberoende av om man har abonnemang (SIM-kort) eller ej. Normalt letar GSM-telefonen utan att jag märker det efter en operatör som accepterar att jag ansluter mig. Detta är antingen min GSM-operatör där jag har mitt abonnemang (SIM-kort), eller en utländsk GSM-operatör som har roamingavtal med min GSM-operatör.

Om jag knappar in 112 så kopplar GSM-telefonen upp sig mot första bästa GSM-operatör, utan att identifiera sig, utan att tala om vilket SIM-kort som sitter i telefonen. SIM-kort kan t.o.m. saknas. GSM-operatören är tvingad att direkt koppla samtalet till närmaste larmcentral. Detta gäller i alla GSM-nät, över hela världen.

Det finns även ficktelefoner som automatiskt slår 112 om man försöker använda ficktelefonen utan SIM-kort. Undvik att pröva. Du belastar larmcentralen i onödan.

- **SMS kortmeddelande, abonnent till abonnent**

Kortmeddelandetjänsten SMS (Short Message Service) förmedlar textmeddelanden som är 160 tecken långa, mellan GSM-telefoner, eller från någon inmatningspunkt t.ex. via Internet till en GSM-telefon.

- **SMS kortmeddelande, Cell Broadcast**  
Broadcast innebär "rundradio", från en till många. Denna tjänst förmedlar ett kortmeddelande till många abonnenter inom ett visst geografiskt område, t.ex. en radiocell.

Någon berättade förvånat att när han åkte tåg i Italien så fick han upp järnvägsstationernas namn på GSM-telefonen. I detta fall fanns det naturligtvis basstationer i närheten av järnvägsstationerna. GSM-telefonen flyttade sig automatiskt till nästa basstation när den tappade kontakten (roaming). Och GSM-operatören lät varje basstation sända ut järnvägsstationens namn som SMS Cell Broadcast.

- **Telefax grupp 3**

Telefax grupp 3 är den vanliga telefaxen som används i PSTN-nätet. Fax kan skickas från en PC ansluten till GSM-telefonen, eller från en speciell GSM-fax ansluten till GSM-telefonen. Fax-informationen går som digital signal till GSM-växeln (MSC). Där kopplas ett faxmodem in, ett modem som kan "kvittra" på samma sätt som en vanlig PSTN-fax.

När man skall sända fax till GSM-telefonen måste GSM-växeln informeras om att den skall ta emot ett fax så att växeln kopplar in faxmodemet. Antingen förstår GSM-växeln att det är faxkvitter som kommer, och kopplar in faxmodemet. Eller också har GSM-abonnenten två GSM-nummer, ett för vanlig telefoni och ett annat för fax.

Det är vanligt att telefax mellanlagras i faxbrevlåda. Man slipper problem som telefaxen i fasta telenätet kan få med de fördröjningar som uppstår i GSM-nätet. Dessutom kanske du vill vänta med att ta ut faxet tills du kommer förbi en PSTN-ansluten fax.

- **Alternerande tal/fax**

Under pågående samtal skall GSM-abonnenten kunna växla mellan tal- och fax-förbindelse. På en vanlig telefax i PSTN-nätet finns ofta en telefonlur. Man skall kunna prata med varandra och sedan övergå till faxesändning.

**Bärartjänster**

GSM Phase 1 innehåller även bärartjänster för anslutning till andra datanät. I bärartjänsterna ingår 300 – 9600 bit/s samt 1200/75 bit/s asynkron anslutning, 300 – 9600 bit/s synkron anslutning samt 300 – 9600 bit/s asynkron anslutning via PAD till paketförmedlande X.25-nät.

**GSM Mervärdestjänster**

Mervärdestjänsterna (Supplementary Services) har stora likheter med PLUS-tjänsterna i fasta telenätet.

- **Call forwarding unconditional**

Vidarekoppling av alla samtal innebär att alla inkommande samtal vidarekopplas, till röstbrevlåda eller till visst telefonnummer.

- **Call Forwarding when busy**

Vidarekoppling vid upptaget innebär vidarekoppling till röstbrevlåda eller visst telefonnummer, om GSM-abonnenten redan sitter i samtal.

- **Call forwarding on no reply**

Vidarekoppling om ingen svarar innebär vidarekoppling till röstbrevlåda eller annat telefonnummer, när ringsignal går ut på ficktelefonen men ingen svarar. Basstationen får kontakt med ficktelefonen, men inte med abonnenten.

- **Call Forwarding on mobile subscriber not reachable**

Vidarekoppling om abonnenten (egentligen ficktelefonen) inte går att nå. I detta fall kan basstationen inte nå ficktelefonen. När kan man inte nå ficktelefonen? Om ficktelefonen är avstängd går den inte att nå. Om ficktelefonen har gått in i radioskugga så går den heller inte att nå. Då kan man vidarekoppla till röstbrevlåda eller till annat telefonnummer.

**Olika telefonnummer i samtliga vidarekopplingsfall**

Det är fullt möjligt att vidarekoppla till olika telefonnummer i samtliga ovannämnda fall.

- **Barring of outgoing calls**

Spärr av utgående samtal innebär att man inte kan ringa själv, bara ta emot samtal.

- **Barring of outgoing international calls**

Spärr av utgående internationella samtal innebär att man inte kan ringa utlands-samtal.

- **Barring of outgoing international calls except to the home GSM network**

Spärr av utgående internationella samtal utom hem till dig själv innebär att du kan ringa hem när du befinner dig utomlands, men inte ringa utlandssamtal när du är hemma.

- **Barring of all incoming calls**

Spärr av alla inkommande samtal. Ingen kan nå dig.

- **Barring of incoming calls during roaming outside the home country GSM network**

Spärr av inkommande samtal om man befinner sig utomlands. Eftersom GSM-abonnenten själv måste betala för sträckan från Sverige, kan detta vara ett sätt att slippa okynnesringningar när man är utomlands.

## 4.6 GSM Phase 2

För att inte försena GSM-starten 1992 så flyttades mindre viktiga tjänster till GSM Phase 2. Phase 2 skall finnas i ficktelefonerna sedan 1994, men det är inte säkert att tjänsterna införts i alla GSM-nät. Operatörerna kan välja vilka tjänster de vill utnyttja.

- **Telefoni GSM Half Rate**

I GSM Phase 2 infördes även telefoni med halva hastigheten, GSM Half Rate, där talet kodas med bithastigheten 6,5 kbit/s. Med detta kodningssätt klarar man upp till 16 samtidiga samtal på en radiosändare. De åtta tidluckorna används bara varannan gång av respektive samtal.

Denna form av GSM Half Rate används inte av någon operatör, vad jag vet.

- **Förbättrad SMS**

GSM Phase 2 innehöll förbättringar för SMS-tjänsten.

- **Bärartjänster**

Bland bärartjänsterna tillkom synkron paketförmedlad tjänst 2400 – 9600 bit/s.

Följande mervärdestjänster tillkom:

- **Calling Line Identity Presentation**

A-nummerpresentation, dvs. telefonnumret på den telefon som ringer upp dig presenteras på GSM-telefonen.

- **Calling Line Identity Restriction**

Du kan stänga av så att ditt nummer inte visas när du ringer upp.

- **Call Waiting**

Samtal väntar är det pip som hörs om någon ringer och du redan sitter i samtal.

- **Call Hold**

Parkering av samtal innebär att du kan ”parkera” pågående samtal för att gå över och svara om någon ringer (Call Waiting), eller ringa ett annat samtal t.ex. för att ställa en fråga och sedan gå tillbaka till det ursprungliga samtalet (pendling).

- **Multi Party Communication**

Flerpartssamtal, gruppsamtal, är ett samtal där fler än två abonnenter är sammankopplade samtidigt.

- **Closed User Group**

Sluten användargrupp innebär att dessa abonnenter bara kan ringa varandra. Det går dock att konfigurera så att en eller flera i gruppen även kan ringa eller ta emot samtal från abonnenter utanför gruppen. Se avsnittet om GSM-Pro i kapitel 1.

- **Advice of Charge**

Prisuppgift innebär att man under samtalets gång får uppgift i GSM-telefonens teckenfönster vad samtalet kostar.

- **Unstructured Supplementary Services Data**

En datatjänst som ger 12 kbit/s bithastighet, utan CRC felkontroll och omfrågning. Kan erbjudas till kunder som önskar transparent bittransport för att själva ta hand om bitfelshanderingen.

- **Operator Determined Barring**

Operatörsstyrd spärr av samtal. Kan utnyttjas i kombination med speciella abonnemangsformer där man vill spärra vissa möjligheter.

## 4.7 GSM Phase 2+

GSM Phase 2+ utnyttjas för nya gradvisa förbättringar.

- **GSM EFR (Enhanced Full Rate)**

En viktig förbättring som införts i GSM Phase 2+ är en förbättrad talkodare för GSM Full Rate, kallad GSM Enhanced Full Rate.

Vid talkodning analyseras om stämbanden lägger på ett tonande ljud, och i så fall vilken frekvens det är. Denna frekvens har sedan kodats i GSM Full Rate till fasta värden med små frekvenssteg om det var en låg frekvens. Men vid hög frekvens var det glest mellan frekvensvärdena. Därför var det svårt att få en god beskrivning av ljusa röster med GSM Full Rate.

I den förbättrade talkodaren har databitarna stuvats om så att man avsätter fler databitar för att beskriva denna stämbandsfrekvens. GSM Enhanced Full Rate finns sedan 1995 i de flesta GSM-telefoner.

- **Adaptiv GSM Half Rate-kodare**

Half Rate-kodaren sådan den standardiserades i GSM Phase 2 har mig veterligen inte kommit till användning i något GSM-nät utom möjligen vid prov i Tyskland. Ljudkvaliteten anses vara för dålig. Däremot har man i slutet av 1990-talet standardiserat en ny Half Rate-kodare, som ingår i GSM Phase 2+, och denna nya kodare kodar talet med olika datahastighet beroende på bitfelshalten på radiokanalen.

Radiokanalen överför 22,8 kbit/s vid Full Rate och 11,4 kbit/s vid Half Rate. Men en icke obetydlig del av databitarna används för felrättande kodning så att talet skall fungera även på en störd radiokanal med bitfel.

På en ostörd radiokanal kan större del av databitarna användas för nyttoinformationen. Den nya Half Rate-kodaren kodar talet med ungefär 10 kbit/s om radiokanalen är ostörd, men går ner till ungefär 6 kbit/s om det blir störningar. På så vis är tal-kvaliteten god under större delen av tiden.

Ingen GSM-operatör vill skryta med att bara ge abonnenterna halva bithastigheten till full samtalstaxa. Vi får se när vi får höra

talas om att GSM Half Rate utnyttjas i GSM-näten.

- **14,4 kbit/s**

På samma sätt som vid tal kan andelen databitar som utnyttjas för felrättande kodning minskas om bitfelshalten är låg. Det räcker med omfrågning vid bitfel. Man behöver inte kontinuerligt rätta en kommunikation som i stort sett är felfri. Därför har man infört ett alternativ vid datakommunikation som ger 14,4 kbit/s, jämfört med det normala 9,6 kbit/s som ingår i bärartjänsterna i GSM Phase 1.

- **HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)**

HSCSD är en metod att låta ficktelefonen utnyttja mer än en tidlucka av de åtta tidluckorna i en TDMA-ram.

Några GSM-operatörer har infört HSCSD. Några erbjuder tre tidluckor om 14,4 kbit/s i nedlänken (från bas till ficktelefonen), alltså 43,2 kbit/s, och en tidlucka med 14,4 kbit/s i upplänken, medan andra operatörer erbjuder detsamma vid 9,6 kbit/s på varje tidlucka, alltså 28,8 kbit/s i nedlänken.

Detta är kretskopplad kommunikation som kopplas till ett telefonmodem vid GSM-växeln och matas in i PSTN-nätet, till det nummer man ringt, t.ex. en modempol på företaget eller en Internetoperatör.

- **GPRS (General Packet Radio Service)**

Även GPRS ligger under GSM Phase 2+. Mer om detta längre fram.



## **5 — Systemstruktur för GSM-nätet**

---

## 5.1 Ficktelefonen MS

### MS (Mobile Station)

Mobilstationen, GSM-telefonen, ficktelefonen, kärt barn har många namn. Den officiella beteckningen på ficktelefonen är MS (Mobile Station), men MS är inte den minsta enheten. MS består av två delar:

$$MS = ME + SIM$$

*ME = Mobile Equipment (själva mobiltelefonen)*  
*SIM = Subscriber Identity Module (SIM-kortet)*

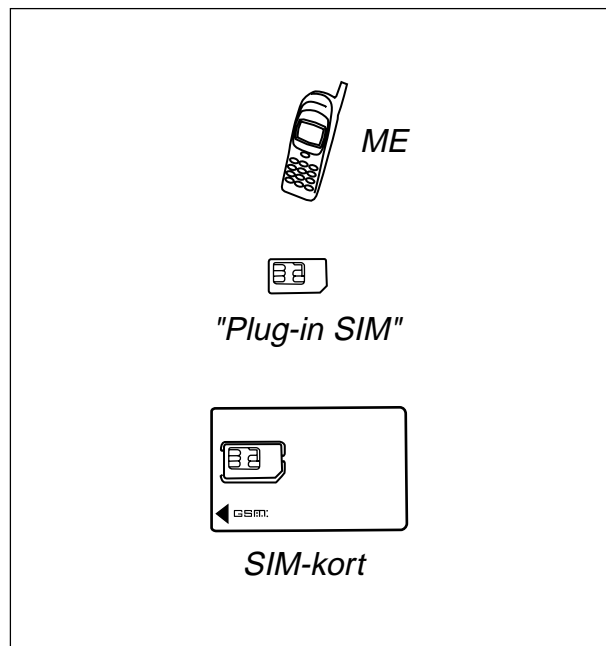
- ME är ficktelefonen utan SIM-kort.
- Mina abonnentuppgifter finns lagrade i SIM-kortet.

GSM-nätet vill inte prata med ficktelefonen. GSM-nätet vill prata med SIM-kortet. Där kan GSM-nätet få reda på vem som står för abonnemanget.

När någon ringer från ficktelefonen måste GSM-nätet få reda på vems abonnemang som skall faktureras, uppgifter som finns i SIM-kortet.

När det kommer ett inkommande samtal som skall till visst abonnemang, då måste GSM-nätet kunna identifiera SIM-kortet så att samtalet inte skickas till fel ficktelefon.

GSM-nätet bryr sig inte om ifall du byter ME, bara du behåller samma SIM (Detta stämmer inte om ficktelefonen är subventionerad i samband med tecknande av abonnemang).



### "Gratis" GSM-nät för nödanrop

GSM-näten innehåller egentligen två nät:

- GSM-nät för tal och data. För att komma in i detta nät behövs MS, en terminal som består av ME + SIM.
- GSM nödtelefon, ett nät där det räcker med ME, en terminal utan SIM-kort.

Man kan skaffa en GSM-telefon utan abonnemang, utan SIM-kort, och resa runt hela världen, och överallt där det finns GSM-täckning på frekvensband som kan utnyttjas av min GSM-telefon, där kan GSM-telefonen (ME) användas i GSM nödtelefon-nätet.

Man slår 112, nödnumret, för att komma i kontakt med larmcentral. ME söker efter första bästa GSM-operatör, den vet ju inte vilken operatör den skall välja eftersom sådana uppgifter finns i SIM-kortet, och gör ett nödanrop. GSM-operatören är tvungen att acceptera anropet och koppla vidare till larmcentral, trots att GSM-operatören inte kan identifiera vem som ringer och därför inte heller kan ta betalt för samtalet.



## 5.2 Basstationen BTS

### BTS (Base Tranceiver Station)

Basstationen består av

- antenn
- antennbärare, som kan vara en mast eller husvägg,
- en eller flera radiosändare/radiomottagare, där ordet tranceiver är sammandragning av orden transmitter + receiver. (Man använder förkortningen TRX för tranceiver).

### Cell

Det område som täcks av tillräckligt stark signal från basstationsantennen kallas cell.

### "Site"

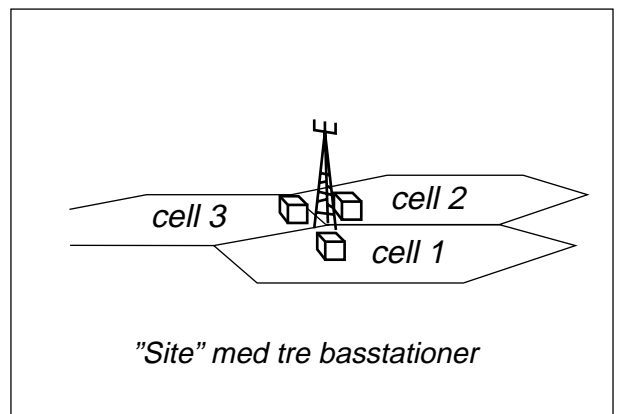
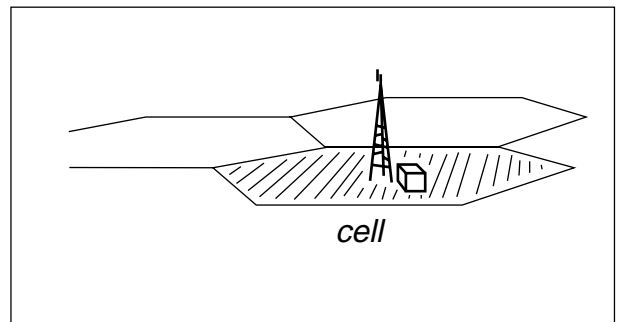
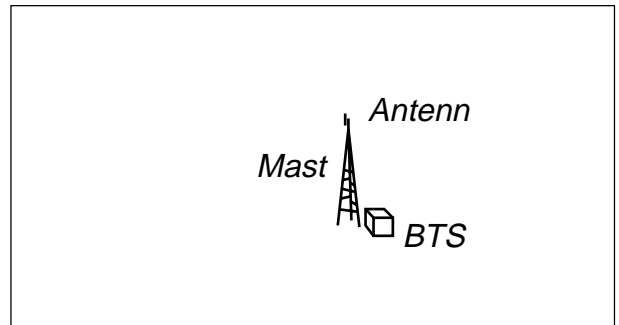
Antennmaster är dyra (och fula). Därför är det vanligt att antennmaster placeras i skärningspunkten mellan tre celler. I masttoppen sätter man tre riktantenner riktade ut över var sin cell. Detta är tre BTS som har samma geografiska placering, samma "site".

- GSM-operatören har ett visst antal geografiska platser, "siter", där det finns radioutrustning.
- Varje "site" täcker en eller flera celler. Varje cell betjänas av en basstation, BTS.
- Varje BTS innehåller en eller flera TRX, där varje TRX har sin egen radiofrekvens (egentligen två frekvenser, en frekvens för sändning och en för mottagning). Varje TRX sänder och tar emot med tiden indelad i åtta tidluckor, och klarar därför 6 – 8 samtidigt telefonsamtal. Någon eller några tidluckor kan behövas för signaleringskanalerna.

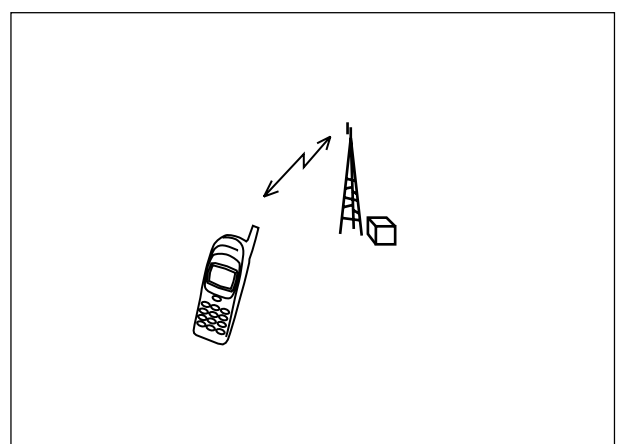
### Basstationen utgör bara

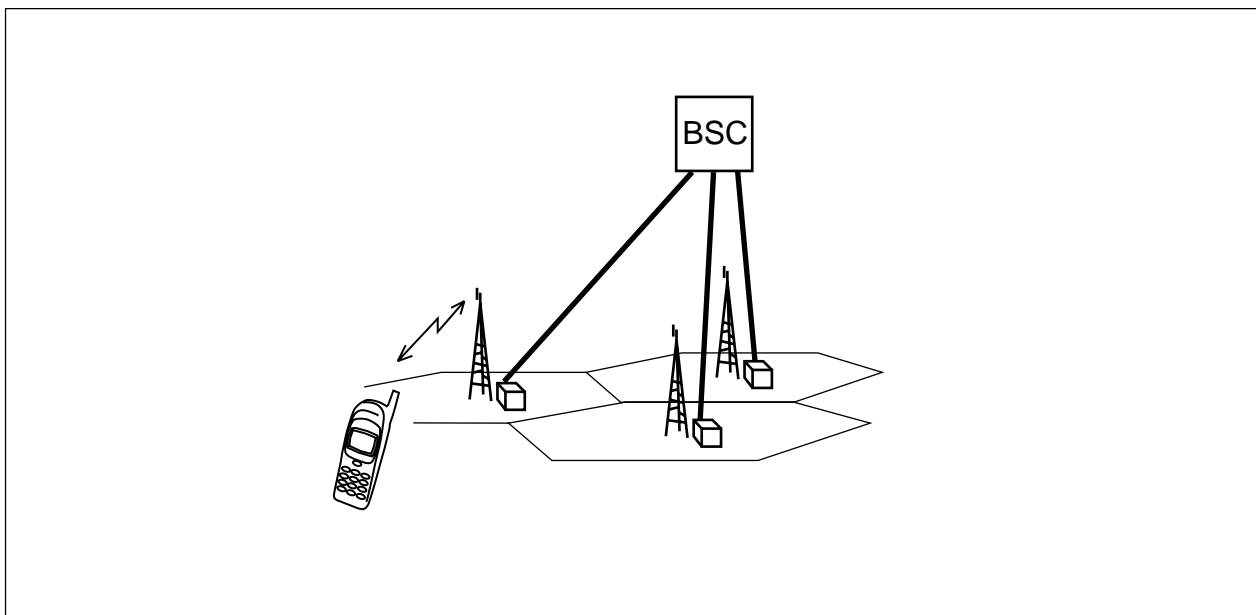
#### "radioförlängning" av nätet

BTS innehåller minimal intelligens (kanalkodning och kryptering sker i BTS) och den radioutrustning som behövs för att hålla radiokontakt med ficktelefonerna.



"Site" med tre basstationer





### 5.3 Basstationsstyrutrustningen BSC

#### **BSC (Base Station Controller)**

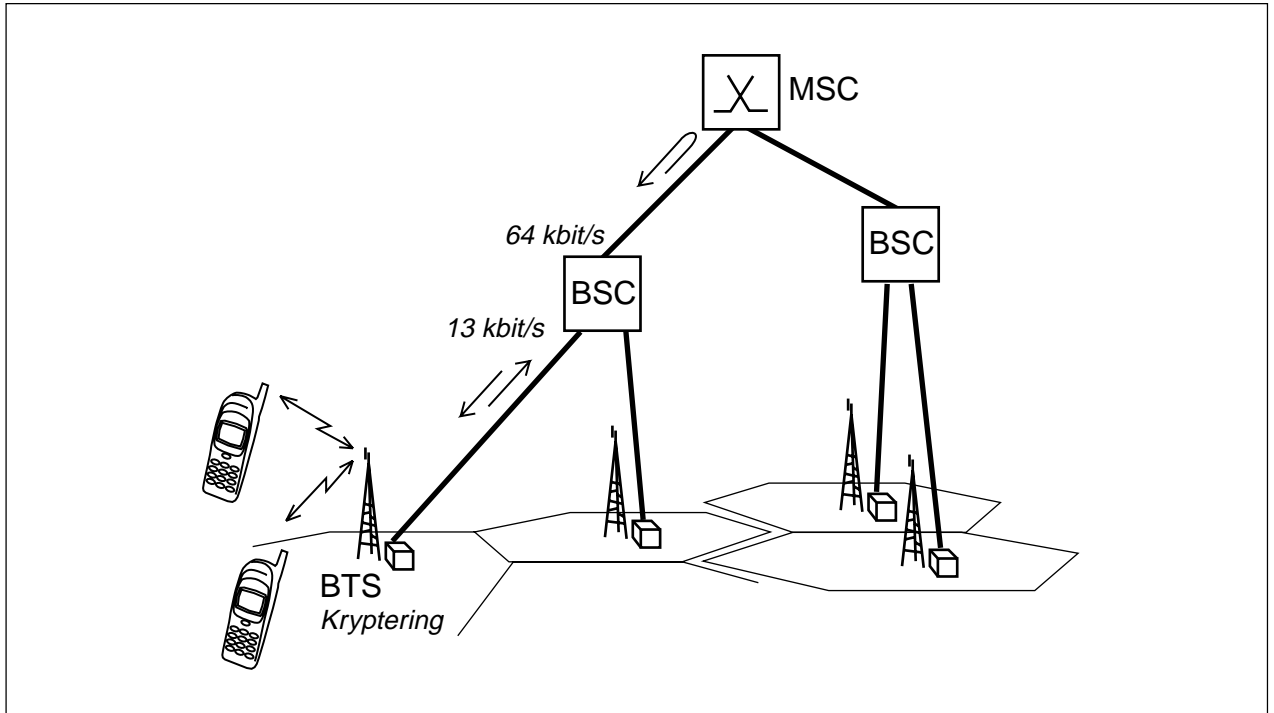
Flera BTS ansluts till en basstationsstyrutrustning BSC (Base Station Controller). BSC skulle kunna liknas vid ett utbrutet abonnentsteg i fasta telenätet.

BSC styr många BTS. Om du under pågående samtal flyttar dig ut ur en cell och in i nästa, och båda BTS styrs av samma BSC, då är det BSC som sköter omkopplingen av trafikkanalen (handover) från en BTS till nästa.

Det är även i BSC som talet kodas från 64 kbit/s PCM-kodning, mot mobilteleväxeln, till 13 kbit/s GSM-kodning, ut mot BTS och ficktelefonen. Krypteringen däremot sker ute i basstationen, BTS.

#### **Förbindelsen från BSC till BTS begränsar datahastigheten**

Förbindelsen från BSC till BTS är i dag 16 kbit/s per tidlucka. Detta är ett utmärkt sätt att spara förbindelsekapacitet eftersom GSM-kodat tal bara behöver 13 kbit/s. Men när GPRS skall införas behöver man överföra ända upp till ca 22 kbit/s per tidlucka vid de högsta datahastigheterna. Detta kan inte göras om inte förbindelsekapaciteten utökas.



## 5.4 Mobilteleväxeln MSC

### MSC (Mobile Switching Centre)

Mobilteleväxeln MSC motsvarar fasta tele-  
nätets lokalstation. Det är i MSC som trafik-  
kanalerna kopplas ihop till sammanhäng-  
ande talförbindelser.

Även om du ringer en kompis som ligger  
uppkopplad mot samma basstation (BTS),  
så kommer ditt tal att "avkrypteras" i BTS,  
gå till BSC där talet omkodas från 13 kbit/s  
till 64 kbit/s, gå vidare till MSC där omkopp-  
ling till rätt trafikkanal sker, gå tillbaka till BSC  
där talet omkodas från 64 kbit/s till 13 kbit/s,  
gå till BTS där talet krypteras med kom-  
pisens kryptonyckel, varefter talet sänds ut  
i luften till kompisens ficktelefon.

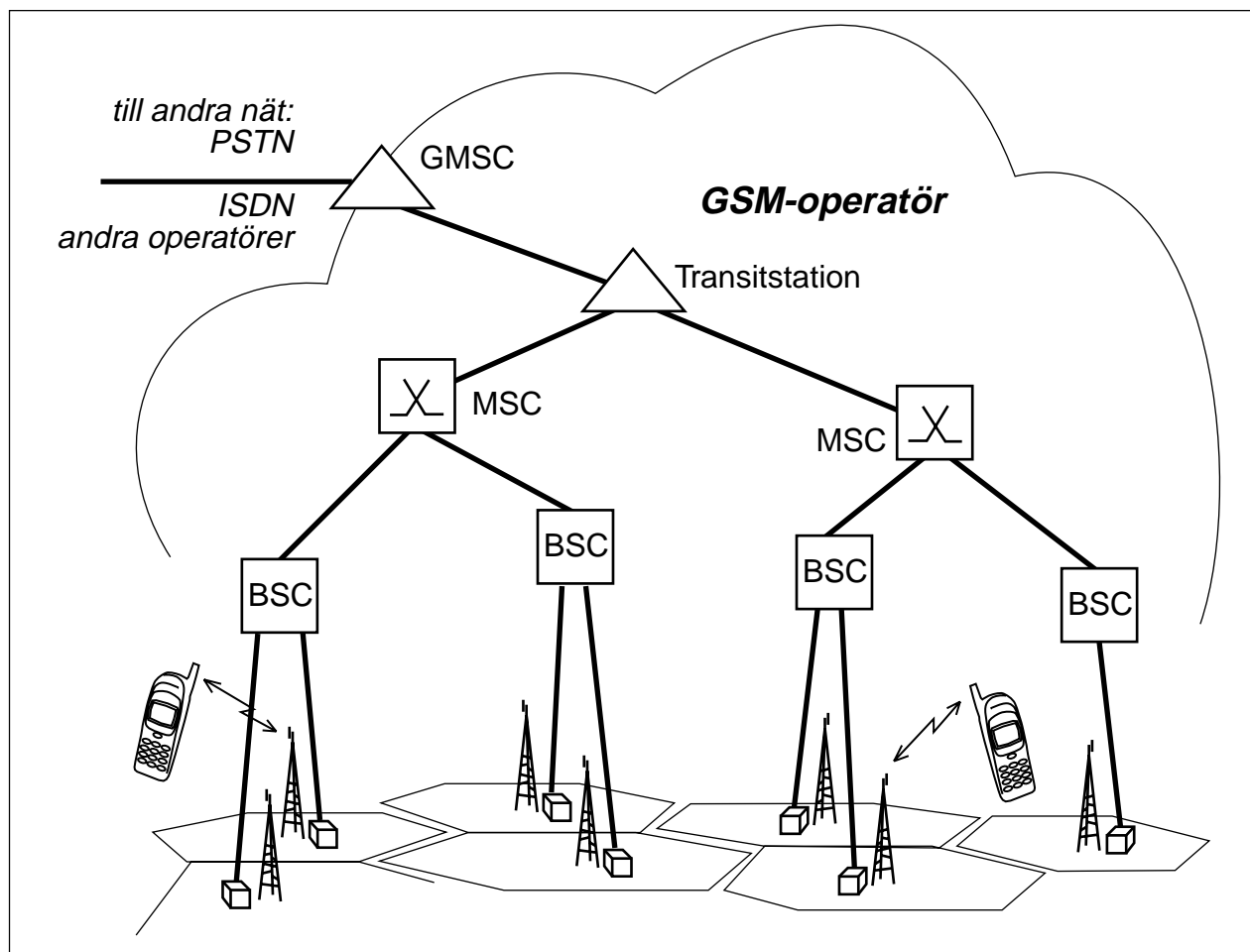
### Byte till cell under annan BSC

Om du under pågående samtal flyttar dig ut  
ur en cell och in i en cell som ligger under  
en annan BSC, så kopplas trafikkanalen om  
i MSC och skickas ut till den andra BSC:n.  
Detta sker under pågående samtal utan att  
du märker något.

### Byte till cell under annan MSC

Men du kan även flytta dig under pågående  
samtal till en cell som kontrolleras inte bara  
av en annan BSC utan av en helt annan  
MSC. Även detta fungerar utan att du mär-  
ker något.

Genom samarbete operatörerna emellan  
kan man i dag byta till cell som ligger  
under annan operatör under pågående samtal  
(handover mellan operatörer). Speciellt i  
gränstrakterna mellan Frankrike, Tyskland,  
Holland, Belgien, Luxemburg, är detta nöd-  
vändigt.



## 5.5 Trunknätet och GMSC

Mobilteleväxlarna kopplas ihop på samma sätt som fasta telenätets lokalstationer, med ett trunknät. Trunknätet kan innehålla separata transitstationer, eller transitfunktionaliteten kan vara integrerad direkt i MSC, mobilteleväxlarna. Det senare är vanligast, men jag kommer ändå att rita bilderna med separata trunkstationer för att tydligare visa funktionaliteten.

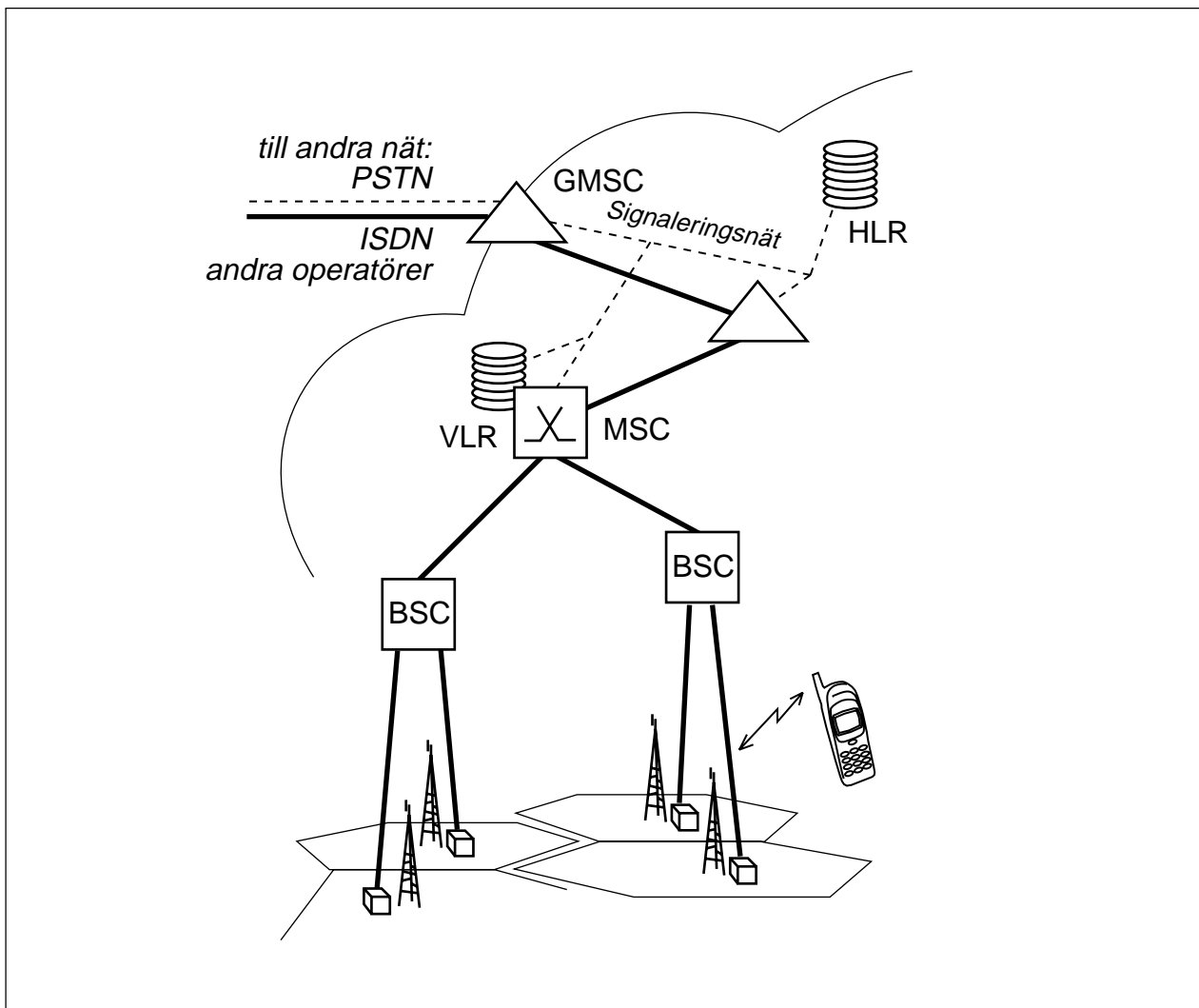
### GMSC

Där GSM-operatörens nät ansluts mot yttvärlden finns en speciell telestation, som liknar fasta telenätets utlandsstationer. Denna station kallas GMSC (Gateway Mobile Switching Centre) och utgör "porten" (Gateway) mot yttvärlden.

### Överlämnat samtal

GMSC skall inte bara ombesörja uppkoppling av trafikförbindelser mot yttvärlden. I GMSC finns även taxeringsfunktionen mot andra operatörer.

När en A-abbonent ringer från denna GSM-operatör till en B-abbonent i något annat nät, så hamnar samtalskostnaden på A-abbonentens teleräkning och pengarna inkasseras av GSM-operatören. Men samtalet kan ha gått genom andra operatörers nät. Dessa operatörer måste få sin del av samtalsintäkten. GSM-operatören måste betala för "överlämnat samtal". I GMSC skapas underlag för beräkning av "överlämnade samtal", både sådana som GSM-operatören lämnar ifrån sig till andra operatörer, och sådana som GSM-operatören tar emot när någon ringer till abonnenter i hans eget GSM-nät.



## 5.6 Databaser för abonnentinformationen, HLR och VLR

I fasta telenätets lokalstation finns en databas med alla uppgifter om de abonnenter som är anslutna till just denna lokalstation. Men fasta telenätets abonnenter (telefoner) sitter fast. De kan inte flytta på sig.

### VLR (Visitor Location Register)

Även mobiltelenätets lokalstation, MSC, har en databas som innehåller abonnentuppgifter för alla "ficktelefoner" som loggat in, "är på besök" inom dess MSC serviceområde. Denna databas kallas VLR (Visitor Location Register).

### HLR (Home Location Register)

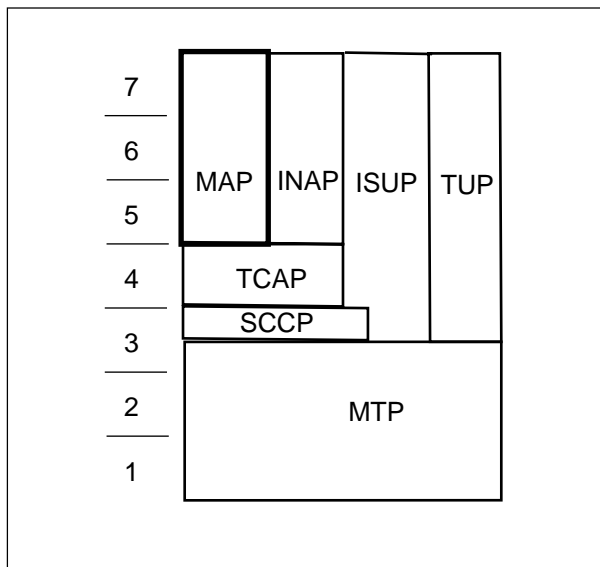
När en ficktelefon kommer in i en cell och ficktelefonen vill "logga in", tala om att nu befinner den sig inom denna MSC:s serviceområde, då kontrollerar MSC i sin databas, VLR, om där finns uppgifter om denna ficktelefons SIM-kort. Om så inte är fallet hämtar VLR en kopia på abonnentuppgifterna från en central databas HLR (Home Location Register), och dessa uppgifter hämtas via signaleringsnätet CCITT #7.

### 5.7 Komplettering av signaleringsnätet

#### MAP (Mobile Application Part)

Från början klarade signaleringsnätet bara att förmedla datapaket med begäran om uppkoppling av trafikkanal. Men signaleringsprotokollet kompletterades med SCCP som möjliggjorde generell paketdatatrafik.

Det intelligenta nätet (IN) bygger på att speciella telefonnummer skickas till "tjänstnoder", SCP (Service Control Point), där telefonnumret översätts till andra telefonnummer, som returneras och används för själva trafikkanaluppkopplingen. IN-nätet använder alltså signaleringsnätet för att skicka en fråga till en databas, SCP, och få ett svar. Alltså kompletterades signaleringsprotokollet med TCAP (Transaction capabilities Application Part), att fråga och få svar.

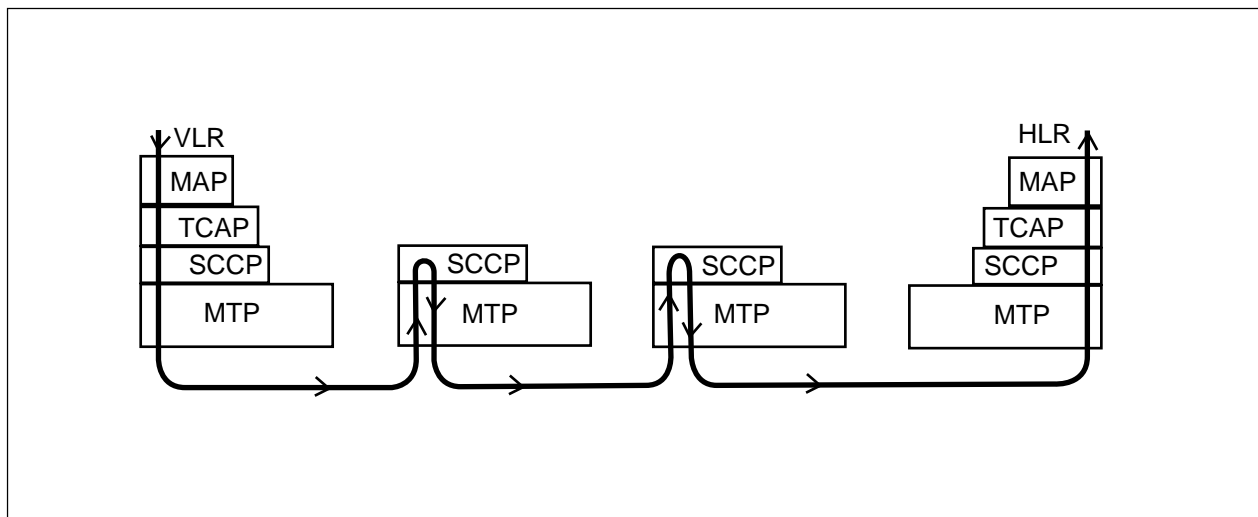


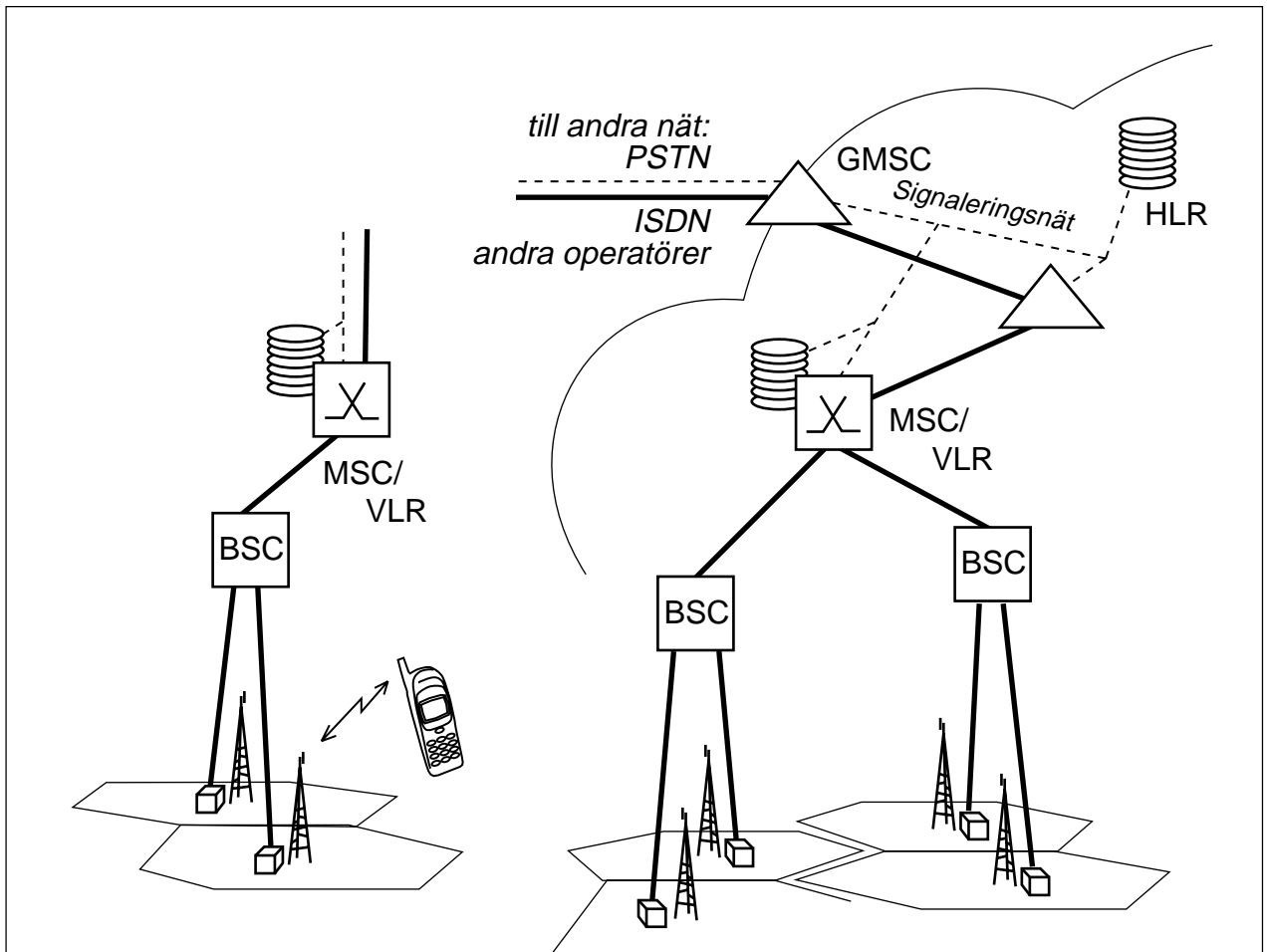
I GSM-nätet skickar GMSC en fråga till HLR: "Vilket telefonnummer skall jag använda för att nå mobilabonnenten med det här GSM-numret?" och får MSRN som svar (mer om detta längre fram).

När GSM-abonnenten kommer in under en ny MSC/VLR så ber VLR att HLR skall skicka över abonnentinformationen.

MAP utnyttjar TCAP, som skickar vidare till SCCP, som matar in i MTP som matar ut på signaleringskanalen. MAP och TCAP behöver bara finnas i ändnoderna (HLR, VLR, GMSC). Mellanliggande noder i signaleringsnätet behöver MTP och SCCP för att datapaketet skall hitta rätt.

Vi ser att GSM-näten använder signaleringsnätet för att ställa frågor och få svar. Alltså specificerade man en tillämpningsdel till signaleringsprotokollet, MAP (Mobile Application Part), som hanterar alla dessa frågor i och mellan GSM-näten.





## 5.8 Inloggning i utlandet

Vi antar att Kalle har GSM-abonnemang hos Comviq i Sverige. Kalles SIM-kort vet att ficktelefonen inte får logga in på andra svenska GSM-nät än Comviqs. Detta har bestämts vid GSM-standardiseringen för att framtvunga konkurrens mellan de nationella GSM-operatörerna. (Om man bara lånar av varandra så byggs inga basstationer.)

Men i utlandet får Kalles ficktelefon försöka logga in på vilket GSM-nät som helst. Blir han insläppt? Det beror på.

Tekniskt finns inga hinder. Det utländska GSM-nätet identifierar Kalles SIM-kort som ett Comviq-abonnemang, och VLR hämtar abonnemangsuppgifterna från Comviqs HLR i Sverige, via det internationella signaleringsnätet, och talar samtidigt om för Comviqs HLR var Kalle befinner sig så att

inkommande samtal hittar dit. Detta fungerar på vilken GSM-MSC som helst i världen. Denna utländska MSC hämtar till sin VLR abonnentdata från Comviqs HLR och resten, uppkoppling av samtal m.m. sker på exakt samma sätt som när Kalle är inloggad direkt till en Comviq-MSC.

### Ett GSM-nät med världstäckning

GSM-näten är alltså uppbyggda så att alla GSM-operatörer kan "hyra" delar av andra GSM-operatörers nät, basstationer och MSC, när så behövs (där man har sina abonnenter). På detta sätt kommer alla GSM-operatörer att få nät, som med egna och inhyrda resurser omfattar i stort sett hela GSM-världen.

### Roamingavtal

Vad kan förhindra att Kalle blir insläppt? Den utländska GSM-operatören vill ha betalt för samtalen till/från Kalles ficktelefon. Därför måste det finnas faktureringsavtal mellan denna utländska GSM-operatör och Comviq. Sådana avtal kallas roamingavtal.

Ordet "roaming" betyder "ströva omkring". Roamingavtalen ger Kalle möjlighet att ströva omkring utanför Comviqs nationella nät men ändå tekniskt vara ansluten till Comviqs nät.

Kalle har bara abonnemangs/faktureringsavtal med sin nationella GSM-operatör, i detta fall Comviq. Tekniskt befinner sig Kalle i Comviqs GSM-nät oavsett var han loggar in i världen. Det är Comviq som bestämmer minuttaxan för samtalen. Det är Comviq som bestämmer vilka GSM-tjänster Kalle får utnyttja. Detta finns lagrat i Comviqs HLR. Tjänsteutbudet kan reduceras om besöksnätet inte klarar alla Kalles tjänster. Men Kalle kan inte få fler tjänster av den utländska GSM-operatören än de som ingår i Kalles avtal med Comviq. Och även kostnaden för tjänsterna regleras i Kalles avtal med Comviq. Sedan är det Comviqs sak att betala när den utländske GSM-operatören kräver Comviq på de kostnader som Kalle förorsakar.

### GSM-operatör utan eget nät

Tekniskt skulle det räcka att bara ha egen HLR och GMSC (och AUC) för att bli GSM-operatör. Resten skulle man kunna "låna" av andra GSM-operatörer. Men det är dyrt att bygga basstationer, och utan basstationer blir det ingen mobiltelefoni. Därför krävde GSM-bestämmelserna att varje GSM-operatör också skall ha ett eget nät med egna basstationer. Vill du "låna" så måste du även ha något att "låna ut".

### Nationell roaming

Internationell roaming är en GSM-tjänst. Alla GSM-operatörer får "låna" av vilken GSM-operatör som helst i utlandet. Men man får inte låna av varandra inom landet. Nationell roaming är förbjuden. Detta har tillkommit för att förmå alla operatörer att bygga egna nät. Man vill tvinga fram en så god radio-täckning som möjligt, för abonnenternas bästa.

I Sverige vill Post- och Telestyrelsen införa nationell roaming. Tredje generationens mobiltelesystem kommer att fungera i kombination med GSM. Där det inte finns UTRAN-täckning, där används GSM. Konsekvensen av detta blir att frekvenstillstånd för tredje generationens mobiltelesystem bara kan delas ut till operatörer som redan har eget GSM-nät.

För att även kunna ge frekvenstillstånd till nya operatörer vill Post- och Telestyrelsen att dessa nya operatörer skall få utnyttja nuvarande tre GSM-operatörers GSM-nät, mot ersättning. Alltså nationell roaming.

Hur blir det i framtiden? Kommer all infrastruktur, alla basstationer och växlar, att ägas och drivas av ett gemensamt "banverk" där alla GSM-operatörer hyr in sig genom nationell roaming? Hur många operatörer får vi då?



## 5.9 GSM-områden

GSM-näten delas in i fem områden:

- **Område 1: GSM SA (GSM Service Area)**

Område 1 omfattar alla ytor på jorden som täcks av min GSM-operatör eller någon GSM-operatör med vilken min operatör har samarbetsavtal (roamingavtal). Inom GSM Service Area kan jag använda min GSM-telefon.

Område 1 får olika utseende beroende på mitt abonnemang (förbetalda kontantkortsabonnemang kan inte användas utomlands), min operatörs roamingavtal och vilken typ av ficktelefon jag har:

- Om ficktelefonen bara klarar GSM 900 (900 MHz-bandet).
- Om ficktelefonen bara klarar GSM 1800.
- Om ficktelefonen är en kombitefon som klarar både GSM 900 och GSM 1800 (900 MHz- och 1800 MHz-bandet).
- Om ficktelefonen bara klarar GSM 1900 (1900 MHz-bandet).
- Om ficktelefonen är en kombitefon som klarar samtliga band.

Du kan alltid låna en annan ficktelefon (ME) och flytta över ditt SIM-kort eftersom det är SIM-kortet som identifierar dig som abonnent. Kontrollera först att operatörerna har roamingavtal.

- **Område 2: PLMN SA (Public Land Mobile Network Service Area)**

Område 2 är det geografiska område som täcks av en GSM-operatörs basstationer, oftast ett land.

- **Område 3: MSC SA (MSC Service Area)**

Område 3 är det geografiska område som täcks av alla basstationer som ligger under en MSC.

Varje MSC klarar att hantera ett visst antal simultana uppkopplingar (koppel), ett visst antal tidluckor, ett visst antal TRX.

Varje samtal kopplas genom två MSC,



*GSM Service Area:*

*Alla ytor på jorden där mitt abonnemang tillåter mig att använda GSM-telefonen.*



*PLMN Service Area:*

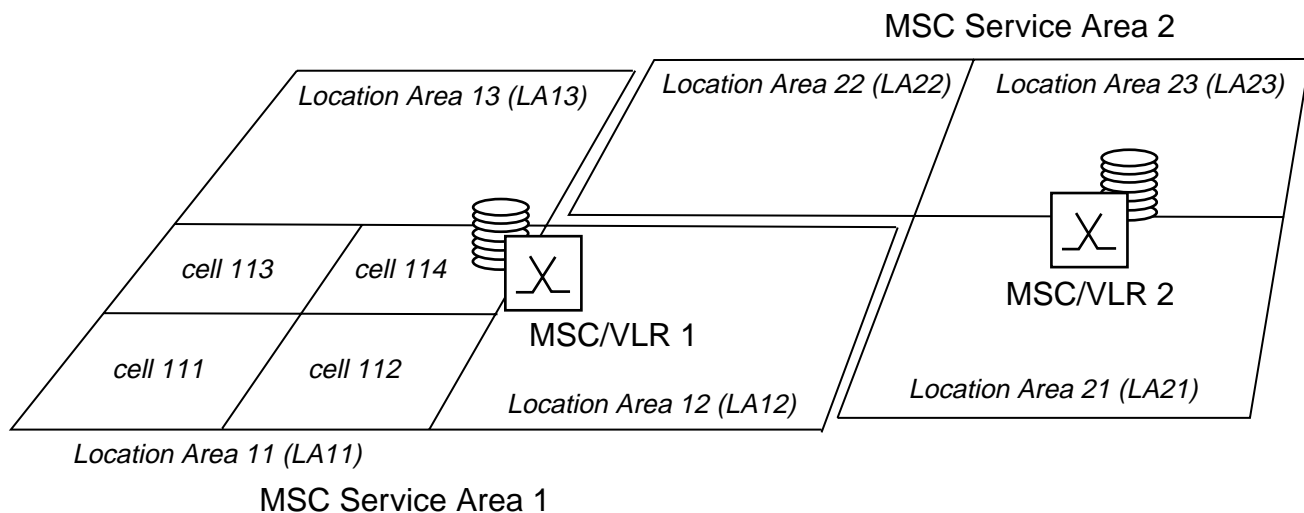
*De ytor som täcks av min GSM-operatör.*

eller vid lokalsamtal fram och tillbaka genom samma MSC.

Hur många MSC finns i en operatörs GSM-nät? Det beror på MSC-fabrikat, hur många koppel MSC kan hantera och abonnenternas trafikvolym. En operatör med färre abonnenter men alla ringer samtidigt, eller en operatör med många abonnenter som ringer sällan (kan man få abonnenterna att ringa på nätterna?).

Större delen av Norrland kan vara ett MSC serviceområde, medan Stockholm kan vara indelat i flera MSC serviceområden.

Själva växeln, MSC:n, kan placeras var



som helst och sammanbindas med sina BSC:er via optokabel. Men om det blir avbrott på en optoförbindelse så slutar GSM-nätet under den optokabeln att fungera. Av säkerhetsskäl kan det därför vara önskvärt att ha MSC:n i närheten av MSC serviceområdet.

Säkerheten kan klaras genom dubbelade förbindelser, optokablar dragna olika vägar. Ur personalsynpunkt kan det vara önskvärt att ha alla MSC:er på den ort där man har sina MSC-experten.

- **Område 4: Trafikområde (Location Area, LA)**

MSC-området är uppdelat i mindre områden, som kallas trafikområden (LA). Trafikområdet kan bestå av en enda cell, flera celler, samtliga celler under en BSC eller celler som ligger under flera BSC:er. Enda villkoret är att samtliga BSC:er skall ligga under samma MSC. Det finns alltså inget "BSC-område".

VLR håller reda på inom vilket trafikområde du befinner dig. Det är bara till cellerna inom detta trafikområde som ringsignal skickas (paging) när du får ett inkommande samtal. Om du befinner dig i ett annat trafikområde så hör inte din mobiltelefon ringsignalen.

- **Område 5: Cell**

Cellen är det område som täcks av en basstationsantenn. Ofta bygger man i dag "siter" med antenner som pekar i flera riktningar, siter som betjänar flera celler.

Varje antenn är ansluten till en eller flera radiosändare/radiomottagare (TRX). Hur många samtidiga samtal som kan pågå i varje cell beror på antalet radiosändare/mottagare (TRX). Däremot finns ingen gräns för hur många abonnenter som kan befinna sig i cellen och vänta på samtal. Det är antalet uppkopplade samtal som är begränsat.

## 5.10 Hur många nätelement?

I fasta telenätet räknade man tidigare med att varje telefonsamtal i snitt varade under 3 minuter, och att maximalt 10 % av abonnenterna ringde samtidigt under "bråd timme", den tid på dygnet då flest ringer. Det finns toppar i belastningen såväl på förmiddagen och eftermiddagen, affärssamtal, som på kvällen med en topp i privatsamtalen.

Samtalsmönstret har förändrats eftersom många i dag sitter uppkopplade under lång tid mot Internet.

En AXE-växel klarar att hantera storleksordningen 4 000 uppkopplade samtal. Under varje växel ligger i snitt 40 000 abonnenter.

### Ett GSM-nät med 1 miljon abonnenter

Hur skulle ett GSM-nät med 1 miljon abonnenter kunna se ut?

- **HLR**

Varje abonnent har sina abonnentdata i HLR. Men även om det bara finns en HLR i ett GSM-nät så innebär inte detta att abonnentdata för alla abonnenter är lagrade i samma fysiska dator. HLR-databasen är så stor att den ligger utspridd på flera datorer, som dessutom är dubblerade av säkerhetsskäl. För att få plats med 1 miljon abonnenter behövs 2 HLR.

- **BTS**

Vid mobiltelefoni räknar man med kortare samtal än i fasta nätet. Dessutom tror man att abonnenterna accepterar högre "spärr" (när det saknas lediga trafikkanaler) eftersom det även kan bli störningar i trafiken av andra orsaker, t.ex. radioskugga m.m. Därför brukar man kalkylera med en trafikkanal för 25 abonnenter, dvs. att max 4 % av abonnenterna ringer samtidigt.

Med detta sätt att räkna kommer man upp i 40 000 trafikkanaler. Varje TRX betjänar i snitt 1 signaleringskanal och 7 trafikkanaler, och vi får ca 6 000 TRX. Dessa TRX fördelas på 3 000 – 5 000 BTS (celler), där varje BTS har en eller flera TRX.

Varje "site", basstationsplats, innehåller 1 – 3 BTS.

- **BSC**

Hur många BTS kan varje BSC hantera? Det beror på hur stor dator tillverkaren valt att använda som styrutrustning i BSC. Rimligt är att anta att det behövs 15 – 30 BSC för att hantera de BTS:er som finns i ett GSM-nät för 1 miljon abonnenter.

- **MSC**

Även här beror antalet på växelns storlek. Om MSC håller samma storlek som en lokalstation i fasta telenätet för 40 000 abonnenter så hamnar man på 4 – 5 MSC.

*1 miljon GSM-abbonenter:*

- **2 HLR**
- **4 – 5 MSC**
- **15 – 30 BSC**
- **3000 – 5000 BTS**



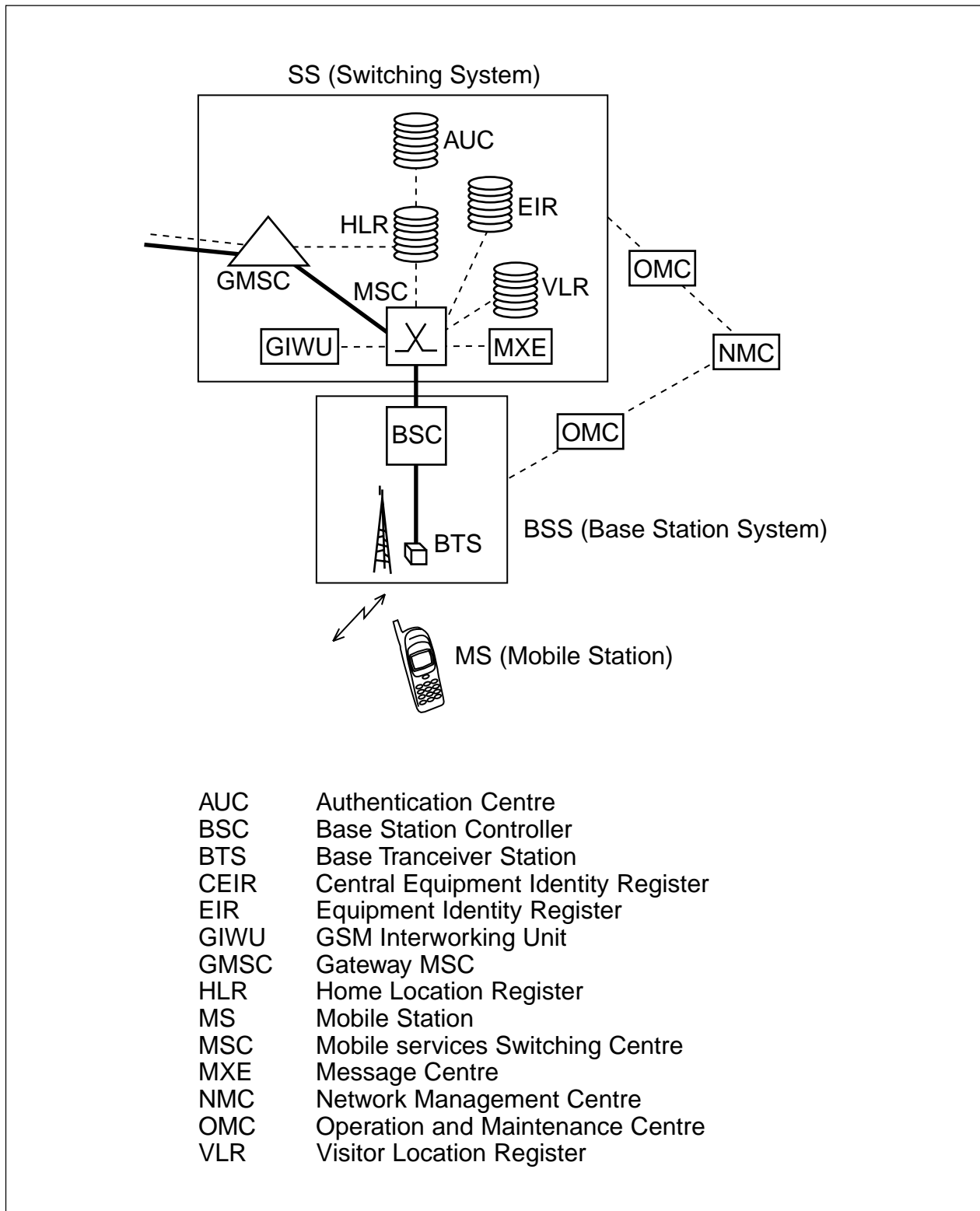
## **6 — GSM-nätets delsystem**

---

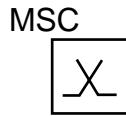
### 6.1 GSM-nätets delsystem

GSM-nätet indelas i

- SS (Switching System, kopplingstekniska systemet),
- BSS (Base Station System, basstationssystemet)
- MS (Mobile Station, ficktelefonen).



## 6.2 Switching System, SS



### MSC (Mobile services Switching Centre)

MSC är själva växeln. Dess uppgift är att koppla ihop 64 kbit/s trafikkanaler. Dessutom hanterar den övervakning och registrering av faktureringsunderlag (TT-poster).



### GMSC (Gateway MSC)

GMSC är en transitstation av samma slag som fasta telenätets utlandsstationer. GMSC är "brandvägg" mot yttervärlden. I GMSC registreras faktureringsunderlag för avräkning mot andra operatörer för "överlämnat samtal". Dessutom klarar GMSC att ställa frågor till databasen HLR vid analysen av mobiltelefonnummer (kallas SSP-funktionalitet i IN-nät).



### VLR (Visitor Location Register)

Till varje MSC finns en databas VLR, som innehåller en kopia på abonnentuppgifterna för de ficktelefoner (SIM-kort) som befinner sig inom dess MSC Service Area.

När en ficktelefon kommer in i MSC Service Area kopierar VLR abonnentuppgifterna från HLR hos den GSM-operatör som utfärdat ficktelefonens SIM-kort.



### HLR (Home Location Register)

Varje GSM-operatör har en huvuddatabas HLR, som innehåller abonnentuppgifterna för operatörens alla GSM-abonnenter. I HLR finns även uppgift om i vilken MSC Service Area varje abonnent befinner sig.



### AUC (Authentication Register)

Varje GSM-operatör har en databas AUC, en dator "inlåst" i kassaskåp, som innehåller uppgifter om varje abonnents kryptonyckel.



### EIR (Equipment Identity Register)

När ficktelefonen loggar in på GSM-nätet så identifierar den vem som har GSM-abonnementet genom att sända IMSI-numret (International Mobile Subscriber Identity), som finns lagrat i SIM-kortet. Ficktelefonen skickar även över ett nummer som identifierar själva ficktelefonen, IMEI (International Mobile Equipment Identity).

Varje GSM-operatör har en databas EIR, som innehåller uppgifter om IMEI-nummer på telefoner som inte får användas i GSM-nätet. Det kan vara ficktelefoner som inte klarat de radiotekniska kraven för att få användas i GSM-nätet, eller stulna ficktelefoner som ägaren begärt skall spärras så att de blir oanvändbara.



### CEIR (Central Equipment Identity Register)

GSM-operatörerna har en gemensam databas CEIR dit man rapporterar IMEI-nummer på ficktelefoner som inte får användas. GSM-operatörerna laddar ner en kopia av CEIR till sin egen EIR.

När man köper en subventionerad ficktelefon binder man sig under viss tid till en viss operatör. För ficktelefoner som säljs med "kontantkort" finns inget skriftligt avtal mellan kund och operatör. Därför låser GSM-operatören ficktelefonen till sitt eget nät genom att rapportera dess IMEI-nummer till

CEIR, men ta bort numret från sin egen EIR. På detta sätt kan ficktelefonen bara användas hos den GSM-operatör som subventionerat köpet.

### GIWU

#### **GIWU (GSM Interworking Unit)**

Vid datakommunikation i PSTN-nätet används telefonmodem. Även i faxen finns ett telefonmodem. Om man skall koppla upp en data- eller fax-förbindelse till en GSM ficktelefon måste det någonstans finnas ett "mottagande modem" som återskapar bitströmmen som skall matas vidare ut till ficktelefonen. Dessa mottagande modem finns i en separat enhet, av Ericsson benämnd GIWU, som kopplas till MSC.

### MXE

#### **MXE (Message Centre)**

GSM-systemet skall kunna hantera olika typer av "meddelanden": SMS (Short Message Service), röstbrevlåda (Voice mail) och faxbrevlåda (Fax mail). MXE är Ericssons benämning på den enhet som hanterar detta.



## 6.3 Base Station System, BSS



### BSC (Base Station Controller)

Under varje MSC finns en eller flera BSC:er som avlastar MSC från arbetsuppgifter som har med hanteringen av radioutrustningen att göra:

- BSC sköter uppkoppling och administration av signalerings- och trafikkanaler till ficktelefonen.
- Handover, dvs. överkoppling av pågående samtal till annan cell, styrs av BSC. Ficktelefonen skickar mätdata till BSC som fattar beslut om när handover skall ske. Om handover sker till cell som ligger under annan BSC så skickas handover-begäran till MSC.
- "Ringsignaler" (paging) från MSC skickas till den eller de BSC:er som kontrollerar cellerna i det LA (Location Area) där ficktelefonen befinner sig.
- Vid BSC omvandlas talsignalen från 64 kbit/s till 13 kbit/s i en enhet kallad TRAU (Transcoder and Rate Adaptor Unit).



### BTS (Base Tranceiver Station)

BTS innehåller endast funktioner som måste finnas närmast gränssnittet mot radiosträckan.

I BTS sker kanalkodning, samt kryptering vid kretskopplad förbindelse (kryptering vid GPRS sker i SGSN).

## 6.4 Mobile Station, MS



### ME (Mobile Equipment)

ME är själva ficktelefonen utan SIM-kort. ME identifieras av IMEI (International Mobile Equipment Identity).

ME för GSM 900 tillhör effektklass 4 med 2 W uteffekt i dataskuren, 0,25 W medeleffekt. Men ME använder inte högre effekt än nödvändigt. Effekten kan regleras från 2 W till 3 mW i steg om 2 dB (10 steg). Det är basstationen som talar om för ME hur hög effekt ME skall använda för att höras av basstationen.

Motsvarande värden för GSM 1800 och GSM 1900 är 1 W i dataskuren, som kan sänkas ända ner till 1 mW i steg om 2 dB.



*SIM-kort*

### SIM (Subscriber Identity Module)

SIM-kortet innehåller en mikroprocessor och minne, där abonnentdata finns lagrade:

- Här finns abonnentens IMSI (International Mobile Subscriber Identity) som består av landskod, nätkod och abonnentidentitet. När GSM-abbonenten vill logga in och är okänd av GSM-operatören (ej fått TMSI) så frågar GSM-operatören efter SIM-kortets IMSI-nummer.
- I SIM-kortet finns abonnentens kryptonyckel.
- Dessutom finns olästa SMS, kortnummer, de utländska GSM-nät som din GSM-operatör vill att du använder i första hand m.m.

## 6.5 Drift och underhåll, OMC

I princip går det att ringa på ett GSM-nät som inte har något drift- och underhållssystem. Därför ingår drift och underhåll inte i GSM-specifikationen. Men drift- och underhållssystemet är ändå GSM-nätets viktigaste del, ur GSM-operatörens synvinkel. Det är därifrån som GSM-operatören "kör" sitt nät.

OMC

### OMC, Operation and Maintenance Centre

Ett någorlunda stort GSM-nät innehåller hundratals NE (Network Element, nät-element), som måste fungera korrekt. Övervakning på nätelementnivå sker från OMC (Operation and Maintenance Centre).

Varje NE har larmutgångar, som indikerar olika typer av fel, allt från matnings-spänningar som försvunnit till datasignaler som inte ser ut på rätt sätt. Larmsignalerna grupperas på följande sätt:

- **Critical (A-larm):** Ett tjänstepåverkande fel har uppstått och omedelbar åtgärd krävs. Exempel är en BSC som går ner. Ficktelefonerna i celler som betjänas av denna BSC befinner sig för långt från celler under annan BSC för att kunna utnyttja "översäckvid". Ficktelefonerna tappar kontakten med GSM-nätet.
- **Major (B-larm):** Felet kommer efterhand att påverka tjänsten och snabba åtgärder är nödvändiga. Om en TRX går sönder i en BTS som innehåller flera TRX:er, dvs. en radiosändare eller radiomottagare går sönder på en basstation som består av flera sändare/mottagare, så går det fortfarande att ringa, men antalet samtidiga samtal minskar. Detta bör åtgärdas innan abonnenterna blir irriterade över försämrade framkomlighet.
- **Minor (C-larm):** Felet påverkar inte tjänsten men bör åtgärdas för att allvarigare problem inte skall uppstå. Om det blir fel på debiteringsfunktionen (TT-posterna) i en MSC så påverkar detta inte abonnen-

ternas möjlighet att ringa, men GSM-operatören kan inte ta betalt, ett nog så allvarligt fel på lite längre sikt.

NMC

### NMC, Network Management Centre

När ett nätelement går sönder, eller det blir avbrott på transmissionen mellan två nätelement, kommer man att få larm inte bara från det nätelement som är trasigt, utan även från alla nätelement som "tappar" signal. Larmövervakning på nätnivå sker från NMC (Network Management Centre). Larmsignalerna grupperas på följande sätt:

- **Orsakslarm:** Larmsignalen från det nätelement som förorsakar felet kallas orsakslarm. Det är detta nätelement som skall åtgärdas, repareras. Det är hit reparatör skall skickas.
- **Följdlarm:** Larmsignalerna från alla de nätelement som indikerar felaktig signal, utan att nätelementet i sig är trasigt, kallas följdalarm. Hit skall man inte skicka reparatör eftersom inget gått sönder.

Tidigare försökte man programmera sin övervakningsutrustning så att följdalarmerna inte visades på larmlådan. Man är ju bara intresserad av orsakslarmerna. Men ett typiskt GSM-nät består inte bara av "egna" nätelement. Man kanske hyr förbindelser av annan nätoperatör. Felbilden blir så komplicerad att man inte klarar att sälla ut orsakslarmerna med automatik. Det krävs mycket god kännedom om hur GSM-nätet bär sig åt i olika felsituationer för att komma fram till vad som egentligen förorsakar larmbilden.

Första uppgiften innan man hunnit reparera blir att avgöra om det går att göra omkopplingar i GSM-nätet så att ett A-larm förändras till ett B- eller C-larm.

## 6.6 Telecommunications Management Network, TMN

TMN är en vittomfattande modell med rekommendationer hur telenät skall byggas. TMN anger arkitektur för uppbyggnaden och viktiga begrepps bilder.

Här ges bland annat en modell för styrningsfunktionalitet. TMN-modellen identifierar fyra skikt:

- **Business Management:** Funktioner för affärsverksamheten, kundkontakter och operatörssamarbete.
- **Service Management:** Funktioner för tjänster i nätet, administration, taxering.
- **Network Management:** Funktioner för styrning och kontroll av nätfunktionalitet.
- **Element Management:** Funktioner för hantering av enskilda nätelement, larmhantering och underhåll.

### Element Management

Larmsignalerna utnyttjas inte bara vid felsökning, utan även för att beräkna vid vilken tidpunkt förebyggande underhåll skall sättas in.

### Network Management

På denna nivå finns inte bara larmsignaler från fysiska fel, utan även trafikinformation om misslyckade anrop på grund av för liten kapacitet i GSM-nätet. Genom att studera statistik på Network Management-nivå fattar GSM-operatören beslut om var i nätet det är mest angeläget med en utbyggnad av trafikkapaciteten.

### Service Management

- Vid nytecknande eller förändring av abonnemang skall uppgifter matas in och överföras till HLR.
- Taxeringsinformation som alstras i MSC (TT-poster) skall samlas in och bearbetas med de samtalstaxor som gäller vid olika tider på dygnet för alla olika typer av abonnemang.
- Begränsningar och möjligheter vid olika abonnemangsformer skall "översättas" till styr signaler som passar de olika datafälten i HLR.

Varje GSM-operatör försöker hitta egna sätt att hantera GSM-nätets "styrspakar" för att sätta ihop abonnemangsformer som lockar abonnenter. Det är inom detta område som den främsta nyutvecklingen sker. GSM-nätets tekniska uppbyggnad är fastlagd i GSM-specifikationen. Men det står varje GSM-operatör fritt att "vrída på rattarna" efter eget önskemål.

### Business Management

Abbonenternas samtalsvanor bearbetas statistiskt. Man ser hur olika kundkategorier ringer inom det egna GSM-nätet, men också vilka andra nät kunderna kopplar upp sig mot. Ur detta föds uppslag till nya tjänsteutformningar i samarbete med andra operatörer. Hur påverkar man abonnenterna att utnyttja operatörer man samarbetar med? Hur motverkar man att abonnenterna kopplar upp sig mot operatörer som man visserligen måste samarbeta med, men av affärsmässiga skäl inte vill att abonnenterna skall utnyttja?

## 7 — Nummer

---

---

## 7.1 I fasta telenäten (PSTN och ISDN-näten)

- **Internationellt ISDN-nummer**

Telefonnumret som utgör abonnentidentiteten i fasta telenäten är ett internationellt ISDN-nummer uppbyggt på följande sätt:

*CC + NDC + SN*

*CC = Country Code*

*NDC = National Destination Code*

*SN = Subscriber Number*

I fasta telenäten kan man slå delar av detta internationella ISDN-nummer:

- Antingen bara SN om man befinner sig i samma NDC
- NDC + SN, men då måste NDC föregås av "0"
- Hela internationella ISDN-numret, men då måste CC föregås av utlandsprefixet "00" (kan skilja mellan olika länder).

## 7.2 I GSM-näten

- **MSISDN, Mobile Station ISDN Number**

Varje GSM-abbonent får sitt eget telefonnummer (GSM-nummer) som ingår i den internationella ISDN-nummerserien.

$$MSISDN = CC + NDC + SN$$

*CC* = *Country Code*

*NDC* = *National Destination Code (som anger GSM-nät, GSM-operatör)*

*SN* = *Subscriber Number*

Till skillnad från fasta telenäten så måste man alltid ange "0" + NDC + SN när man matar in ett MSISDN-nummer, eller hela MSISDN-numret föregånget av utlands-prefixet ("00").

MSISDN leder till den HLR där uppgifter finns om den GSM-abbonent som söks.

- **MSRN, Mobile Station Roaming Number**

MSRN är ett internationellt ISDN-nummer som går till en MSC. MSRN utnyttjas för att koppla upp trafikförbindelser till den MSC där GSM-abbonenten befinner sig.

MSISDN leder fram till GMSC, och därifrån utnyttjas MSRN för att koppla upp till den MSC där GSM-abbonenten befinner sig.

MSRN är uppbyggt på exakt samma sätt som MSISDN, med den skillnaden att SN är ett ISDN-nummer till den MSC där GSM-abbonenten befinner sig.

- **IMSI, International Mobile Subscriber Identity**

GSM-abonnentens abonnemang är knutet till SIM-kortet. SIM-kortet identifieras med ett nummer IMSI, som är det identitetsnummer som används internt inom GSM-näten för ditt abonnemang.

När du ringer till en GSM-abonnent används MSISDN fram till HLR, där det byts mot IMSI. Fördelen är att du kan byta mobiltelefonnummer MSISDN utan att behöva byta IMSI, byta SIM-kort.

$$IMSI = MCC + MNC + MSIN$$

*MCC = Mobile Country Code (3 siffror)*

*MNC = Mobile Network Code (2 siffror)*

*MSIN = Mobile Subscriber Identity Number (max 10 siffror)*

- **TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity**

När ficktelefonen anropar basstationen vet inte basstationen vem som ropar. Detta anrop kan inte krypteras, för basstationen vet inte vilken kryptonyckel som skall användas.

Vid första anropet, när ficktelefonen loggar in på ny MSC/VLR, så sänder ficktelefonen sin IMSI. Därefter kopplas krypteringen in och VLR ger ficktelefonen ett "temporärt IMSI", TMSI, som skickas till ficktelefonen i krypterad form. Nästa gång ficktelefonen behöver anropa utan kryptering, så sänder den TMSI i stället för IMSI. När krypteringen slagits på byter VLR TMSI mot ett nytt TMSI. På detta sätt är det omöjligt att identifiera inte bara vem som ringer utan även trafikmönstret hos en viss ficktelefon.



- **IMEI, International Mobile station Equipment Identity**

Varje ficktelefon tilldelas vid tillverkningen ett unikt nummer som identifierar ME, Mobile Equipment.

$$IMEI = TAC + FAC + SNR + sp$$

*TAC = Type Approval Code (6 siffror), GSM typgodkännandenummer*

*FAC = Final Assembly Code (2 siffror), identifierar tillverkaren*

*SNR = Serial Number (6 siffror), identifierar enskild apparat inom TAC + FAC-grupp*

*sp = spare for future use. Anger version av mjukvara i ficktelefonen (1 siffra)*

- **LAI, Location Area Identity**

LAI är numret på en viss LA (Location Area), den grupp av celler dit ringsignal (paging) skickas vid inkommande anrop. Ficktelefonen måste uppfatta när den byter LA och meddela GSM-nätet så att ringsignal skickas till rätt LA.

$$LAI = MCC + MNC + LAI$$

*MCC + MNC = se IMSI*

*LAI = Location Area Code, max 16 bits, möjliggör 65 536 olika LA i ett GSM-nät.*

## Exempel på GSM-nät, koder och namn

Landskod	Nätkod	GSM-nätets namn	Presentation av land och nätamn	Förkortat nätamn
MCC	MNC			
S	240 01	Telia Mobitel	TELIA MOBITEL	TELIA
S	240 07	COMVIQ GSM AB	COMVIQ	IQ
S	240 08	AB NordicTel	EUROPOLITAN	EURO
DK	238 01	TELE Danmark Mobile	TDK-MOBIL	TD MOB
DK	238 02	Dansk Mobil Telefon DMT	SONOFON	SONO
N	242 01	Norwegian Telecom	Tele-mobil	TELE
N	242 02	NetCom GSM A/S	NetCom GSM	N COM
FI	244 91	Telecom Finland	TELECOM FINLAND	TELE
FI	244 05	OY Radiolinja AB	RADIOLINJA	RL
EE	248 01	Eesti Mobiiltelefon	EMT GSM	EMT
LV	247 01	Latvian Mobile Telephone Co. Ltd.	LMT GSM	LMT
A	232 01	PTV Austria	E-NETZ	MN-E
D	262 01	DeTeMobil GmbH	Telekom Mobilfunk D1	D1
D	262 02	Mannesmann Mobilfunk	D2 PRIVAT	D2
NL	204 08	PTT Telecom	PTT TELECOM	NL PTT
BEL	206 01	Belgacom Mobile	PROXIMUS	PROXI
L	270 01	P&T Luxembourg	LUXGSM	P&T L
CH	228 01	Swiss Telecom PTT	NATEL D GSM	NAT D
F	208 01	France Telecom	FRANCE TELECOM	FT
F	208 10	SFR	SFR	SFR
I	222 01	SIP Italy	SIP	I SIP
I	222 10	OMNITEL PRONTO ITALIA	OMNITEL	OMNI
E	214 07	Telefonica Spain	TELEFONICA	TLFCA
P	268 01	TELECEL	TELECEL	TLCL
P	268 06	Telecomunicacoes Moveis Nacionais (TMN)	TELEMOVEL	TMN
UK	234 10	Cellnet	CELLNET	CLNET
UK	234 15	Vodafone	VODAFONE	VODA
UK	234 50	Jersey Telecoms	Jersey Telecoms GSM	JER1
IRL	272 01	Telecom Ireland	EIRCELL-GSM	E-GSM
AND	213 03	STA ANDORRA	MOBILAND	M-LAND
GIB	266 01	GIBTEL	GIBTEL	GIBTEL
CY	280 01	Cyprus Telecommunication Authority	CYTAGSM	CY-GSM
GR	202 05	Panafon S.A.	PANAFON	PAN

## Exempel på GSM-nät, koder och namn

Landskod MCC	Nätkod MNC		GSM-nätets namn	Presentation av land och nätnamn	Förkortat nätnamn
GR	202 10	STET Hellas	STET Hellas	GR STET Hellas	HSTET
TR	286 01	PTT Turkey	PTT/TURKCELL GSM	TR PTT/TURKCELL GSM	TCELL
TR	286 02	PTT Turkey	PTT/TEKNOTEL GSM	TR PTT/TEKNOTEL GSM	TEKNO
UAE	424 01	ETISALAT UAE	ETISALAT - G1	UAE ETISALAT-G1	EG1
UAE	424 02	ETISALAT UAE	ETISALAT - G2	UAE ETISALAT-G2	EG2
SYR	263 09	Mobile Syria	MOBILE SYRIA	SYR MOBILE SYR	SYR MOB
QAT	427 01	Q-TEL	QATARNET	QAT-QATARNET	Q-NET
RUS	250 02	North-West GSM	North-West GSM	North-West GSM RUS	NWGSM
H	216 01	Pannon GSM	Pannon GSM	H Pannon GSM	PANON
H	216 30	Westel 900 GSM RT	WESTEL 900	H-WESTEL 900	W-900
SA	655 01	VODACOM	VodaCom	VodaCom-SA	VODA
SA	655 10	Mobile Telephone Networks	MTN	MTN-SA	MTN
TH	520 01	Advanced Info Service Public	AIS GSM	TH AIS GSM	THGSM
HK	454 00	Hong Kong Telecom CSL Ltd.	TCSL GSM	HK TCSL GSM	TCSL
HK	454 04	Hutchison Telephone Co. Ltd.	HTCLGSM	HK HTCLGSM	HTCL
HK	454 06	Smartone Mobile Communications Ltd.	SMARTONE	HK SMARTONE	HKSMC
AUS	505 01	TELECOM Australia	MOBILENET	MOBILENET-AUS	M-NET
AUS	505 02	OPTUS Communications Pty Ltd.	OPTUS GSM	AUS OPTUS GSM	OPTUS
AUS	505 03	Vodafone PTY	VODAFONE	VODAFONE AUS	OPTUS
NZ	530 01	BELLSOUTH	BELLSOUTH	BELLSOUTH NZ	BSNZ
PH	515 01	Isla Communications Co. Inc	Islacom Cellular	Islacom Cellular-PH	ISLA
PH	515 02	Globe Telecom GMCR Inc	Globe Telecom	Globe Telecom-PH	GLOBE
IND	510 01	PT. SATELIT PALAPA INDONESIA	IND SATELINDOCEL	IND SATELINDOCEL	SAT-C
IND	510 10	PT Telekomunikasi Indonesia	TELKOMSEL	IND TELKOMSEL	T-SEL
SGP	525 01	Singapore Telecom	ST-GSM	ST-GSM-SGP	STGSM
MY	502 02	BINARIANG SDN BHD	BINARIANG	MY-BRSB-GSM	MY-BSB



## 8 — Sekretess- och säkerhetsfunktioner i GSM-nätet

---

Standardiseringen av GSM påbörjades 1982 inom CEPT, men överflyttades efter några år till ETSI, det nystartade europeiska standardiseringsinstitutet för telekommunikation.

### **ETSI SAGE, Security Algorithms Group of Experts**

Redan 1986 skapades inom ETSI en särskild säkerhetsgrupp som genomförde riskanalyser, specificerade de önskade säkerhetsfunktionerna och detaljutformade säkerhetsmekanismerna i GSM-systemet. Senare fick gruppen uppdraget att genomföra motsvarande arbete vid standardiseringen av DECT, och är numera permanentad som en särskild expertgrupp, ETSI SAGE (Security Algorithms Group of Experts), för att tillgodose ETSI:s behov av säkerhetsalgoritmer. Detta är den enda ETSI-grupp som är sluten.

### **GSM (MoU) Association**

ETSI kan inte besluta i kommersiella frågor som rör GSM. Därför bildades 1987 GSM MoU (Memorandum of Understanding), en sammanslutning av mobilnätoperatörer. Huvuduppgiften för GSM MoU var att samordna starten för kommersiell drift av GSM i Europa. År 1998 bytte man namn till GSM Association (GSMA).

GSM Association hanterar i dag gemensamma frågor som debiteringsprinciper och regler för abonnenters besök i andra GSM-nät (roaming). Även säkerhetsadministrationen hanteras av GSM Association.

### **Radiosignalen kan fångas upp av obehöriga**

Vid radiokommunikation går radiosignalerna i luften och kan med lämplig radiomottagare fångas upp av vem som helst som har ”radiosikt” till basstationen respektive den avlyssnade ficktelefonen. För att skydda GSM-abbonenterna har man infört ett flertal säkerhetsfunktioner.

## 8.1 Säkerhetsfunktioner

Sekretess- och säkerhetsfunktionerna för GSM omfattar följande:

- Autenticering av mobilabonnentens identitet
- Konfidentialitet för användarens information (tal och data) på radiosträckan
- Konfidentialitet för mobilabonnentens identitet
- Konfidentialitet för del av signaleringen på radiosträckan

### **Autenticering**

”Äkthetskontroll” av mobilabonnentens identitet. När man ringer från en mobiltelefon måste mobilnätet veta vilket abonnemang som skall faktureras.

I GSM är abonnemanget knutet till SIM-kortet. Därför är det viktigt att SIM-kortet inte kan förfalskas, och att GSM-nätet med säkerhet kan identifiera SIM-kortet. Mobiloperatören vill inte att abonnenterna skall ifrågasätta riktigheten i fakturorna. Abonnenterna vill inte att andra skall kunna ”låna” deras abonnemang, ringa på deras bekostnad.

### **Konfidentialitet för användarens information (tal och data) på radiosträckan**

Användarens information skall hemlighållas så att ingen kan tyda innehållet även om signalen fångas upp. Detta uppnås genom att trafikkanalen krypteras.

### **Konfidentialitet för mobilabonnentens identitet**

Identitetssekretessen innebär att mobilabonnentens identitet och geografiska läge skyddas.

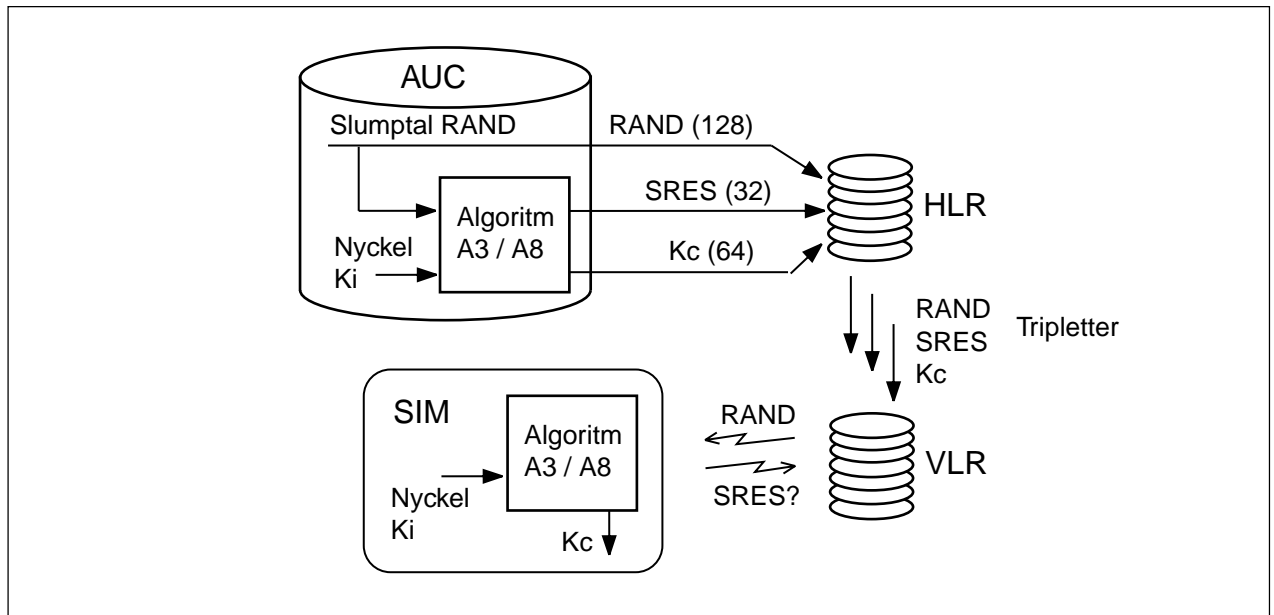
Möjligheten skall vara minimal att genom avlyssning identifiera mobilabonnenten. Därför används SIM-kortets identitet IMSI så sällan som möjligt. IMSI byts mot ett slumpvis valt TMSI-nummer (Temporary Mobile Subscriber Identity), som byts ut med jämna mellanrum.

Du skall heller inte kunna få reda på

var en viss GSM-abbonent befinner sig genom att ringa till abonnenten. Du märker inte vid uppkopplingen om samtalet lotsas vidare till utlandet. Du ser heller inget på din tele-räkning. Du betalar lika mycket, oavsett var GSM-abbonenten befinner sig. Det är den uppringda GSM-abbonenten som står för merkostnaden till utlandet.

### **Konfidentialitet för del av signaleringen på radiosträckan**

Vid uppkoppling av samtal innehåller signaleringen i luften mellan mobiltelefonen och mobilnätet uppgifter om vem som ringer (A-abbonenten) och vart han ringer (B-abbonenten). Här finns alltså uppgift både om mobiltelefonens identitet och vem som söker eller blir uppringd. Även denna information är krypterad.



### 8.2 Autentisering

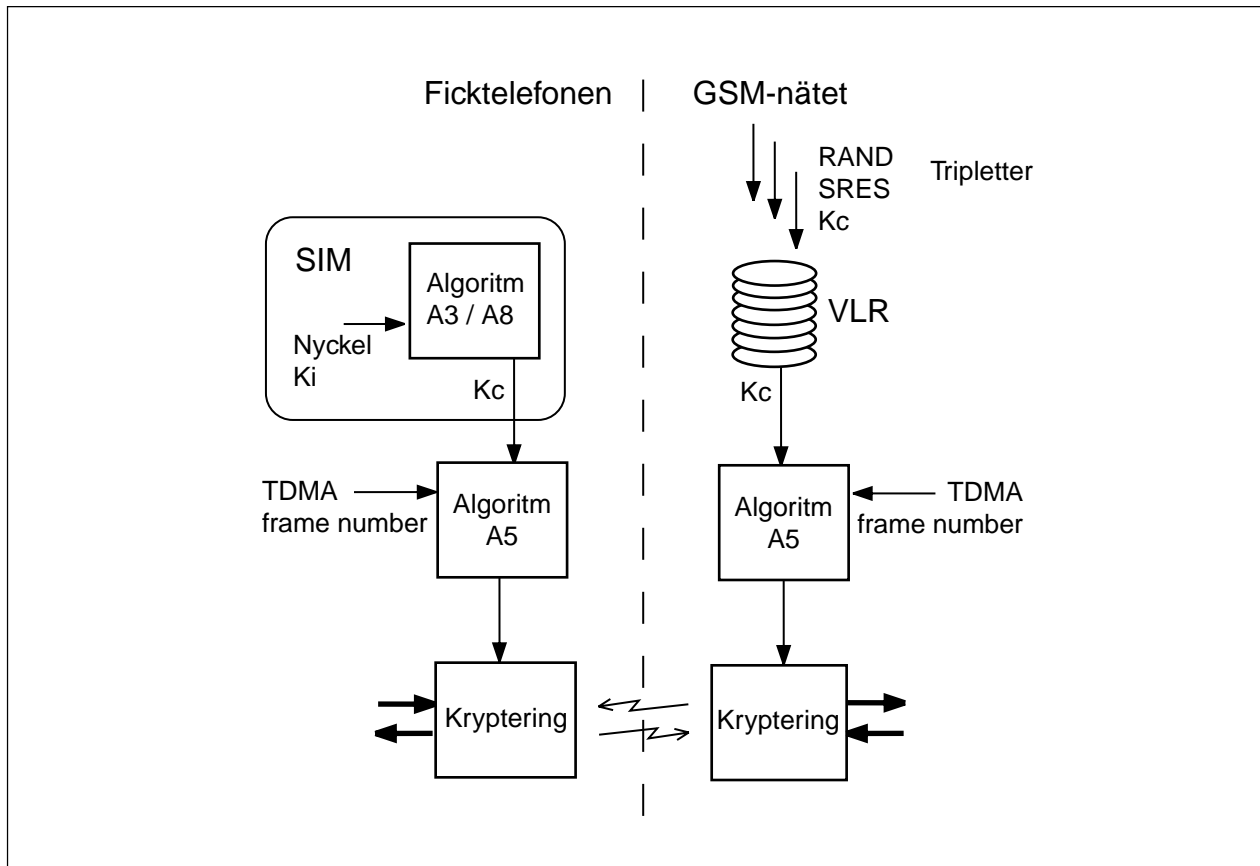
Mobilabonnemanget är knutet till SIM-kortet. Du vill vara säker på att ingen kan förfalska ditt SIM-kort så att du får hans mobil-samtal på din mobiltaleräkning. Autentisering innebär säker identifiering av ditt SIM-kort. Det går till på följande sätt:

- I SIM-kortet finns en hemlig nyckel Ki (128 bit). Samma nyckel Ki finns i din GSM-operatörs databas AUC (Authentication Centre).
- I AUC genereras ett slumptal RAND (64 bit), som tillsammans med Ki matas in i autentiseringsalgoritmen A3 som är hemlig, och som bestäms av respektive GSM-operatör. Denna algoritm finns bara i operatörens AUC och i de SIM-kort som innehas av den operatörens abonnenter.
- När Ki och RAND gått genom algoritmen A3 fås ett resultat SRES (32 bit).
- Ki och RAND matas även genom den hemliga algoritmen A8, och resultatet blir Kc (64 bit), som skall användas vid kryptering av tal, data och signalering.
- Ut ur AUC kommer tre tal, en så kallad tripplett, bestående av RAND, SRES och Kc. Ett flertal trippletter beräknas och

skickas till HLR, där de hämtas av den VLR där mobilen håller på att logga in, eller är inloggad. En ny tripplett används vid varje autentisering.

När ficktelefonen vill logga in på en BTS, eller kanske redan är inloggad och vill koppla upp ett samtal, så skickar MSC slumptalet RAND över radiosträckan till ficktelefonen. RAND matas in i SIM-kortet. I SIM-kortet finns abonnentens Ki, de hemliga algoritmerna A3 och A8, och en mikroprocessor. SIM-kortet matar RAND och Ki genom algoritmen A3 och ut kommer svaret SRES som skickas tillbaka över radiosträckan till VLR, som jämför med det SRES som kommit från HLR/AUC. Om SRES är identiska har SIM-kortet med stor säkerhet identifierats.

Varje tripplett används bara en gång. Vid nästa autentisering byts till en ny tripplett. Mobiloperatören väljer hur ofta autentisering skall ske.



## 8.3 Kryptering

Tal och data krypteras så att ingen skall kunna tyda telefonsamtalet eller innehållet vid datakommunikation. Kryptering av signaleringsinformationen sker för att ingen skall kunna ta reda på vem du ringer, eller vem som ringer dig.

När den hemliga nyckeln  $K_i$  matades tillsammans med  $RAND$  genom den hemliga algoritmen A8 blev resultatet  $K_c$ .

$K_c$  matas tillsammans med ramnumret (TDMA frame number) som löper från 0 till 2 715 647, genom krypteringsalgoritmen A5. Resultatet blir ett "flödeskrypto", d.v.s. en till synes slumpmässig bitström som adderas till den digitala användarinformationen.

Målet med krypteringen var att göra radiosträckan i GSM lika skyddad mot avlyssning som det trådbundna telenätet, inte bara i dag

utan under hela GSM-systemets livslängd. Datorerna blir kraftfullare, och intresset för att knäcka krypteringar är stort. Därför skapade standardiseringsgruppen ett mycket starkt krypto.

När sedan även länder utanför Västeuropa visade intresse för GSM-systemet, så visade det sig att flera viktiga länder i Europa motsatte sig generell export av en så stark krypteringsalgoritm som A5. Krypteringsalgoritmer betraktas i många länder som krigsmateriel. Därför utvidgades GSM-specifikationen att innefatta flera krypteringsalgoritmer, där den ursprungliga A5 döptes till A5/1, och en ny algoritm A5/2 är tillåten för generell export.



## 8.4 Identitetssekretess

Mobilabonnentens identitet (egentligen SIM-kortets identitet) är IMSI-numret (International Mobile Subscriber Identity).

När mobilen anropar basstationen måste den sända sin identitet okrypterad. GSM-nätet måste få reda på vem som anropar för att kunna välja rätt kryptonyckel. Först därefter skyddas signaleringen av kryptering.

När IMSI överförs på radiosträckan i klartext kan avlyssning ge information om vilken abonnent som befinner sig i området. Därför sänds IMSI bara när detta är absolut nödvändigt.

### TMSI

När du första gången slår på din ficktelefon med ett nytt SIM-kort (nytt abonnemang), då måste ficktelefonen identifiera sig med SIM-kortets IMSI-nummer. Ficktelefonen anropar GSM-nätet och begär "location update". MSC/VLR kontaktar HLR och begär abonnentinformation (får du logga in?) samt tripletter för autentisering. Därefter skickar mobilnätet RAND till ficktelefonen och begär SRES tillbaka. Om MSC/VLR är nöjd med din identitet övergår den i krypterat läge och ger dig en ny identitet, TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) ur en nummerserie som tillhör denna VLR.

I fortsättningen används TMSI vid alla anrop som måste ske okrypterat. Om du byter till annan MSC/VLR så kan denna fråga din gamla VLR vilket IMSI som motsvaras av det TMSI du har. Denna nya MSC/VLR kontaktar HLR, begär nya tripletter, autentiserar dig, beordrar krypterat läge och ger dig slutligen en ny TMSI ur sin egen nummerserie. På detta sätt minimerar man de tillfällen då din verkliga identitet, IMSI, sänds okrypterad över radiosträckan.



## **9 — Så ringer man i GSM-nätet**

---

## 9.1 Ficktelefonen i vila

### Söker efter GSM-basstation

När ficktelefonen slås på söker den över GSM-bandet efter en GSM-basstation där den uppsöker signaleringskanalen. Om ficktelefonen är en kombiapparat för både 900 MHz och 1800 MHz så finns instruktioner på SIM-kortet hur sökningen skall gå till, dvs. på vilket frekvensband och eventuellt på vilka frekvenser sökningen skall påbörjas.

### Identifierar GSM-operatören

När ficktelefonen hittat signaleringskanalen avläser den GSM-operatör, en information som även innehåller landskoden.

Om detta inte är SIM-kortets GSM-operatör så fortsätter sökandet. Om ficktelefonen inte finner SIM-kortets GSM-operatör så väljer den en operatör med annan landskod. Ficktelefonen får bara logga in hos sin egen nationella operatör eller hos någon utländsk med vilken den egna operatören har roamingavtal.

### Påloggning med helt nytt abonnemang

Vi tänker oss att du har ett helt nytt, aldrig tidigare använt abonnemang. Ficktelefonen har hittat SIM-kortets operatör eller en utländsk operatör.

- Ficktelefonen anropar GSM-nätet och vill bli insläppt.
- GSM-nätet frågar efter identifiering.
- Du har inte loggat in hos denna operatör (på denna MSC) tidigare, därför skickar du IMSI, din internationella GSM-identitet.
- MSC/VLR skickar IMSI på signaleringsnätet till din HLR och ber om uppgifter. Om detta sker utomlands kontrollerar VLR att det finns roamingavtal med din GSM-operatör.
- Ficktelefonen autentieras och förbindelsen krypteras. Därefter ger VLR ett TMSI (en temporär identitet) till ficktelefonen. Ficktelefonen sparar TMSI och LA-nummer.

Nu stänger du ficktelefonen, som sänder IMSI detach-kommandot till basstationen (meddelar att den stängs av).

### Påloggning när du tidigare varit inloggad

När du därefter slår på ficktelefonen så söker den troligtvis på samma sätt som tidigare. Letar i första hand efter SIM-kortets GSM-operatör. Om detta misslyckas kontrollerar den var den senast var inloggad genom att jämföra med det sparade LA-numret. Säg att den hittar den tidigare operatören som begär identifiering. Denna gång skickar ficktelefonen inte IMSI, utan TMSI. VLR frågar sig: Vilket IMSI fick detta TMSI? och så är du identifierad utan att IMSI behövt sändas i luften.

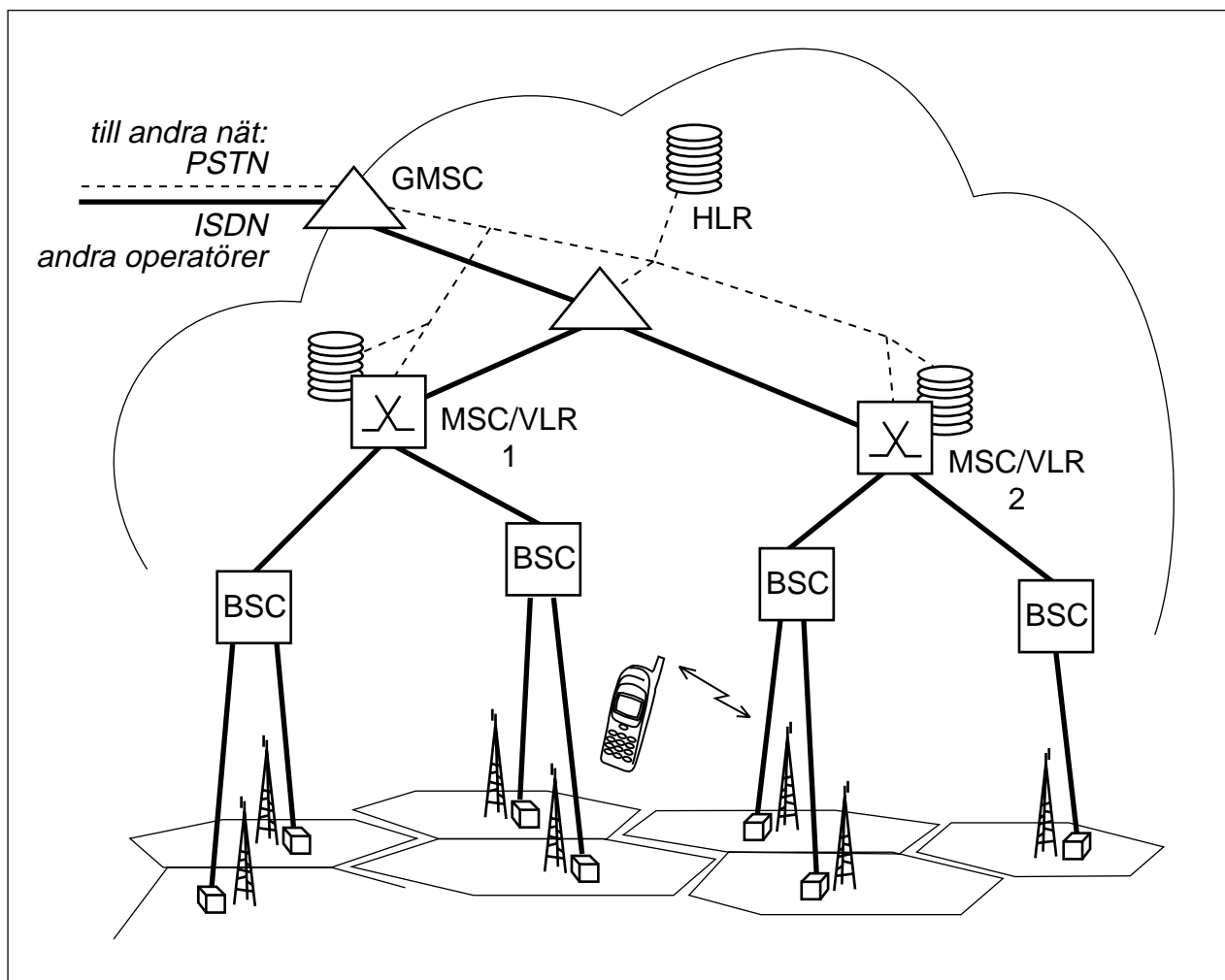
När detta är gjort görs autentisering och krypteringen kopplas på. Då byter VLR ditt TMSI till ett nytt TMSI, som du skall använda nästa gång. Därefter skickar du IMSI attach-kommandot, dvs. talar om att du är påslagen och redo för inkommande anrop.

### Du rör dig och byter LA

Du rör dig och går ur en cell och in i nästa. Hela tiden letar ficktelefonen efter cellernas signaleringskanal, för att lyssna efter inkommande samtal (paging), men också för att avläsa numret på LA (Location Area).

Om ficktelefonen byter till en cell som tillhör annat LA, så anropar ficktelefonen nätet, identifierar sig, först med TMSI, men om nätet inte förstår vem du är, då sänder du IMSI. Därefter sker autentisering, kryptering och du får nytt TMSI på vanligt sätt. Nu vet GSM-nätet att du bytt LA.

Om byte av LA även innebär att du bytt till annan MSC/VLR så hämtas dina HLR-uppgifter av denna nya VLR samtidigt som HLR noterar vilken MSC du är inloggad på. Därefter skickar HLR order till tidigare VLR att radera dina uppgifter. Du finns bara i ett VLR åt gången.



Om ficktelefonen lämnar serviceområdet för MSC1 och kommer in i serviceområdet för MSC2 så upptäcker MSC2 att den saknar abonnentuppgifterna i sitt VLR. Då hämtar VLR2 en kopia av abonnentuppgifterna från HLR och meddelar samtidigt HLR att abonnenten befinner sig i MSC2:s serviceområde.

HLR skickar kopian till VLR2 och skickar samtidigt order till VLR1 att stryka dessa abonnentuppgifter.

Abbonentuppgifterna finns i HLR. Varje GSM-operatör har en HLR-databas som innehåller uppgifter om de abonnenter som har abonnemang hos just den GSM-operatören.

Sedan finns abonnentuppgifterna också på en VLR, i det MSC serviceområde där ficktelefonen just nu befinner sig, eller befann sig när den stängdes av.

När du köper ett nytt abonnemang, då finns abonnentuppgifterna bara i HLR. Första gången du loggar in, första gången du startar en GSM-telefon med det nya SIM-kortet, då hämtas en kopia från HLR till denna MSC:s VLR. Därefter finns du både i HLR och i någon VLR.

Operatören kan rensa VLR från IMSI som varit passiva under längre tid. När sådan bortrensad ficktelefon åter startas hämtas uppgifter på samma sätt som vid nytt abonnemang.

## 9.2 Samtal till eller från en ficktelefon

### Uppkoppling av trafikkanal i fasta telenätet

När något nät (PSTN, ISDN, GSM osv.) behöver en trafikkanal mellan två ändpunkter så skickas på signaleringsnätet en begäran till mellanliggande noder att reservera förbindelser. I första ögonblicket sker alltså bara en reservering av förbindelser.

Om det inte finns ledig förbindelse på någon sträcka så "backar" signaleringsnätet och avbeställer gjorda reserveringar. Antingen försöker signaleringsnätet någon annan väg, eller också får man "spärrton" i telefonluren.

Om signaleringsnätet når slutdestinationen och har förbindelser hela vägen, så kontrollerar signaleringsnätet om B-abonnenten är upptagen. Om B-abonnenten är upptagen så meddelar signaleringsnätet detta. A-abonnenten får "upptaget-ton" i telefonluren och de reserverade förbindelserna avbeställs.

Om B-abonnenten inte är upptagen, så ger signaleringsnätet order att de reserverade förbindelserna skall kopplas ihop till en sammanhängande trafikkanal. Därefter skickas ringsignal till B-abonnenten.

Om B-abonnenten har aktiverat vidarekoppling (t.ex. vidarekoppling till visst nummer vid upptaget) så fortsätter signaleringsnätet att reservera förbindelser till den nya destinationen utan att först beordra sammankoppling till trafikkanal. Om dessa nya förbindelser innebär att man går tillbaka (det bildas en "trombon"), så finns en utvidgning av CCITT #7 som klarar att "riva" del av ett koppel och gå vidare i ny riktning. Men detta måste ske innan signaleringsnätet ger order "koppla ihop till trafikkanal". När hopkoppling väl skett går det inte att ändra, bara bygga vidare.

Om B-abonnenten aktiverat vidarekoppling vid ej svar, så kommer man alltid att gå vidare, eftersom det sker hopkoppling till trafikkanal innan ringsignal skickas ut. Om B-abonnenten ej svarar måste signaleringsnätet fortsätta från denna punkt

till den nya slutdestinationen. En uppkopplad trafikkanal kan inte förändras, man kan bara bygga vidare.

### Samtal från PSTN-abonnent till GSM-abonnenten Kalle

Antag att en A-abonnent ringer från PSTN-nätet till Kalles ficktelefon. PSTN-lokalstationen analyserar Kalles GSM-nummer som är uppbyggt som ett vanligt telefonnummer, och med hjälp av områdesnumret skickas Kalles GSM-nummer på signaleringsnätet till den GMSC som är gateway till detta "område", tillsammans med begäran att reservera trafikkanal.

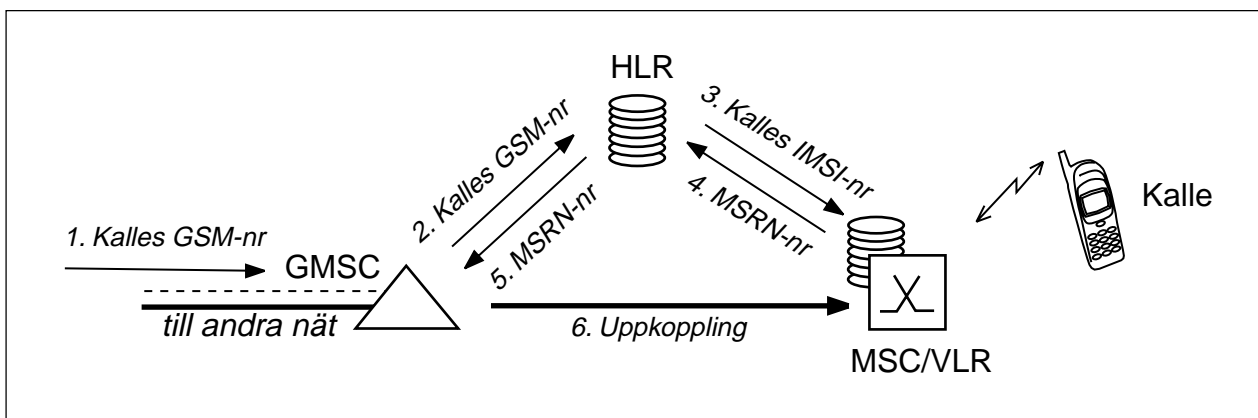
Lokalstationen behöver inte bekymra sig om att numret går till ett GSM-abonnemang, men Kalles GSM-nummer sparas (B-numret) i den datafil (TT-poster) som senare skall ligga till grund för A-abonnentens tele-räkning. Det kostar mer att ringa till "GSM riktnummerområde" än vad det kostar att ringa till andra riktnummerområden i PSTN-nätet.

Nu har Kalles GSM-nummer kommit fram till GMSC via signaleringsnätet och trafikkanaler finns reserverade. GMSC är intelligent och förstår att Kalles GSM-nummer inte går till någon "telefon" utan till Kalles HLR. Från GMSC skickas alltså Kalles GSM-nummer till Kalles HLR, med en fråga: "Ge mig ett telefonnummer som går till den MSC där Kalle befinner sig!"

### Vidarekoppla alla samtal

HLR vet i vilket MSC serviceområde Kalle befinner sig. Men först kontrollerar HLR om Kalle aktiverat tjänsten "vidarekoppla alla samtal" till något telefonnummer eller röstbrevlåda. Om tjänsten aktiverats returneras detta telefonnummer eller numret till röstbrevlådan.

Om "vidarekoppla alla samtal" inte är aktiverad skickar HLR, via signaleringsnätet, en begäran till den VLR/MSK där Kalle befinner sig:



"Skicka mig ett telefonnummer (MSRN) till MSC". Det nummer som HLR returnerar till GMSC kan alltså vara:

- MSRN, numret till den MSC där Kalle befinner sig, i samma GSM-nät eller i ett besöksnät utomlands.
- ett telefonnummer till Kalles röstbrevlåda, om Kalle inte går att nå.
- ett telefonnummer till vilket nät som helst, om Kalle har vidarekopplat sin GSM-telefon (vidarekoppla alla samtal). Sådan vidarekoppling kan ske till vilket nummer som helst i hela världen.

### MSRN (Mobile Station Roaming Number)

Lokalstationen i PSTN-nätet har en nummerserie för de fasta abonnenterna. På samma sätt har MSC en nummerserie. Sådana MSC-nummer kallas MSRN (Mobile Station Roaming Number) och är vanliga ISDN-nummer med CC + NDC + SN, där SN är "abbonentnumret" på en ingång till MSC:n.

MSC returnerar MSRN till HLR, som vidarebefordrar MSRN till GMSC.

Nu kan GMSC begära trafikkanal fram till Kalles MSC, genom att skicka uppkopplingsbegäran på signaleringsnätet, men med Kalles telefonnummer utbytt mot MSRN.

Eftersom MSRN är ett vanligt ISDN-nummer så spelar det ingen roll om Kalles MSC ligger i det GSM-nät där Kalle har sitt GSM-abbonemang, eller i ett GSM-nät på andra sidan jorden. MSC uppfattas som vilken fast telefon som helst i ett fast telenät.

Dessutom skall förbindelsen bara överföra tal eller "kvittret" från ett modem (9,6 kbit/s eller 14,4 kbit/s datauppkoppling), så det räcker med analoga talförbindelser.

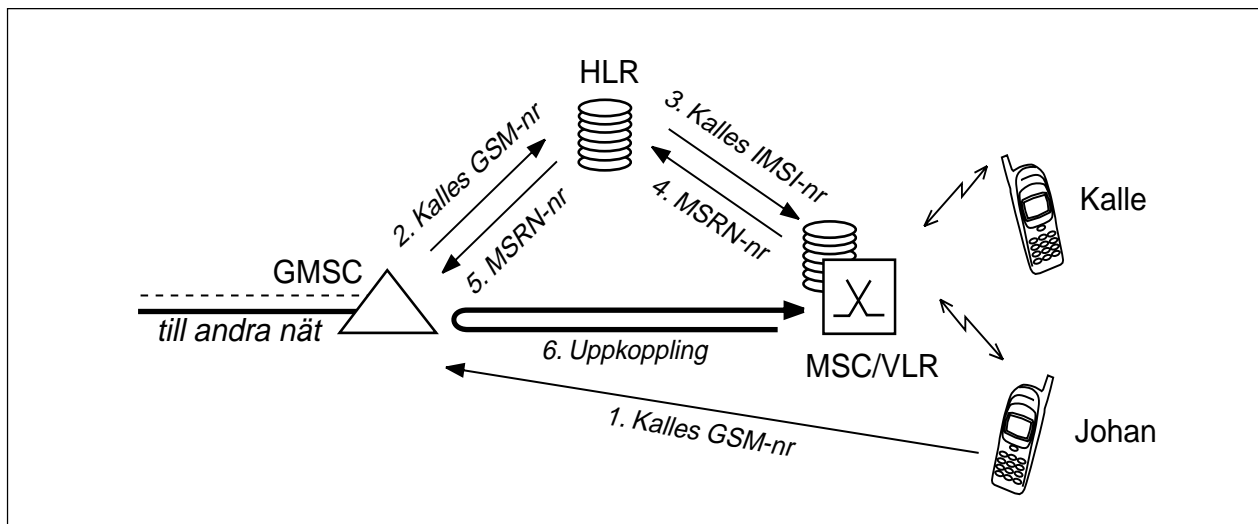
### Vidarekoppling vid upptaget eller när det ej går att nå abonnenten

När uppkopplingsbegäran via signaleringsnätet nått fram till slutdestinationen, den MSC där Kalle befinner sig, så kontrollerar MSC att det finns ledig trafikkanal (frekvens och tidlucka) ut till Kalles ficktelefon och att Kalle inte är upptagen av pågående samtal eller har stängt av ficktelefonen (IMSI detach).

Om Kalle är upptagen eller ej nåbar (IMSI detach) så kontrolleras i VLR om samtalet skall vidarekopplas till annat nummer/röstbrevlåda. Då fortsätter signaleringsnätet att reservera trafikkanal fram till detta nummer. Men fortfarande är inte någon del av sträckan hopfogad till sammanhängande trafikkanal. Därför kan signaleringsnätet eventuellt riva del av kopplet så att man slipper trombonuppkoppling.

Om Kalle inte är upptagen av samtal eller avstängd (IMSI detach) och det finns ledig tidlucka så kopplas trafikkanalerna ihop, från A-abbonenten via GMSC till Kalles MSC, och därifrån till basstationen, ut genom luften och fram till Kalles ficktelefon. Ringsignal (paging) skickas ut till Kalles ficktelefon.

I första skedet antar vi att ficktelefonen inte "hör" något (den befinner sig i radioskugga) eller att Kalle inte hör ringsignalen. Då kan samtalet vidarekopplas enligt villkoret "vidarekoppling vid ej svar". Men nu finns



trafikkanal fram till Kalles MSC. Alltså måste man bygga vidare från denna punkt. I detta fall kan tromboner ej undvikas.

### All uppkoppling till GSM-abonnent utförs på samma sätt

Kalle och Johan står bredvid varandra på gatan. De har ficktelefoner med abonnemang hos samma GSM-operatör. Johan skall ringa till Kalle.

Johan knappar in Kalles GSM-nummer, trycker på "koppla upp" och numret skickas via basstationen till MSC som begär att trafikkanal reserveras till GMSC. GMSC upptäcker att numret tillhör det egna GSM-nätet och skickar förfrågan till HLR med begäran om MSRN-nummer, som i detta fall innebär att trafikkanal reserveras tillbaka till samma MSC.

Men vet inte MSC/VLR vilka abonnenter som ligger inom dess MSC serviceområde? Vet den inte att Kalle befinner sig under samma MSC, att detta bara är ett "lokalsamtal"? Nej. VLR känner abonnenterna som IMSI-nummer, ej som GSM-nummer (MSISDN).

### IMSI (International Mobile Subscriber Identity)

I VLR identifieras inte GSM-abonnenterna med sina GSM-telefonnummer utan med en speciell GSM-identitet IMSI (International Mobile Subscriber Identity) som bara kan tolkas av GSM-nät. Det är IMSI-identiteten som ligger i SIM-kortet. Det är IMSI-identiteten som ligger i VLR. I HLR görs en översättning från abonnentens GSM-telefonnummer till motsvarande IMSI.

### Samtal från GSM-abonnent

Om Johan ringer som GSM-abonnent till abonnent i annat nät så skickas numret och reservering av trafikkanal till GMSC i det nät där Johan befinner sig, på samma sätt som ovan.

GMSC undersöker om numret innehåller landskod. I så fall skickas numret till en utlandsstation i detta land med begäran om reservering av trafikkanal fram till denna station. Där överlåter man ansvaret för fortsatt nummeranalys.

Om det inte finns någon landskod utan bara områdeskod så skickas samtalet till någon gemensam transitstation eller direkt till aktuellt nät, beroende på hur de olika operatörerna har kopplat ihop sig.



### 9.3 Om du befinner dig utomlands

Om Kalle och Johan befinner sig i Paris med sina ficktelefoner med svenska GSM-abonnemang, och Johan ringer Kalle?

- Kalles GSM-nummer skickas först till den franska operatörens GMSC.
- I den franska operatörens GSMC konstateras att landsnumret går till Sverige. Det finns inget som skiljer ett GSM-nummer från ett vanligt fast telefonnummer. Därför begärs reservering av trafikkanal till Sverige där numret hamnar i den svenska GSM-operatörens GMSC.
- Den svenska GSM-operatörens (Kalles) GMSC sänder förfrågan till Kalles HLR, som kontrollerar att inte tjänsten "vidarekoppla alla samtal" är inkopplad. I så fall vidarekopplas Johan till det numret.
- Kalles HLR hämtar ett MSRN från den MSC i Paris där Kalle befinner sig. Därefter kopplas trafikkanalerna ihop, från Paris till Sverige och tillbaka till Paris.
- Sedan skickas ringsignal ut på Kalles ficktelefon.

Eventuellt kan signaleringsnätet undvika att det kopplas upp en trombon Paris – Sverige – Paris, men det är inte säkert.

#### Vem betalar vad?

Johan har slagit ett svenskt GSM-nummer. Därför skall hans teleräkning belastas för sträckan Paris – Sverige. Det får inte framgå av Johans teleräkning att Kalle befann sig på annan plats än i Sverige. Var B-abonnenten befinner sig får inte avslöjas.

Kalle, som inte befinner sig hemma, får själv stå för kostnaden att bli nådd när han befinner sig utomlands.

Om det kopplas upp en trombon så får Johan och Kalle alltså betala för var sin trafikkanal mellan Paris och Sverige. Om det inte kopplas upp någon trombon så får Johan i alla fall betala för sträckan Paris – Sverige. Vad Kalle får betala bestämmer hans GSM-operatör.

#### IMSI detach — IMSI attach

När Kalle stänger av sin GSM-telefon skickar GSM-telefonen meddelande (IMSI detach) till den MSC/VLR där Kalle är inloggad att nu stängs ficktelefonen av, är inte längre nåbar. På samma sätt meddelar ficktelefonen när den sätts på (IMSI attach).

#### Vidarekoppling vid "upptaget" eller "ej nåbar"

Vi har redan studerat fallet "vidarekoppla alla samtal". I detta fall begär HLR ej MSRN utan returnerar vidarekopplingsnumret.

Om "vidarekoppla alla" inte är aktiverad så begär Kalles HLR ett MSRN-nummer av Kalles VLR. Därefter fortsätter reserveringen av trafikkanal fram till Kalles MSC i Paris. Väl framme i Paris händer något av följande:

- Kalle har stängt av sin ficktelefon (IMSI detach). Om Kalle har aktiverat "vidarekoppling vid ej nåbar" så fortsätter reserveringen av trafikkanal fram till detta nya nummer, som mycket väl kan vara röstbrevlåda i Sverige. I så fall kopplas det upp en trombon Paris – Sverige – Paris – Sverige, alltså tre trafikkanaler på samma sträcka, om inte signaleringsnätet klarar att "riva" uppkopplingsbegäran. Det kan alltså i värsta fall bli två sträckor Paris – Sverige på Kalles teleräkning. Johan får alltid betala för en sträcka Paris – Sverige. Om Kalle inte har aktiverat "vidarekoppling vid ej nåbar" så aktiveras inte trafikkanaluppkopplingen. Johan får talbeskedet "abonnenten ej nåbar". Varken Johan eller Kalle får betala något.

- Om Kalle är registrerad som IMSI attach i VLR så kopplas trafikkanalerna upp, Paris – Sverige – Paris, som trombon eller utan trombon om signaleringsnätet klarar detta. Därefter sänds ringsignal till Kalles ficktelefon.

Kalle kan svara. Då börjar man räkna samtalssekunder för debiteringen.

Ett annat alternativ är att Kalle gått in i radioskugga. Basstationen kan inte få radiokontakt med Kalles ficktelefon. Då får Johan talbeskedet "abonnenten ej nåbar" eller också sker vidarekoppling till det nummer Kalle angivit vid "abonnenten ej nåbar". I detta fall förlänger man tidigare trafikkanaluppkoppling. Om Johan ringt från Sverige och samtalet vidarekopplas tillbaka till Sverige så kan trombon ej undvikas. Nätet kan inte riva en redan uppkopplad förbindelse.

Tredje alternativet är att ringsignal går fram på Kalles ficktelefon men att han av någon orsak ej svarar. Efter ett antal ringsignaler sker vidarekoppling till det nummer Kalle angivit vid "vidarekoppling vid ej svar", eller också hör Johan talbeskedet "abonnenten ej nåbar".

### **HLR sköter "vidarekoppling av alla samtal"**

Enda tillfället då vidarekopplingen utgår från GMSC är när abonnenten aktiverat "vidarekoppla alla samtal". HLR vet inte om ficktelefonen är nåbar. HLR får bara MSRN-numret från VLR, inga uppgifter huruvida abonnenten är nåbar. Det finns dock en SMS-flagga i HLR, se avsnittet om SMS.

### **MSC/VLR hanterar all övrig vidarekoppling**

All övrig vidarekoppling, alltså all vidarekoppling som beror på något villkor, att ficktelefonen är avstängd (IMSI detach), att ficktelefonen inte kan kontaktas av basstationen (radioskugga), eller att abonnenten ej svarar, hanteras av den MSC/VLR där GSM-abonnenten är inloggad.

Om trafikkanalen redan är uppkopplad förlängs den från denna punkt. Telenätet kan inte gå in på sträckan och "riva" en redan uppkopplad trafikkanal för att vika av åt annat håll. "Uppkopplat är uppkopplat".

Bara om MSC upptäcker att GSM-abonnenten ej är nåbar innan trafikkanalen sammankopplas finns möjlighet att ändra förbindelsesträckningen.

### **Om IMSI detach inte gått fram?**

Om Kalle går in i radioskugga och stänger av sin ficktelefon, då kommer inte IMSI detach-meddelandet fram till MSC/VLR. VLR tror att Kalle är nåbar, kopplar upp trafikkanalen, skickar ut ringsignal men får ingen kontakt med ficktelefonen.

### **Koppla ur röstbrevlådan vid utlandsvistelse**

Det kan under olyckliga omständigheter bli långa trombonuppkopplingar vid utlandsvistelse. GSM-operatörerna försöker bespara sina abonnenter obehagliga överraskningar med olika tekniska lösningar. Vill du vara på säkra sidan skall du stänga av röstbrevlådan när du tar med dig ficktelefonen utomlands.

Ännu viktigare: När du kommer hem till Sverige skall du sätta på din ficktelefon så fort som möjligt (IMSI attach), annars tror GSM-nätet att du fortfarande är utomlands och fortsätter skicka samtalen den vägen till din röstbrevlåda.

## 10 — Taxering

---

## 10.1 Att ta betalt

Vi måste skilja mellan två olika fall:

- Att ta betalt för något vi säljer.
- Att ta betalt för något kunden redan fått.

### 1. Pengarna först, varan sedan

Det första fallet är enkelt i inledningsskedet, men mer komplicerat senare. Du skall få se.

Pengarna först, varan sedan, är vanlig försäljning. Jag behöver inte veta vad kunden heter. Kunden behöver inte underteckna något avtal.

#### Kontantkort

På detta sätt fungerar GSM kontantkort. Kunden köper ett SIM-kort och betalar i förskott för att få ringa för en viss summa. Kunden blir abonnent, men GSM-operatören vet inte vem kunden är. Det enda GSM-operatören vet är hur mycket pengar som finns på SIM-kortskottet.

SIM-kortet identifieras med sitt IMSI-nummer, och till detta IMSI-nummer finns även ett vanligt GSM-nummer, ett IMISDN-nummer som kunden lämnar till bekantskapskretsen för inkommande samtal.

Kunden kan fylla på pengar på SIM-kortskottet genom att köpa en "kupong" för viss summa. Dessa pengar (med avdrag för försäljningsprovision) går till GSM-operatören. På "kupongen" finns en kod. Kunden ringer ett visst telefonnummer från sin GSM-telefon med SIM-kontantkortet och matar in kupongkoden. Då hamnar pengarna på SIM-kortskottet.

Så långt är allt enkelt. GSM-operatören slipper all administration av namn, adress och fakturor.

Nu blir det besvärligare. GSM-operatören skall belasta SIM-kortskottet när jag ringer. Och när pengarna är slut skall SIM-kortet spärras, åtminstone för utgående samtal, tills pengar matats in på SIM-kortskottet.

För att kunna spärra när pengarna är slut så krävs att avräkningen ligger "on line". Det får inte finnas någon längre fördröjning från det att sekunderna tickar under själva samtalet tills pengarna dras från kottet.

### 2. Att köpa på kredit

Det andra fallet är komplicerat i inledningsskedet, men enkelt senare.

Att få varan först och betala sedan innebär att köpa på kredit. Vid varuleveransen måste kunden skriva under en följesedel, som är säljarens bevis på att varan är levererad. Privatpersoner har ångervecka, men hör man inte av sig så är leveransen accepterad. Med följesedeln som underlag kräver säljaren att köparen betalar. Utan följesedel kan köparen vägra att betala, och säljaren har då inga juridiska möjligheter att kräva pengarna.

#### Abonnemang

Att teckna teleabonnemang innebär att skriva under ett abonnemangsavtal, en "följesedel", där man förbinder sig att betala, i efterskott, för de samtal man ringer. I avtalet ingår att man som abonnent accepterar de mätmetoder, de samtalsmätningar, som utgör underlag för debiteringen. Eventuell fast avgift för abonnemanget tar GSM-operatören ut i förskott.

GSM-operatören måste hålla reda på abonnenternas namn och adress och koppla ihop detta med SIM-korten, IMSI- och IMISDN-numren. Det behövs ett faktureringsystem. Administrationen ökar.

Fördelen för GSM-operatören är att uträkningen av samtalsavgiften inte behöver ske under samtalets gång, "on line", utan kan ske i efterskott.

#### Telefonkatalog

När operatören vet namnet på abonnenterna går det även att sammanställa en telefonkatalog.

## 10.2 Taxeringsinformation — mätning och registrering av samtal

Taxering innebär att man mäter samtalet och registrerar vad man mätt. Mätning och registrering sköts av telefonstationer, i PSTN- och ISDN-näten av lokalstationerna och av utlandsstationerna (gräns mot andra nät), i GSM-näten av MSC och GMSC.

### Registreringsmetod — samtalsräknare

Tidigare användes samtalsräknare på abonnenternas lokalstationer. Samtalsräknaren är ett relä som stegar fram ett räkneverk.

Under samtalets gång skickades spänningpulser till samtalsräknaren. Vid lokalsamtal kom spänningpulserna från den egna lokalstationen, kanske en puls var tredje minut. Men samtalsräknaren var ansluten till trafikkanalen. Vid rikssamtal kom spänningpulserna via trafikkanalen från någon transitstation som hade uppgifter om hur mycket denna typ av samtal skulle kosta. Spänningpulserna kom tätare, kanske var tionde sekund.

Samtalsräknarna fotograferades varje kvartal. Avläsningarna från filmen utgjorde underlag för fakturan, teleräkningen, som byggde på antalet "samtalsmarkeringar". Prishöjningar kunde vara generella, man höjde priset på varje markering. Vid prisjusteringar som t.ex. innebar dyrare lokalsamtal men billigare rikssamtal, så måste intervallen mellan spänningpulserna ändras. Sådana prisjusteringar var komplicerade när växlarna var elektromekaniska. Det var till att plocka fram lödkolven.

Nya tjänster infördes. Några tjänster innebar engångsavgifter (vissa 071-nummer) och då skickades en skur av spänningpulser vid samtalets slut. På detta sätt kunde man undvika att debitera om tjänsten avbröts, inte levererades på ett riktigt sätt.

Man började ringa långväga, samtal som var riktigt dyra. Hit hörde att ringa till svenskt fartyg på andra sidan jorden via kustradiostation. Samtalet var så dyrt, samtalsmarkeringarna kom så tätt, att mekaniken i samtalsräknaren inte hängde med.

Den största nackdelen med samtalsräknarna var onekligen att ingenting fanns registrerat mer än antalet markeringar. Man visste inte om det var rikssamtal eller lokalsamtal. Man visste inte när på dygnet. Det gick inte att bemöta klagomål. Det var dyrt, det krävdes stor arbetsinsats att avläsa samtalsmätarna och att genomföra taxerändringar.

### Registreringsmetod — Toll-Ticketing

I dag registreras en mängd uppgifter om varje samtal i en datafil, som en TT-post (Toll-Ticketing Record). Sådan registrering görs i A-abonnentens lokalstation (MSC), i eventuell utlandsstation (GMSC) om man ringer till ett annat nät, och i B-abonnentens lokalstation (MSC).

Ett enda samtal skapar alltså TT-poster på minst två ställen, abonnenternas lokalstationer (MSC), men dessutom på mellanliggande stationer om man ringer mellan flera nät.

### Vad registreras?

Vad innehåller en TT-post?

- Telefonnumren: A-abonnentens och B-abonnentens nummer, såväl ISDN-, MSISDN- som IMSI-nummer om dessa finns att tillgå. Det är inte självklart att man känner A-abonnentens nummer för ett överlämnat samtal från ett annat nät. Men man vet i alla fall vilken nätoperatör som skall krävas på pengar för det överlämnade samtalet.
- Tidpunkter: Startdatum och starttid för anrop, tid när B-abonnenten svarar, tid när A-abonnenten eller B-abonnenten avslutar samtalet.
- Vilken tjänst som används: Tal, data, fax m.m.
- Var den egna GSM-abonnenten befinner sig: Location Area, cell m.m.
- Eventuella fel eller avbrott under samtalets gång: Har samtalet avslutats på rätt sätt eller för att någon av abonnenterna kommit in i radioskugga?

## 10.3 Insamling av TT-poster och efterbearbetning

### Datainsamling

TT-posterna skapas på telestationerna. Tidigare spelades posterna in på databand, som hämtades med jämna mellanrum. Numera lagras TT-posterna på hårddisk och något back-upmedium. Men viktigare är att så fort som möjligt överföra TT-posterna till det centrala faktureringsystemet.

Överföring av TT-poster och efterbearbetning ingår inte i GSM-specifikationen. Det finns därför inget standardiserat sätt. Fler-talet operatörer skickar TT-posterna i drift-datanätet, det interna datanät som samman-binder alla nätelement för fjärrstyrning och larmövervakning.

### Efterbearbetning

När TT-posterna samlats in skall data sorterar på respektive abonnent och grupperas till samtal. Därefter sker prissättning enligt de villkor som ingår i varje abonnents abonnemang.

### DCH (Data Clearing House)

Vid sorteringen får man TT-poster för abonnenter som inte är operatörens egna abonnenter, utan GSM-abonnenter från utländska nät som loggat in.

Vi tänker oss en spansk GSM-abonnent på besök i Sverige. Samtal till den spanska GSM-abonnenten kommer alltid att gå via abonnentens hemma-GSMC och hemma-HLR i Spanien. Den spanska GSM-operatören har full kontroll över inkommande samtal. Men utgående samtal från den spanska GSM-abonnenten i Sverige (t.ex. lokalsamtal) märks inte i Spanien, så länge som abonnenten inte ringer till Spanien. Dessa samtal blir TT-poster enbart i Sverige.

Sådana TT-poster för besökande GSM-abonnenter skall skickas till respektive GSM-operatör för att bilda underlag på deras fakturor. För att den svenska GSM-operatören skall slippa sortera TT-posterna på alla olika operatörer och själv sköta överföringen, så har man skapat speciella företag, DCH (Data Clearing House), dit operatörerna skickar sina TT-poster för besökande GSM-

abonnenter. DCH ombesörjer sortering och distribution till respektive GSM-operatör.

### Tar tid

Sortering och distribution av utländska TT-poster tar tid. Det blir fördröjning från själva samtalet tills GSM-abonnentens operatör vet att man ringt, och för hur mycket. Man arbetar på att få ner fördröjningen till 36 timmar. Men många dyra samtal hinner ringas på 36 timmar. Därför är ett nytecknat GSM-abonnemang spärrat för användning utomlands tills kreditupplysningen är klar, så att GSM-operatören vet att abonnenten har utmättningsbara tillgångar. Tidsfördröjningen är också orsaken till att kontantkort inte får användas utomlands.

### Tilläggsavtal

För att ge kontantkortskunder möjlighet att ringa utomlands finns hos de flesta GSM-operatörer möjlighet att teckna ett tilläggsavtal. Man skriver under ett avtal att betala fakturor på kostnader för samtal som man haft vid besök i utländskt GSM-nät. På detta sätt är man kontantkortskund när man ringer i Sverige, men GSM-abonnent med skriftligt abonnemang när man åker utomlands.

## 10.4 Vad kostar ett samtal?

Det finns ingen kostnad för ett enskilt samtal. GSM-operatören har ingen utgift när du ringer, eller sparar en utgift när du inte ringer. Med ett undantag: GSM-operatören faktureras för överlämnade samtal.

Om du och din kompis båda är GSM-abonnenter i samma GSM-nät och ringer varandra i detta nät, dvs. ni befinner er inte utomlands, då har GSM-operatören ingen kostnad för samtalet.

Däremot kan ni ha abonnemang med låg minuttaxa och belägga radioförbindelserna, så att abonnenter med hög minuttaxa inte kan ringa. Då förlorar GSM-operatören en intäckt. Men GSM-operatören har inga extra kostnader för ert samtal.

Att bygga ett GSM-nät innebär investeringar. Avskrivningar på investeringarna är en driftskostnad. Man behöver personal för drift och underhåll, men utrustningen slits inte eller går sönder extra mycket för att man ringer. Däremot kan det kundadministrativa arbetet påverkas, men eftersom fakturorna beräknas maskinellt, så beror kostnaden för kundadministration mer på totala antalet abonnenter i nätet.

### Fast avgift — abonnemangsavgift

Ett sätt att ta betalt är att dela samtliga kostnader med antalet abonnemang. Var och en betalar en fast månadsavgift. Sedan får abonnenterna ringa så mycket de vill. Troligtvis kommer detta att leda till så hejdlöst ringande att det oftast inte går att komma fram. Då klagar abonnenterna.

Vad tycker GSM-operatörens aktieägare? Att fördela kostnaderna på abonnenterna ger ingen vinst! Men viss del av teleräkningen brukar vara fast avgift, en abonnemangsavgift.

### Samtalsavgifter

Ett annat sätt att ta betalt är att försöka uppskatta samtalsvolymen och fördela kostnaderna på samtalen. Genom att gissa vad abonnenterna är villiga att betala för ett sam-

tal så tar man lite mer än vad som behövs för att täcka kostnaderna. Då finns marginal för felberäkning och möjlighet till vinst. Viss del av teleräkningen brukar beräknas så här. Detta är samtalsavgifterna.

Vissa abonnenter är mer benägna att betala en högre fast avgift bara samtalsavgifterna är låga. Andra abonnenter som ringer sällan vill ha låg fast avgift men är beredda att betala högre samtalsavgift när de ringer.

När abonnenter i andra nät ringer till operatörens GSM-abonnenter så får GSM-operatören betalt för att samtalet överlämnas till honom. Kanske vill GSM-operatören uppmuntra till inkommande trafik genom att t.ex. överföra del av intäkten för överlämnat samtal till kontantkortspotten.

GSM-operatören har inget intresse av "rättvis" taxering utan vill maximera intäkterna. Därför finns många olika abonnemangsformer. Hellre en abonnent som betalar lite mindre än ingen abonnent alls. Men detta får inte leda till att alla abonnenter vill betala lite mindre.

### Vad säger aktieägarna?

En stor del av kostnaderna är avskrivning på nätinvesteringar. När dessa investeringar är avskrivna sjunker kostnaderna. Då kommer vinsterna.

## 10.5 Taxeringsprinciper

### A-abonnenten betalar

Den allmänna principen i fasta telenätet har varit att A-abonnenten betalar. Den som ringer upp har möjlighet att tänka över om han verkligen har råd att ringa rikssamtal.

B-abonnenten blir uppringd. Han vet inte att det är ett dyrt rikssamtal innan han svarat. B-abonnenten kan inte välja. Därför skall A-abonnenten betala.

### A-abonnenten utgår från B-abonnentens nummer

Vad tror A-abonnenten att han får betala. Jo, ett samtal till den plats, det land, som utpekas av B-abonnentens nummer. Om B-abonnenten vidarekopplar samtalet till annan plats, då får B-abonnenten stå för den extra kostnaden.

### GSM-näten

Dessa principer gäller även i GSM-näten. A-abonnenten betalar fram till den plats som utpekas av B-abonnentens nummer.

### Vilket GSM-nät ringer jag från?

Jag åker med mitt Comviq-abonnemang till Paris, loggar in på en basstation som tillhör France Telecom GSM och ringer ett lokalsamtal i Paris. Samtalet kopplas från min ficktelefon till BTS, BSC, MSC och GMSC som tillhör France Telekom GSM och vidare ut på fasta telenätet (France Telecom). Vad betalar jag?

Jag betalar för ett lokalsamtal, från GSM-telefonen till fasta telenätet. Vem bestämmer priset? Det gör den GSM-operatör från vars nät jag ringer. Vems GSM-nät ringer jag från? Från Comviqs GSM-nät!

Min GSM-telefon med Comviq SIM-kort är alltid ansluten till Comviqs nät, även när jag befinner mig utomlands. Det är Comviq som lånar nätdelar av France Telecom GSM.

### Vem betalar vad?

Fasta telenätet (France Telecom) skall ha betalt av France Telecom GSM för överlämnat samtal. France Telecom GSM skall ha ersättning för både den del av samtalet som belägger det egna GSM-nätet och för överlämnat samtal till fasta nätet. Vem kan France Telecom GSM fakturera? Någon med vilken de har skriftligt avtal. Har de skriftligt avtal med mig? Nej! De har skriftligt avtal med Comviq, roamingavtal, enligt vilket Comviq förbinder sig att betala för kostnader som deras abonnenter förorsakat.

Den enda som kan ta betalt av mig är Comviq. Ingen annan har juridisk rätt att kräva mig på pengar.

Comviq tar betalt av mig för samtalet i Paris. Comviq bestämmer vad jag skall betala. Denna avgift behöver inte på något vis hänga ihop med de taxor som används av France Telecom GSM.

Vissa operatörer har upptäckt att de tar emot ungefär lika många samtal som de överlämnar. Avgifterna för överlämnade samtal och intäkterna för mottagna samtal tar ut varandra. Det finns ingen anledning att fakturera. Andra operatörer köper tid i klump (batch) för besökande abonnenter, och avräkning sker efter hand, allt för att minska administrationen. Men fortfarande behöver man utväxla den del av TT-posten som utvisar samtalets varaktighet, när samtalet ägde rum och B-abonnent för att få underlag för kundens teleräkning.

### Kontantkort — återgång till samtalsmarkeringar

Att köpa Kontantkort till sin GSM-telefon innebär att man inte får någon specificerad teleräkning. Man betalar i förväg och får kvitto på samtal man ännu inte ringt. Avräkning från potten sker ospecificerat, på samma sätt som på de gamla samtalsräknarnas tid.



I kapitel 8.3 befann sig Johan och Kalle i Paris med sina svenska GSM-abonnemang. Antag att de är abonnenter hos Telia GSM. När Johan ringer Kalle kommer France Telecom GSM att skicka samtalet till Sverige. Där går samtalet in i Telias GSM-nät. Det är France Telecom GSM som väljer hur samtalet skall skickas till Sverige. Det är France Telecom GSM som betalar för överlämnat samtal fram till Sverige. Alla dessa kostnader faktureras eller avräknas Telia GSM.

Johan ringer från Paris och samtalet skall kopplas via Sverige. Det är France Telecom GSM som gör vägvalet. France Telecom GSM vet vad man får betalt av Telia GSM. Detta finns reglerat i överenskommelsen operatörerna emellan. France Telecom GSM försöker hitta den för dem billigaste vägen till Sverige för att kunna plocka ut vinst.

När Telia GSM skall skicka tillbaka samtalet till Paris så är man angelägen om att hitta den billigaste vägen tillbaka. De tar betalt av Kalle och kan tjäna en slant på att hitta en billig förbindelse. Då kanske Telia väljer att skicka samtalet via England. Telia har egen kabel över Nordsjön till England. På så vis behöver man bara överlämna samtalet på sträckan England – Paris och kan eventuellt minska utgifterna. (Telia har i dag eget nät över större delen av Europa.)

### Taxering av GSM-abonment

Principen för taxering är enkel: A-abonmenten betalar fram till det nummer han slagit. Den som bestämmer priset är den operatör vars telefon man använt (fasta telenätet), eller den operatör vars SIM-kortsabonnemang man använt. Tänk på att GSM-abonmenten alltid tillhör sin egen GSM-operatör oavsett vilken operatörs GSM-nät GSM-abonmenten anslutit sig till. Den egna GSM-operatören sätter alla taxor.

Inkommande samtal när du befinner dig utomlands är en form av vidarekoppling från ditt hemma-GSM-nät till besöks-GSM-nätet. All form av vidarekoppling betalas av den abonnent som begär vidarekopplingen. Taxorna för vidarekoppling bestäms av den operatör som skickar samtalen vidare, i detta fall alltid din egen GSM-operatör. Din egen GSM-operatör har full frihet att sätta alla

taxor som han själv vill, oavsett var i världen du ringer på din GSM-telefon.

### Avgifterna mellan operatörerna styr samtalsuppkopplingen

Samtal kopplas inte efter principen kortaste vägen, utan efter principen högsta vinsten.

### Köp lokalt kontantkort

Ingen av operatörerna är intresserad av att eliminera trombonkopplingen Paris – Sverige – Paris. Den svenska GSM-abonment som behöver ringa många lokalsamtal i Paris kan köpa ett kontantkort av en lokal GSM-operatör i Frankrike och vidarekoppla sitt svenska GSM-nummer till det franska kontantkortsnumret.

## 10.6 Framtiden

### Debitering genom att avlyssna signaleringstrafik

Uppkoppling av trafikkanaler sker genom datapaket som skickas i signaleringsnätet. Sådana datapaket innehåller både A-abonnentnummer och B-abonnentnummer, och vilken tjänst som skall överföras (tal, data etc.). Genom att avlyssna signaleringstrafiken på signaleringsnätet från MSC så borde det vara möjligt att sammanställa TT-poster. Detta kan ske i en extern dator som bara lyssnar. På så sätt slipper man belasta MSC som kan koncentrera sig på trafikkopplingen.

Vad man missar är den statistik om radiotrafiken (LA, cell m.m.) som i dag kan hämtas ur TT-posterna.

### Debitering av signaleringstrafik

Teleoperatörerna har kopplat ihop sina telenät till ett världsomspännande telekommunikationsnät. Vid gränsen mellan näten finns utlandsstationer som kopplar ihop trafikkanaler och signaleringsnätet. Varje teleoperatör tar hand om trafik som skall till det egna nätet, överlämnat samtal, men hyr även ut trafikkanaler som passerar till nästa land för genomgående trafik. Man tar betalt för att ta hand om ett överlämnat samtal. Man tar betalt för att hyra ut en genomgående förbindelse för passerande trafik. Signaleringsnätet är en stödfunktion för trafikkanalerna. Det räcker att ta betalt för trafikkanalerna.

Signaleringsnäten är hopknutna i sann "Internet-anda" utan taxeringsmöjlighet. "Om jag låter dina signaleringspaket gå på mitt signaleringsnät så förväntar jag mig att du låter mina paket använda ditt signaleringsnät utan att ta betalt".

Signaleringsnätet har blivit mycket mer än bara en stödfunktion åt trafikkanalerna. Någon har påstått att GSM ser ut som det gör bara för att det inte kostar något att skicka datapaket på signaleringsnätet. Sanningen är nog snarast att när GSM specificerades (1985) fanns inga andra datanät än signaleringsnätet som var världstäckande. Trafikkanalerna var till övervägande

del analoga. Något Internet fanns ännu inte. Man behövde datanät för VLR/HLR-trafiken. Det fanns bara signaleringsnätet att tillgå.

Det var inte bara VLR/HLR-trafik som tillkom. Även SMS-tjänsten utnyttjar signaleringsnätet. Visserligen kom idén från ISDN, men all denna extra trafik på signaleringsnätet har i dag blivit så omfattande att den rena uppkopplingstrafiken för trafikkanalerna har hamnat i minoritet.

### Spärr på signaleringsnätet

Om det blir spärr på signaleringsnätet, om man försöker skicka fler datapaket än vad signaleringsnätet kan svälja, så blir trafikuppkopplingarna lidande. Teletrafiken blockereras. Det har förekommit att hela GSM-nät har blockerats på grund av överbelastning av signaleringsnätet.

För att åtminstone bli av med okynnes-trafiken har det funnits idéer om att ta betalt för signaleringstrafiken. Men att ta betalt innebär att man måste kunna utestänga dem som inte betalar. Införande av taxeringsmöjlighet skulle göra signaleringsnätet mer komplext, något som rimmar dåligt med ett så säkert fungerande signaleringsnät som möjligt.

När GPRS införs i GSM får operatörerna tillgång till alternativa dataförbindelser som bl.a. tar över SMS-trafiken.

### **Nya debiteringsprinciper**

I detta fall syftas främst på debitering av samtal som GSM-abbonent kopplar upp vid besök utomlands, i annan GSM-operatörs nät.

All utveckling innebär förenkling, inte när det gäller tekniken som sådan, den blir allt intelligentare, utan när det gäller logiken i stort. Äldre tiders telefonväxlar innehöll avancerad logik, därför att det var brist på trafikkanaler i långdistansnätet. Det gällde att hitta en ledig trafikkanal som samtidigt innebar att jag inte fick lediga snuttar som inte kunde hyras ut. När optofibern kom fick vi överskott på trafikkanaler. Telefonväxeln behöver inte tänka. Det är bara att skicka i väg samtalet. Trafikkanaler finns i överflöd. Vad gör man med växelns intelligens? Man konstruerar nya avancerade tjänster. Med differentierad taxering.

Den lediga intelligensen har möjliggjort "rättvis" taxering där man tar hänsyn till varje liten händelse, hur liten den än är, för att med absolut rättvisa beräkna en samtalskostnad på kanske två kronor. Är abonnenten verkligen intresserad av denna millimeter rättvisa? När det ändå inte finns en definerad kostnad för varje samtal.

### **Varför inte kontantkortet utomlands**

Kontantkortet innebär förenkling. Teleoperatören behöver inte ens hålla reda på abonnentens namn och adress. Kan man tänka sig en utvidgning av detta system så att besöks-VLR inte bara hämtar abonnentdata från hemma-HLR när jag loggar in utomlands, utan även hämtar en pott att ringa för? Då kan mitt kontantkort användas utomlands. Ett sådant system skulle innebära förenklad administration. Inga TT-poster behöver utväxlas mellan operatörerna.



## **11 — Tidluckor och logiska kanaler**

---

## 11.1 Att prata genom en tidlucka

All kommunikation i fasta telenätet sker i tidluckor. Hur går det egentligen till när man pratar i en tidlucka?

### Först spelas talet in

Det första steget är att spela in den signal som skall överföras, om det nu är tal eller vad det är. Vi tänker oss att vi använder en gammal rullbandspelare av den typ som jag vuxit upp med. Bandspelaren kunde spela i olika hastigheter: 19 cm/s, 9,5 cm/s eller 4,75 cm/s.

Först spelar vi in talet, och då skall vi ha bandspelaren på bandhastigheten 4,75 cm/s. Antag att jag talar i 20 sekunder.

### Backa bandet och spela upp i snabbare takt

Nästa steg är att backa bandet, ställa bandspelaren på 19 cm/s och spela upp signalen. Denna signal matar vi in i kabeln.

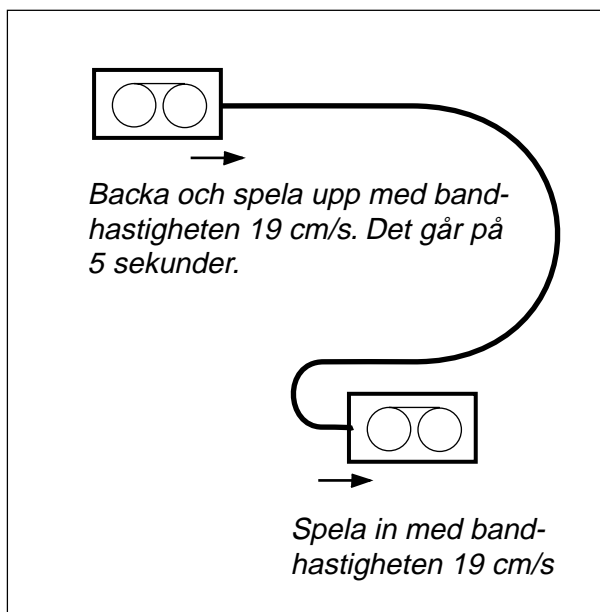
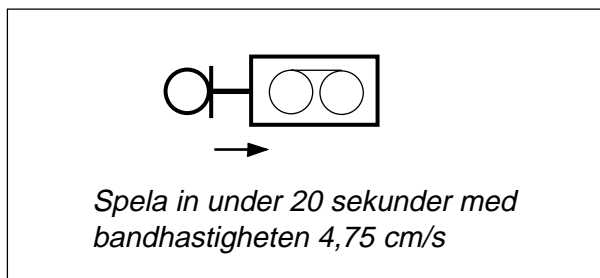
Jag pratade i 20 sekunder. Men med fyrdubbla bandhastigheten så spelas talet upp på 5 sekunder.

### Mottagaren spelar också in

I andra ändan av kabeln sitter också en bandspelare. Den spelar in signalen som kommer ur kabeln, och bandspelaren är inställd på bandhastigheten 19 cm/s.

### Backa bandet på den mottagande bandspelaren och spela upp

Nästa steg är att backa bandet på den mottagande bandspelaren och därefter spela upp med bandspelaren inställd på 4,75 cm/s. Vad hör vi? Jo, talet så som det ursprungligen lät. Hur lång tid låter det ur högtalaren? Uppspelningen tar 20 sekunder. Hur lång tid behövde vi använda kabeln för att överföra talet? Bara 5 sekunder.



### Fyra tidluckor

Vi har överfört 20 sekunders tal i en tidlucka på 5 sekunder. Med denna teknik har 20 sekunder delats in i fyra tidluckor om 5 sekunder. Vi kan överföra fyra olika samtal samtidigt, i var sin tidlucka.

### Större bandbredd

Finns ingen nackdel? Kan man överföra hur många samtal som helst genom att ha större skillnad mellan hastigheterna på sin bandspelare?

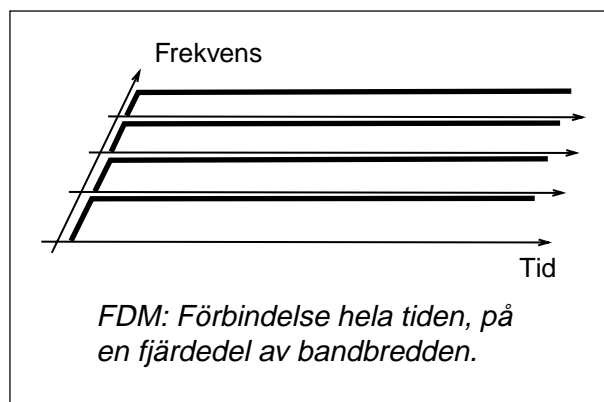
Har du lyssnat på tal som spelas upp i högre hastighet? Det låter "Kalle Anka". Med fyrdubbla hastigheten blir alla frekvenser i talet fyra gånger högre.

För att få "telefonkvalitet" så behöver man överföra talfrekvenser i området 300 – 3 400 Hz. Om denna signal spelas in och spelas upp med fyrdubbla hastigheten så hamnar alla frekvenser i området 1 200 – 13 600 Hz. Signalen behöver större bandbredd för att överföras. Signalen blir bredbandigare.

### FDM (Frequency Division Multiplex)

På en förbindelse (kabel, optokabel eller radioförbindelse) som klarar att överföra frekvensområdet 300 – 13 600 Hz kan vi antingen överföra fyra simultiga talsignaler genom att ge varje talsignal sitt eget frekvensområde: 300 – 3 400 Hz, 3 700 – 6 800 Hz, 7 100 – 10 200 Hz eller 10 500 – 13 600 Hz. Denna metod kallas FDM (Frequency Division Multiplex). Vi multiplexar flera signaler och delar på dem genom att ge varje signal ett eget frekvensområde.

oavsett vilken metod vi använder: Att dela på tiden eller att dela på frekvensspektrat.

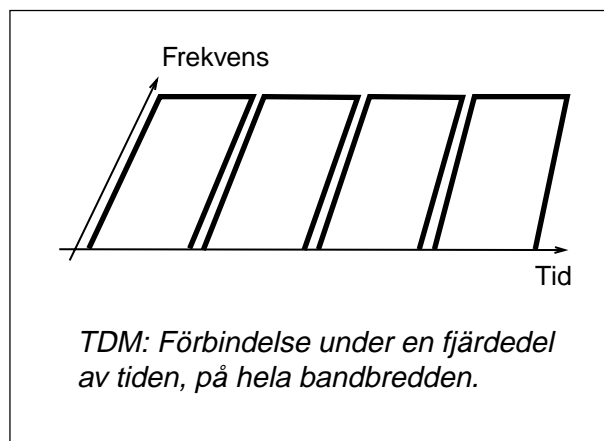


### TDM (Time Division Multiplex)

Den andra metoden att överföra de fyra talsignalerna samtidigt är att ge varje signal en egen tidlucka. Detta kallas TDM (Time Division Multiplex). Vi multiplexar flera signaler och delar på dem genom att ge varje signal en egen del av tiden, en tidlucka.

Även med denna metod behövs större bandbredd, exakt lika stor bandbredd som vid FDM.

Det går alltså inte att trola. Visst kan vi få in många simultiga talsignaler på en förbindelse, men förbindelsens bandbredd sätter en övre gräns. Gränsen blir densamma



### Bandspelaren är enkel om signalen är digital

Hur realiserar vi bandspelaren? Om tal-signalen är i digital form, så matar vi in databitarna i ett minne under 20 sekunder. Sedan hämtar vi databitarna ur minnet med fyra gånger så hög hastighet, på 5 sekunder. Bandspelaren är enkel om vi har digitala signaler.

### Fördröjning

Ett system med tidluckor ger alltid fördröjning. Först måste vi spela in, sedan backa, och därefter spela upp med högre hastighet. Signalen matas ut på förbindelsen med en fördröjning som är lika med inspelningstiden.

### Inspelningstiden = TDMA-ramen

Inspelningstiden är den tid som delas upp i tidluckor. Denna tid kallas TDMA-ramen (Time Division Multiplex), men vi kommer bara att studera system där tidluckorna utnyttjas för att låta flera få tillgång (Access) till kommunikationskanalen. Därför talar vi om TDMA-ram.

### Uppspelningstiden = tidluckan

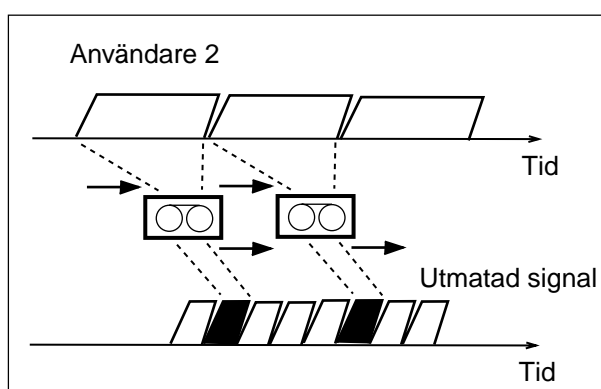
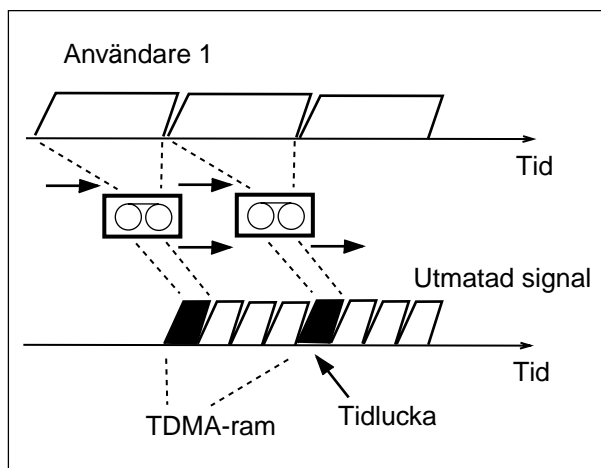
Förhållandet mellan inspelningstiden och uppspelningstiden ger antalet tidluckor på en TDMA-ram.

### Tal i båda riktningarna, duplex

Ett telefonsamtal innebär att tal skall flyta i båda riktningarna samtidigt. I fasta telenätet används två kablar, en i vardera riktningen, utom i accessnätet hem till abonnenten där man kan skilja på de båda transmissionsriktningarna med en bryggkoppling.

Vid radiokommunikation behövs antingen två frekvensband, ett frekvensband i ena riktningen (upplänken, 890 – 915 MHz vid GSM 900), ett annat frekvensband i andra riktningen (nedlänken, 935 – 960 MHz vid GSM 900). Att dela på frekvensutrymmet för de båda transmissionsriktningarna kallas FDD (Frequency Division Duplex).

Man kan även byta riktning, använda olika tidluckor på samma frekvenskanal för de båda riktningarna. Detta kallas TDD (Time Division Duplex), och utnyttjas av DECT-telefonerna.





**Kort inspelningstid ger låg fördröjning**

I fasta telenätet vill man ha låg fördröjning. Varför? Jo, dels vill man inte att samtalen skall låta som satellitförbindelser. Rytmen i en konversation störs vid långa fördröjningar.

Men det finns ytterligare en orsak. Hem till abonnenterna i fasta telenätet går både inkommande och utgående signal på samma ledning. Det går inte att helt undvika att en del av den inkommande signalen reflekteras och går tillbaka som utgående signal, dvs. talet kommer tillbaka till den som talar. Om detta tal som kommer tillbaka är fördröjt mer än 50 millisekunder, så är det störande för talaren. Man hör ett eko av sitt eget tal.

Detta eko kan "tas bort" med en ekosläckare. Men ekosläckare är dyra. Därför vill man klara sig utan ekosläckare. Den maximala fördröjningen på en förbindelse utan ekosläckare är alltså 25 millisekunder. Ekot går ju fram och tillbaka.

Från norr till söder är Sverige ungefär 200 mil. På kablar går signalen med ljushastigheten i kabeln som är ca 200 000 km/s. Kabeln ger alltså en fördröjning på ca 10 millisekunder. Digitala kretsar ger fördröjning. AXE-stationerna längs sträckan bidrar därför med ytterligare ca 10 millisekunders fördröjning. Omvandlingen från analog till digital signal tar tid. Man vill minimera denna tid, och har därför gjort TDMA-ramen så kort som det bara är möjligt.

**PCM-kodning, 64 kbit/s**

I telenätet används vågformskodning. Man går in och mäter talsignalens amplitud med jämna mellanrum (sampling) och översätter spänningsamplituden till ett dataord på åtta databitar.

Talsignalen är filtrerad så att den inte innehåller frekvenser över 4 kHz. Då räcker det att mäta talsignalens amplitud 8 000 ggr per sekund för att kunna återskapa den analoga talsignalen i mottagarändan.

Mätning 8 000 ggr per sekund innebär att det blir 125  $\mu$ s mellan varje mätvärde. Man gjorde TDMA-ramen 125  $\mu$ s och mätvärdet som skall sparas i bandspelaren består av åtta databitar.

Totala antalet databitar för en talkanal blir alltså 8 000 mätvärden om åtta databitar per sekund, alltså 64 000 bit/s, eller 64 kbit/s.

## 11.2 Tidluckor i fasta telenäten

I fasta telenätet är TDMA-ramen alltså 125  $\mu$ s lång.

### 2 Mbit/s

Om vi vill överföra 32 tidluckor på denna TDMA-ram så blir varje tidlucka 125/32  $\mu$ s lång. Varje tidlucka skall överföra åtta databitar, som överförs som åtta symboler, en databit per symbol. Varje symbol blir 125/(8\*32)  $\mu$ s lång, och vi får plats med 256 000 000/125 symboler per sekund, eller 2,048 Msymb/s. Vi kallar detta för en 2 Mbit/s-förbindelse, eftersom symbolerna klarar att överföra 2 048 000 bit per sekund.

### Alla databitar (symboler) ligger i en lång rad

På en sådan 2 Mbit/s-förbindelse ligger alla symboler i en enda lång rad. Hur hittar jag min tidlucka, mitt telefonsamtal?

### Tidluckorna (TS, Time Slot) är numrerade, från TS0 till TS31

För att kunna identifiera när TDMA-ramen börjar, dvs. vilken tidlucka som är TS0, så reserveras TS0 för synkronisering. I TS0 sänds ett bestämt ord X0011011 som alltid återkommer varannan gång TS0 återkommer. Gångerna däremellan används TS0 för felmeddelanden (larm).

Mottagaren måste alltså sätta sig och lyssna efter ordet X0011011, och sedan vänta 246  $\mu$ s och se om samma ord upprepas. I så fall har mottagaren med stor sannolikhet hittat ramlåsordet. Nu kan mottagaren börja räkna, 8 symboler för varje tidlucka, tills den kommer till önskad tidlucka.

Mottagaren avläser 8 symboler, bildar åttabitsordet och återskapar tal under 125  $\mu$ s, hoppar över 248 symboler, läser nästa 8 symboler osv.

### 2 Mbit/s CCITT-standard

2 Mbit/s-tekniken är utvecklad för användning i telefonnätet. Där behöver man både trafikkanaler och signaleringskanaler. Standard är att TS0 används för ramsynkronisering, och att TS16 används som gemen-

sam signaleringskanal. Vi får alltså 30 tidluckor som används som trafikkanaler.

### Amerikanskt 1,5 Mbit/s-system (T1)

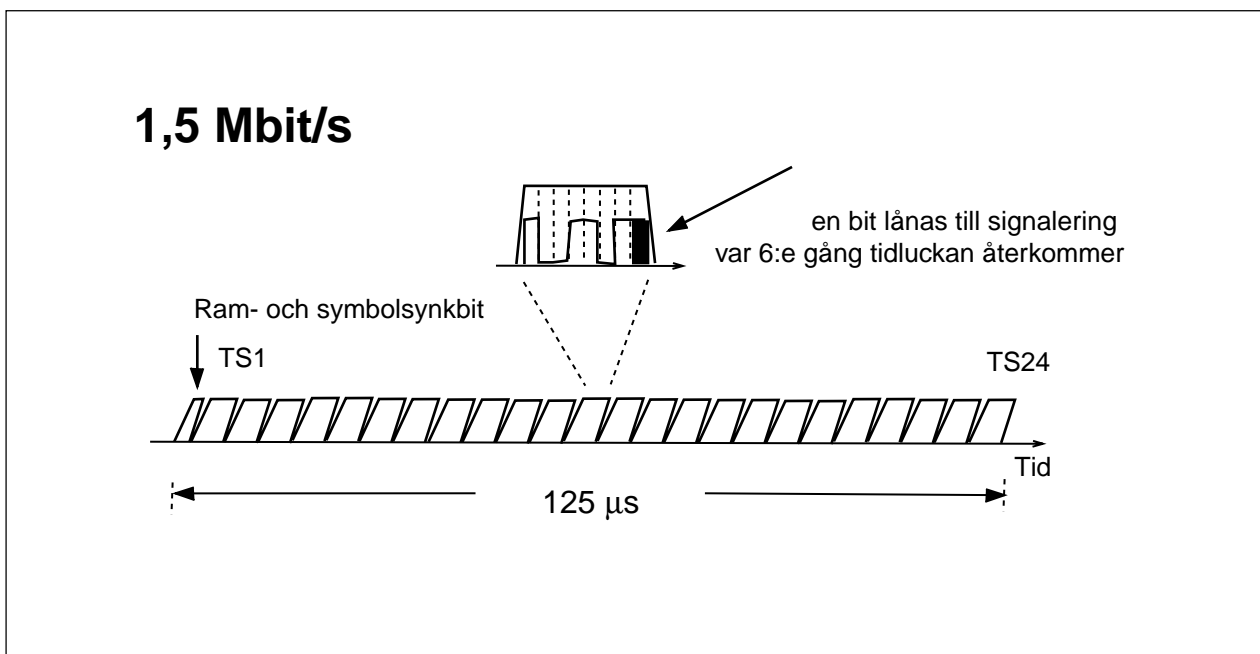
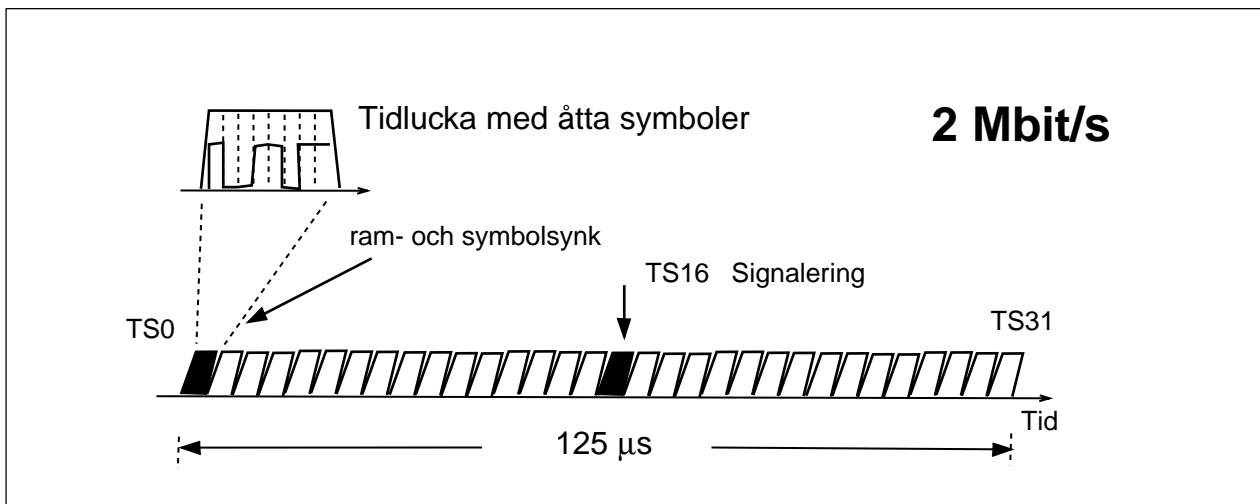
I accessnätet, sträckan från telefonstationen hem till abonnenten, har varje abonnent sin egen kopparkabel. Med 40 000 abonnenter anslutna till samma telefonstation så blir det trångt i de kulvertar där kablarna är dragna. Därför sökte man efter teknik att kunna ansluta flera abonnenter via samma ledning.

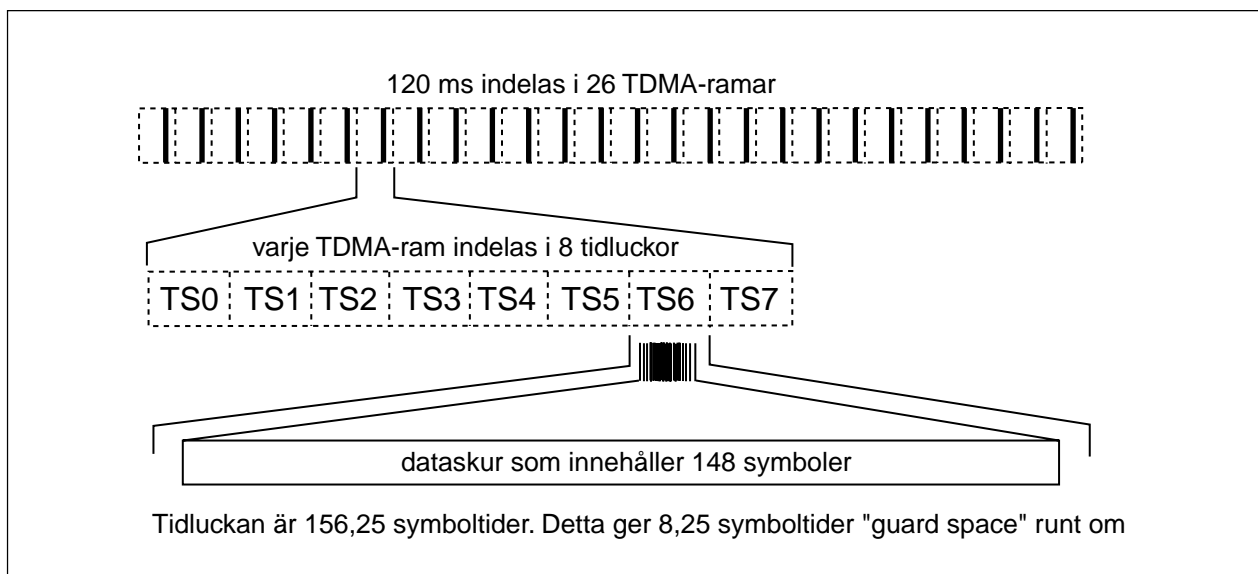
I mitten av 1960-talet hade transistortekniken utvecklats så att det blev möjligt att bygga tidsdelade system, och man valde att digitalisera talet för att förenkla elektroniken.

På den tiden gick transistorerna inte så högt i frekvens. Man klarade att bygga digitala system för överföring av 1,5 Mbit/s. Därför specificerades i USA ett system som delade in 125  $\mu$ s i 24 tidluckor + en databit (inte en hel tidlucka) för ramsynkronisering. Detta innebar en total symbolhastighet av 1 544 ksymb/s, och systemen kallas 1,5 Mbit/s-system.

1,5 Mbit/s-systemen har inte någon tidlucka som signaleringskanal. Alla 24 tidluckorna (numrerade TS1 – TS24) är trafikkanaler. Men för att skapa en signaleringskanal så "lånar" man en databit av de åtta databitar som finns i varje tidlucka, men den lånas bara var 6:e gång tidluckan återkommer. Detta lån av den minst signifikanta databiten i PCM-kodat tal ger ingen hörbar försämring av uppfattbarheten. Det påverkar heller inte kommunikation med 33,6 kbit/s-modem. Men eftersom bara 7 databitar av 8 kan garanteras vara rätt så klarar 56 kbit/s-modemen bara 56 kbit/s, inte 64 kbit/s som skulle varit fallet utan detta lån av en databit.

Vid ISDN begär man önskad teletjänst, talöverföring eller dataöverföring. När man begär 64 kbit/s för dataöverföring så får sådant lån av en databit inte förekomma.





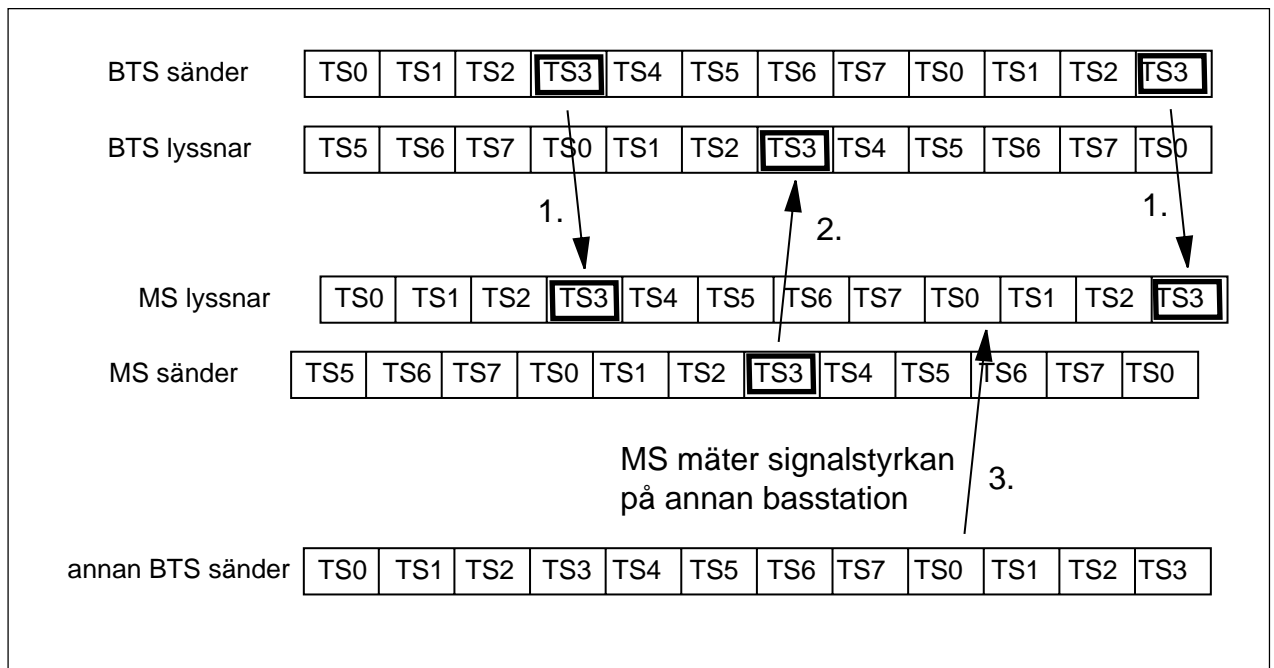
### 11.3 Tidluckor i GSM

TDMA-ramarna och tidluckorna i GSM utgår från att det skall vara 26 TDMA-ramar på 120 ms och 8 tidluckor i varje TDMA-ram.

- TDMA-ramen blir  $\frac{120 \text{ ms}}{26} \approx 4,615 \text{ ms}$
- Tidluckan blir  $\frac{120 \text{ ms}}{26 \cdot 8} \approx 0,577 \text{ ms}$
- GSM sänder med symbolhastigheten  $270 \frac{5}{6} \text{ ksymb / s}$
- Varje symbol överför en databit.
- Varje tidlucka rymmer 156,25 symboler.

När ficktelefonen sänder måste den passa in sin dataskur i tidluckan. För att ge lite marginal vid inpassningen och extra tid för sändaren att starta, komma upp i full effekt, och stoppa, så är dataskuren bara 148 symboler lång. Mellan varje dataskur finns alltså en "skyddslucka" (guard space) som är 8,25 symboler lång.

Varje dataskur innehåller alltså maximalt 148 databitar, eftersom varje symbol överför en databit.



## 11.4 Fördelen med tidluckor

### Fler samtal per basstationssändare och basstationsradiomottagare

Ett av grundkraven för GSM var att kostnaden för mobilnätet skulle bli lägre än för första generationens mobilnät, G1.

När man lägger samtalen i tidluckor kan man minska på antalet basstationssändare och basstationsradiomottagare. Vid GSM klarar man sig alltså med åtta gånger färre TRX än vid NMT.

### Ficktelefonen sänder inte och lyssnar samtidigt

Ett annat krav var att ficktelefonerna skulle kunna bli billigare.

I ett tidluckebaserat system behöver inte ficktelefonen sända och ta emot samtidigt, så som är fallet vid ett analogt system som NMT. För att ficktelefonen skall klara att lyssna på den svaga antensignalen samtidigt som den egna sändaren matar ut en kraftig signal på samma antenn, så måste signalerna för det första ha olika frekvens. Dessutom krävs ett mycket bra filter som hindrar den egna sändarsignalen att gå in i radiomottagaren. Filter är mekanik. Mekanik tar utrymme, väger och är dyra att tillverka, allting sådant man vill undvika i fick-

telefonen.

GSM har förskjutit tidluckenumreringen tre tidluckor, så att ficktelefonen sänder tre tidluckor senare, trots att tidluckorna har samma nummer.

### MAHO (Mobile Assisted Handover)

Titta på bilden ovan. Först tar ficktelefonen emot TS3 från den egna basstationen (1). Därefter byter ficktelefonen till sin sändarfrequens och sänder på TS3 (2). Men därefter finns gott om tid innan ficktelefonen åter skall lyssna på den egna basstationen.

Vad gör ficktelefonen under denna tid? Jo, den byter frekvens och mäter signalstyrkan på någon annan basstation (3). När ficktelefonen mätt färdigt byter den till egna basstationens sändarfrequens och är beredd att åter lyssna på TS3.

Att lyssna på andra närliggande basstationer i andra celler och meddela mätvärdena till BSC kallas MAHO (Mobile Assisted Handover). Ficktelefonen hjälper GSM-nätet att utföra handover, dvs. byta till annan cell under pågående samtal.

## 11.5 Timing Advance, TA

### Radiosignalen går med ljushastigheten

Titta på bilden. TS0 kommer fram lite senare till ficktelefonen. Hur mycket senare beror på avståndet till basstationen. Men ficktelefonen vet inte hur långt bort den befinner sig.

### Anropsskuren (RACH) är kortare

När ficktelefonen skall anropa basstationen, för att meddela att den är påslagen, för att svara på inkommande samtal (paging), för att tala om att den bytt LA, för att du vill ringa, för att tala om att den håller på att stängas av, så skickar ficktelefonen en speciell data-skur på TRX1/TS0 som inte är 148 symboler lång, utan bara består av 88 symboler. Detta för att ficktelefonens anrop inte skall "glida in" och störa den kommunikation som pågår i TS1.

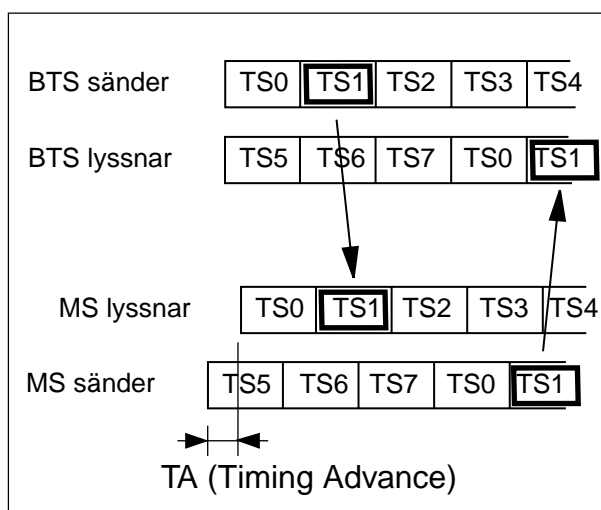
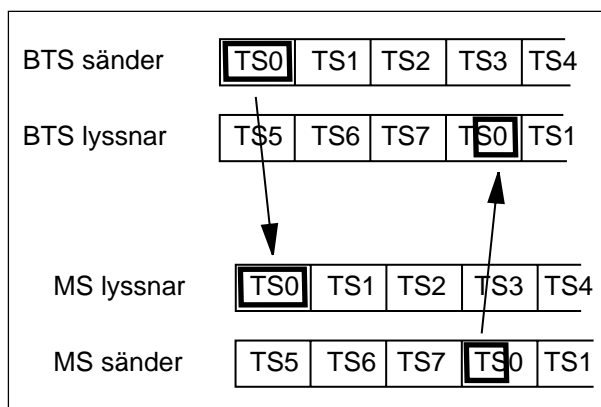
### Timing Advance (TA)

När basstationen hör ficktelefonens anropsskur så mäter den tidsfördröjningen. I svaret till ficktelefonen (AGCH) beordrar basstationen ficktelefonen att gå till en signaleringskanal (SDCCH) i TS1, och meddelar samtidigt tidsfördröjningen genom att tala om hur många symboltider för tidigt ficktelefonen skall sända sina dataskurar för att de skall hamna rätt i basstationens tidluckemönster. Denna funktion kallas Time Alignment eller Timing Advance (TA) och kan anta värden från 0 till 63 symboltider, vilket maximalt motsvarar en sträcka på 70 km, fram och tillbaka.

### Längsta avstånd 35 km

Ficktelefonen klarar att justera sin sändningstid så att längsta avstånd till basstationen är 35 km, innan dataskuren glider in i nästa tidlucka.

GSM-systemet kan användas på längre avstånd om basstationen bara använder varannan tidlucka. Då gör det inget om ficktelefonens dataskur glider in i nästa tidlucka. Detta har utnyttjats av vissa GSM-operatörer t.ex. i samband med Gotland Runt-seglingarna för att möjliggöra att ficktelefonen an-



vänds på större avstånd än 35 km från land.

Det borde vara möjligt att dynamiskt tillåta större avstånd än 35 km under tider när trafikbeläggningen på basstationen är låg.

## 11.6 GSM-frekvenserna

### GSM 900

Frekvenskanalerna är 200 kHz breda och anges med ett nummer ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number) som för GSM 900 (P-GSM) ligger mellan 1 och 124. Observera att hela frekvenskanalen måste ligga innanför bandgränserna.

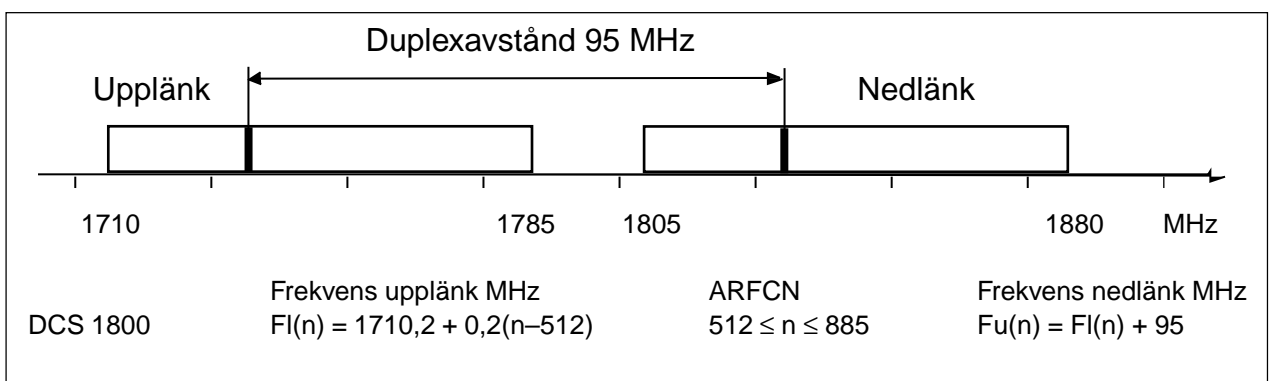
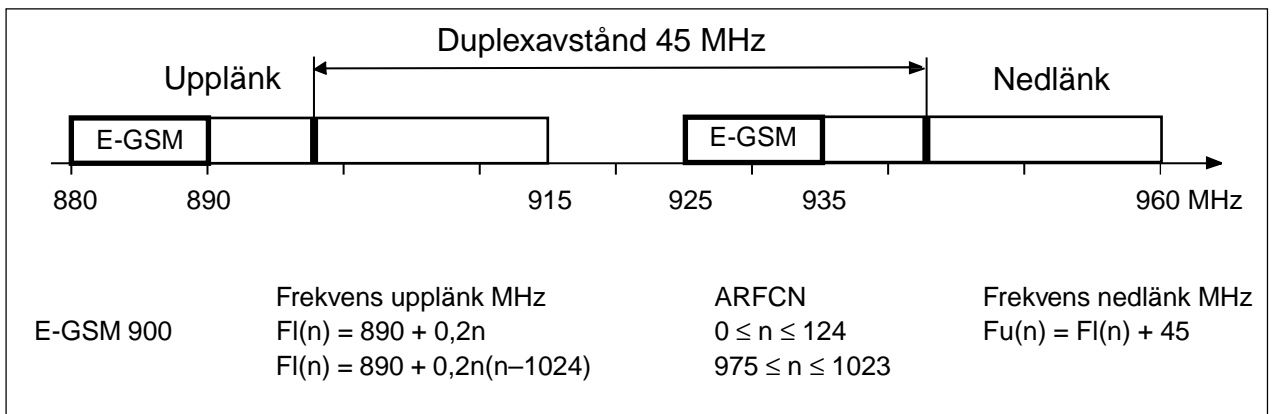
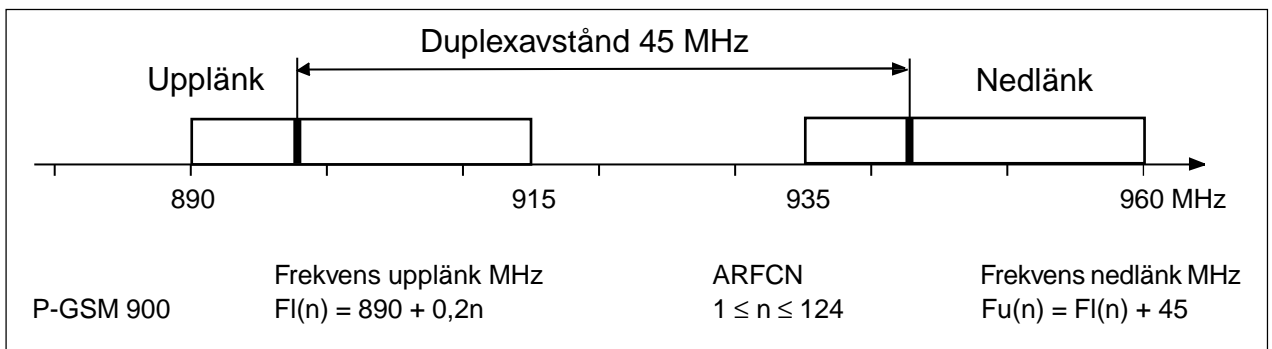
Sändar- och mottagarfrekvenserna följs åt och ligger alltid på duplexavståndet, i detta fall 45 MHz, från varandra. ARFCN = 3 innebär att ficktelefonen sänder på 890,6 MHz och att basstationen sänder på 935,6 MHz.

### E-GSM

E-GSM (Extended GSM) är en utvidgning av GSM 900 med 10 MHz nedåt i frekvens. Dessa kanaler numreras från 975 till 1023. Observera att vid E-GSM så finns  $n=0$ .

### DCS 1800 (GSM 1800)

På 1800 MHz-bandet är duplexavståndet 95 MHz. Dessa kanaler numreras från 512 till 885. Kanalnumren är valda så att numret både refererar till exakt kanalfrekvens och frekvensbandet 900 MHz, 1800 MHz eller E-GSM.



## 11.7 Flera sändare/mottagare (TRX) på varje basstation

Mellan basstationen och ficktelefonen finns både trafiktidluckor och signaleringstidluckor. Om basstationen innehåller flera sändare/mottagare (TRX) riktade ut över samma cell för att få fler trafikkanaler, så räcker det att signaleringstidluckorna finns på en eller två av dessa TRX:er.

- Om basstationen innehåller bara en TRX så avsätts tidlucka 0 (TS0) för signalering. Tidluckorna 1 – 7 (TS1 – TS7) utnyttjas som trafikkanaler, alltså max 7 samtidiga samtal.
- Om basstationen innehåller två TRX:er så avsätter man två tidluckor för signalering.
- Om basstationen innehåller ännu fler TRX:er kan ytterligare en signaleringstidlucka behövas.

### ”Base Channel”, TRX1

För att ficktelefonen skall kunna hitta och identifiera en basstation så måste en av basstationens sändare innehålla en signaleringstidlucka C1 med uppgifter om basstationen.

GSM utnyttjar frekvenshopp vilket innebär att basstationen och ficktelefonen ”hoppar”, byter frekvens mellan varje TDMA-ram. Antingen kan TRX:en byta frekvens, eller också kan tidluckan hoppa mellan olika TRX:er. Men ficktelefonen måste känna hoppmönstret. Uppgift om detta finns i signaleringstidluckan C1. Därför får TRX1

inte hoppa i frekvens.

Normalt sänder basstationen bara i tidluckor som används. Finns inga samtal uppkopplade så är TRX:en tyst på dessa tidluckor. Men ficktelefonen kan inte hitta TRX1 om den är tyst. Därför måste TRX1 alltid sända i alla tidluckor. När ingen information finns så skickar TRX1 ”dummy-skurar”.

TRX1 går ibland under benämningen ”Base Channel” som syftar på frekvenskanalen. Vi kommer att tala om tidluckornas indelning i logiska kanaler. Tänk på att ordet kanal eller Channel används i flera olika betydelser.

### C1

I tidlucka 0 (TS0) på TRX1 finns alltid speciell signaleringsinformation. På TS0 sänder basstationen synkronisering, uppgift om GSM-operatör, Location Area LA, samt anrop vid inkommande samtal (paging). Även ficktelefonen anropar basen på TS0.

### C2 och C3

C2 och C3 är ytterligare signaleringstidluckor. Dessa signaleringstidluckor kan ligga på vilken TRX som helst, i vilken tidlucka som helst, förutom TS0 på TRX1, som alltid innehåller den speciella signaleringsinformationen.

De extra signaleringstidluckorna används för normal signaleringstrafik, dvs. vid

	GSM tidluckor							
	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
TRX1	C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5	T6
TRX2	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
TRX3	C3	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
TRX4	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29
TRX5	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37



samtalsuppkopplingar. Dessutom skickas SMS på dessa tidluckor om ficktelefonen inte ligger i samtal. Vid samtal är ficktelefonen uppkopplad på en trafiktidlucka. Kommer ett SMS under pågående samtal så skickas SMS i signaleringskanalen på denna trafiktidlucka.

Antalet extra signaleringstidluckor på en basstation beror i hög grad på mängden SMS i nätet.

### Tidluckor och logiska kanaler

Tidluckorna används inte på samma sätt i varje TDMA-ram utan typen av information skiljer. Därför är tidluckorna underindelade i logiska kanaler beroende på typ av information.

#### 51-multiframe

Signaleringstidluckorna C1, C2 och C3 är underindelade i ett mönster som upprepas efter 51 TDMA-ramar.

#### 26-multiframe

De tidluckor som används som trafiktidluckor underindelas i ett mönster som upprepas efter 26 TDMA-ramar.

### Varför?

Genom att ha olika periodicitet så kommer signaleringstidluckorna och trafiktidluckorna att "glida" i förhållande till varandra. När ficktelefonen ligger i samtal och går över för att mäta signalstyrkan på andra basstationer så innebär det glidande mönstret att ficktelefonen har chans att då och då hitta just den tidlucka (SCH) där basstationen identifierar sig.

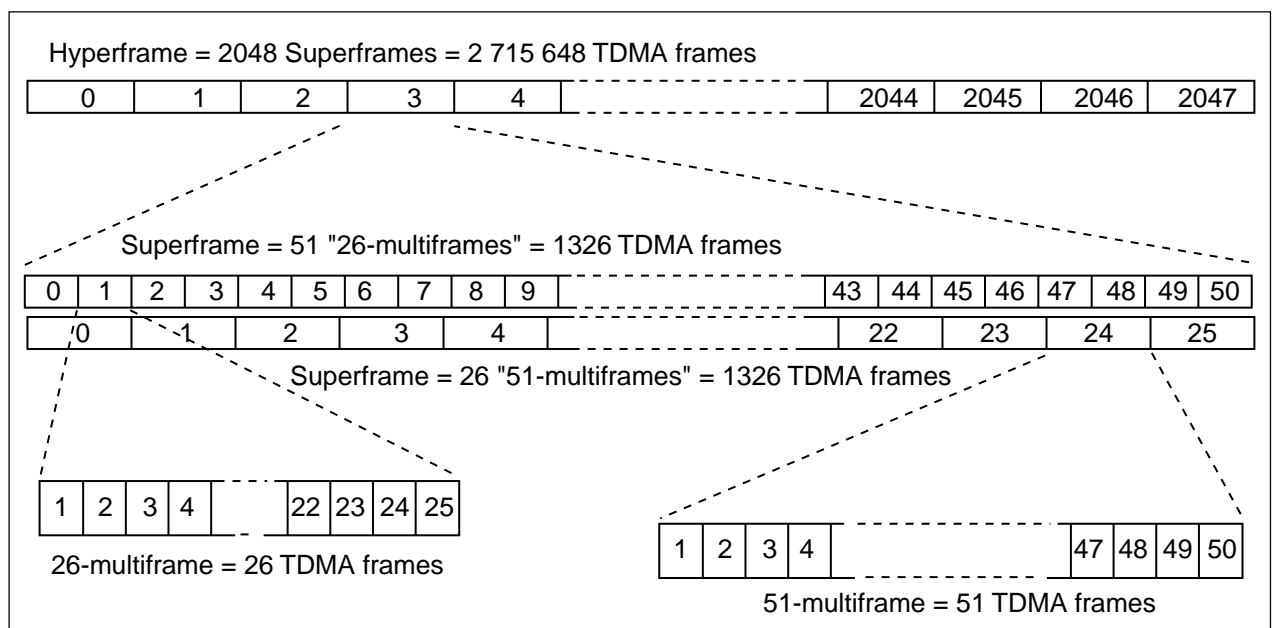
### Superramar

För att skapa ordning så bildar man en Superframe av 26 st 51-multiramar respektive 51 st 26-multiramar. En superram innehåller totalt 1326 TDMA-ramar.

### Hyperram

Av 2048 superramar bildar man en Hyperframe som totalt innehåller 2 715 648 TDMA-ramar. TDMA-ramarna är numrerade, TDMA frame number, från 0 till 2715647. Det tar nästan 3 tim 29 min att genomköpa en hyperram.

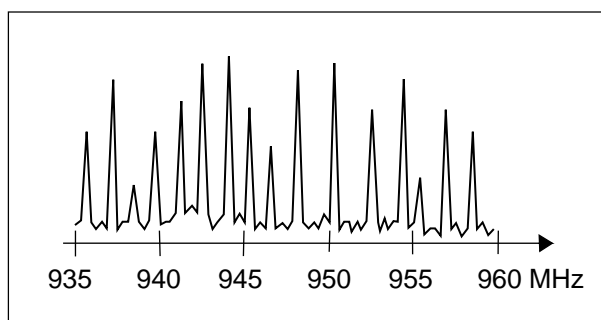
TDMA frame number används vid krypteringen.



## 11.8 När man slår på sin ficktelefon

När ficktelefonen slås på så letar den efter basstationssändare. Den ändrar långsamt mottagarfrekvensen från 935 – 960 MHz, och varje gång mottagaren tar emot en signal så sparar mottagaren frekvens och signalstyrka i minnet.

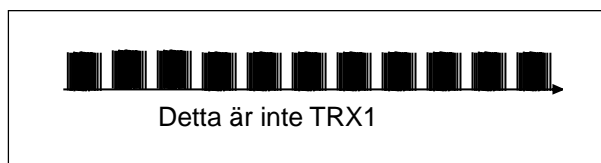
När ficktelefonen avsökt hela frekvensbandet går den tillbaka till den signal som var starkast. Vad hör ficktelefonen?



Vi antar att ficktelefonen hör en GSM-sändare. Andra sändare har inget i detta frekvensområde att göra. Ficktelefonen hör en enda lång rad av symboler.

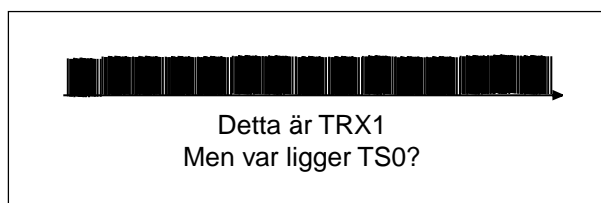
### Symbolerna kan vara grupperade i dataskurar (bursts)

Symbolerna kan vara grupperade i dataskurar bestående av 148 symboler med ungefär 8 symboltidens mellanrum. Men i så fall är detta inte TRX1, utan en TRX med högre nummer. Bara att gå till nästa frekvens.



### TRX1: Symbolerna kommer utan mellanrum

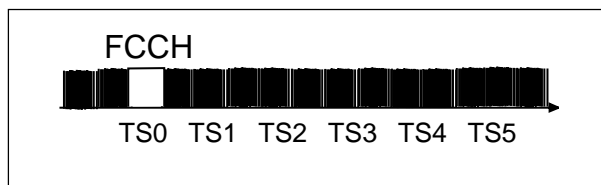
TRX1 sänder symboler hela tiden, även i skyddsluckan (guard space) mellan dataskurarna. Men hur hittar vi TS0? Hur får vi reda på när tidluckorna börjar och slutar? Allt är en enda sammanhängande sträng av symboler.



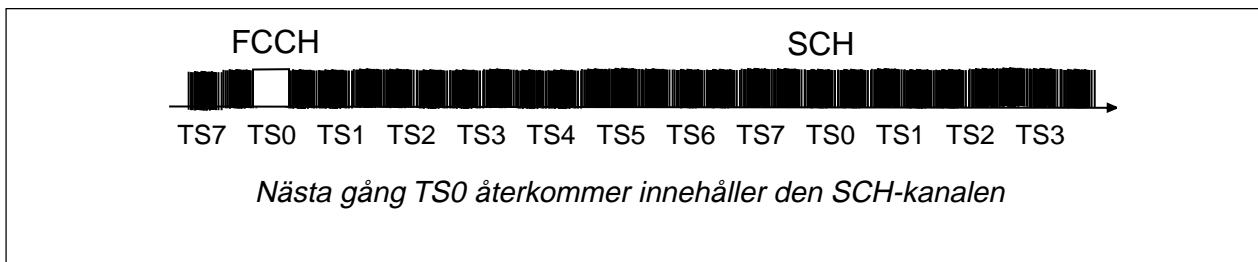
- **FCCH (Frequency Correction Channel)**

På TRX1 har TS0 ett speciellt utseende ungefär var 10:e gång den återkommer. Då består dataskuren av 148 "nollor" och kallas FCCH.

När GSM-sändaren moduleras med 148 st "nollor", varje databit är alltid samma som föregående under en hel dataskur, så lägger sig GSM-sändaren på en konstant frekvens som är 67,70833... kHz över nominell kanalfrekvens under hela dataskuren. Denna dataskur är lätt att hitta, och då vet ficktelefonen hur tidluckorna ligger i tiden. Dessutom utnyttjar ficktelefonen den kon-



stanta frekvensen för att justera sin egen frekvensinställning. Både frekvenssynkronisering och tidssynkronisering på tidluckenivå får man från FCCH-kanalen.



- **SCH (Synchronisation Channel)**

Nästa gång TRX1/TS0 återkommer så innehåller tidluckan SCH (Synchronisation Channel), synkroniseringskanalen. Här finns bl.a. GSM-nätets identitet och TDMA ramnummer (från 0 till 2 715 647). Med hjälp av ramnumret kan ficktelefonen räkna ut vilken information som sänds nästa gång TS0 återkommer. Synkroniseringskanalen synkroniserar alltså i hyperramen.

Om ficktelefonen upptäcker att den lyssnar på fel GSM-operatör, då är det bara att fortsätta leta på nästa frekvens.

- **BCCH (Broadcast Control Channel)**

Fyra gånger av 51 finns på TRX1/TS0 information om Location Area (LA) och den högsta sändareffekt ficktelefonen får använda. Här finns även uppgifter om frekvenshopp och frekvenser för övriga TRX:er på basstationen, samt frekvenser för närliggande celler. Ficktelefonen använder TDMA-ramnumret för att räkna ut när TS0 innehåller BCCH-information.

## 11.9 TRX1 — nedlänk

Tabellen på nästa sida visar TDMA-ramarna 969 – 1021. Tidluckan 0, TS0, är i detta fall signaleringstidluckan C1, och tidlucka 1, TS1, är signaleringstidluckan C2. Dessa båda tidluckor är indelade i 51-multiramar. Övriga tidluckor, TS2 – TS7 används som trafiktidluckor och är indelade i 26-multiramar, som löper ”om lott”.

### TRX1/TS0 — nedlänk

Nederst på sidan har de 51 tidluckorna som tillhör TS0 i en 51-multiram prockats ut och ritats horisontellt.

### BCH, Broadcast Channels (FCCH, SCH, BCCH)

Broadcast Channels är ett sammanfattande namn på FCCH, SCH och BCCH. Dessa kanaler sänder information som är riktad till alla ficktelefoner och har beskrivits på föregående sida.

- FCCH (Frequency Correction Channel)
- SCH (Synchronisation Channel)
- BCCH (Broadcast Control Channel)

### CCCH, Common Control Channels (PCH, RACH, AGCH)

Common Control Channels är samlingsnamn på anropskanaler, som används av ficktelefonerna och basstationen innan kontakt är upprättad.

### • PCH (Paging Channel)

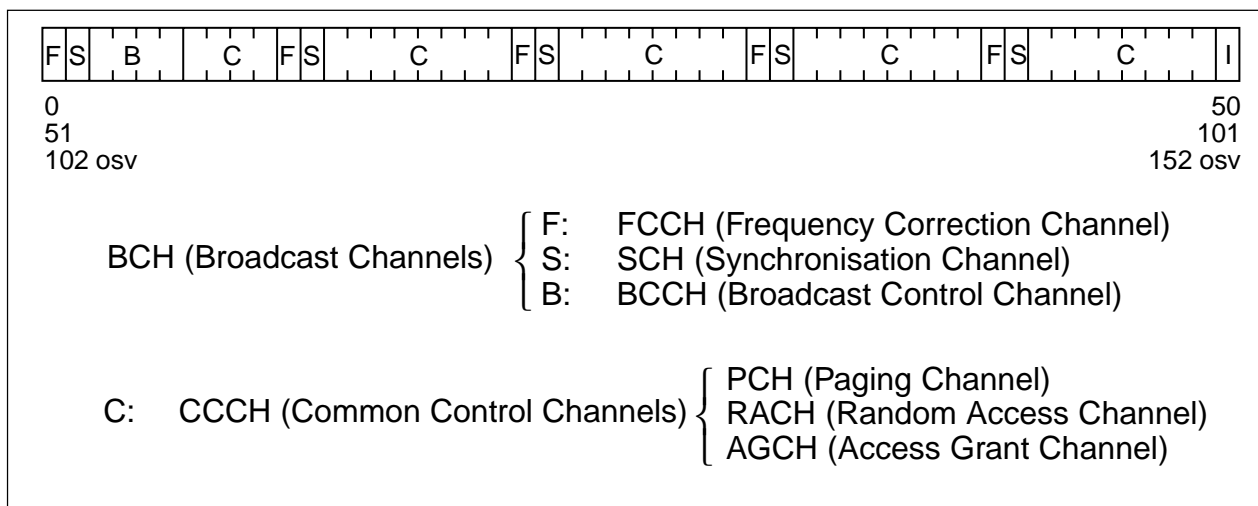
De tidluckor som markerats med C, Common Control Channels, används av basstationen för paging-kanalen PCH (Paging Channel), som är ”ringsignaler” till de ficktelefoner som får inkommande samtal.

En ficktelefon som ”anmält” sig, loggat in på GSM-nätet, lyssnar på PCH. Beroende på vilken IMSI-grupp ficktelefonen tillhör så kan en viss ficktelefon bara få PCH-anrop i vissa TDMA-ramar. I alla andra TDMA-ramar kan ficktelefonen ”sova” och spara på batteriet.

### • RACH (Random Access Channel)

En ficktelefon som får ringsignal på PCH-kanalen besvarar basstationens anrop på upplänk-frekvensen, i tidlucka 0 i vilken TDMA-ram som helst. Om du tittar på motsvarande tabell för upplänken så ser du att hela TL0 är fylld med R, Random Access Channel (RACH). Basstationen lyssnar alltid. Ficktelefonen kan skrika när som helst (random).

- Ficktelefonen anropar basstationen när den sätts på.
- Ficktelefonen anropar basstationen när du kommer in i nytt LA (Location Area).
- Ficktelefonen anropar basstationen om du vill koppla upp ett samtal från ficktelefonen.
- Ficktelefonen besvarar basstationens anrop.
- Ficktelefonen anropar basstationen när den stängs av.



• **AGCH (Access Grant Channel)**

När ficktelefonen anropat basstationen på RACH så svarar basstationen i någon TDMA-ram där tidlucka 0 används för Common Control Channels. Detta svar till ficktelefonen har fått ett eget namn, (AGCH Access Grant Channel, "anslutning beviljas").

AGCH innehåller ett värde på Timing Advance (TA) så att ficktelefonen kan börja sända "full-längds"-dataskurar.

Dessutom innehåller AGCH ett kommando till ficktelefonen att byta till den speciella signaleringstidluckan C2 eller C3, där ficktelefonen och basstationen skall fortsätta att prata på en av de åtta speciella SDCCH-kanalerna.

*Tabellen nedan är från en annan basstation, men samma GSM-operatör. TDMA-ramarna är synkroniserade (de behöver inte vara synkroniserade)*

TDMA frame	TS0	TS1	...
998	C	D <sub>7</sub>	...
999	F	D <sub>7</sub>	...
1000	S	D <sub>7</sub>	...
1001	C	A <sub>0</sub>	...
1002	C	A <sub>0</sub>	...
1003	C	A <sub>0</sub>	...

*Den ficktelefon som ligger på TRX1/TS3 med uppkopplad trafikförbindelse är "ledig" de TDMA-ramar som är märkta I ("idle"). I dessa tidluckor sänder basstationen antingen "dummy-frames" (TRX1) eller är tyst (ficktelefoner och andra TRX:er än TRX1 är tysta på tidluckor märkta "I").*

*På grund av att 51- och 26-multiram-mönstren "glider" kan ficktelefonen ibland hitta den andra basstationens SCH-kanal för att avläsa basstationsidentiteten.*

TDMA frame	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
969	F	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
970	S	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
971	B	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
972	B	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
973	B	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
974	B	D <sub>1</sub>	A	I	A	I	A	I
975	C	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
976	C	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
977	C	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
978	C	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
979	F	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
980	S	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
981	C	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
982	C	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
983	C	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
984	C	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
985	C	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
986	C	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
987	C	D <sub>4</sub>	I	A	I	A	I	A
988	C	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
989	F	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
990	S	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
991	C	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
992	C	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
993	C	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
994	C	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
995	C	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
996	C	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
997	C	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
998	C	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
999	F	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
1000	S	D <sub>7</sub>	A	I	A	I	A	I
1001	C	A <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
1002	C	A <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
1003	C	A <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
1004	C	A <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
1005	C	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
1006	C	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
1007	C	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
1008	C	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
1009	F	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
1010	S	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
1011	C	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
1012	C	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
1013	C	A <sub>3</sub>	I	A	I	A	I	A
1014	C	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
1015	C	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
1016	C	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
1017	C	I	T	T	T	T	T	T
1018	C	I	T	T	T	T	T	T
1019	I	I	T	T	T	T	T	T
1020	F	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
1021	S	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T

## 11.10 TRX1 — upplänk

Tabellen visar TDMA-ramarna 969 – 1021 när ficktelefonen sänder och basstationen lyssnar.

Lägg märke till att TL0 i alla TDMA-ramar är reserverad för RACH (Random Access Control Chanel). Ficktelefonen kan anropa när som helst, så länge som det sker i TS0.

Om anrop från två ficktelefoner kolliderar så får de inga svar från basstationen. Då anropar de igen, förhoppningsvis inte samtidigt.

TS1 används för de speciella signaleringskanalerna. Detta beskrivs längre fram.

TDMA frame	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
969	R	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
970	R	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
971	R	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
972	R	A <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
973	R	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
974	R	A <sub>2</sub>	A	I	A	I	A	I
975	R	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
976	R	A <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
977	R	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
978	R	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
979	R	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
980	R	A <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
981	R	I	T	T	T	T	T	T
982	R	I	T	T	T	T	T	T
983	R	I	T	T	T	T	T	T
984	R	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
985	R	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
986	R	D <sub>0</sub>	T	T	T	T	T	T
987	R	D <sub>0</sub>	I	A	I	A	I	A
988	R	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
989	R	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
990	R	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
991	R	D <sub>1</sub>	T	T	T	T	T	T
992	R	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
993	R	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
994	R	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
995	R	D <sub>2</sub>	T	T	T	T	T	T
996	R	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
997	R	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
998	R	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
999	R	D <sub>3</sub>	T	T	T	T	T	T
1000	R	D <sub>4</sub>	A	I	A	I	A	I
1001	R	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1002	R	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1003	R	D <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1004	R	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
1005	R	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
1006	R	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
1007	R	D <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
1008	R	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
1009	R	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
1010	R	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
1011	R	D <sub>6</sub>	T	T	T	T	T	T
1012	R	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
1013	R	D <sub>7</sub>	I	A	I	A	I	A
1014	R	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
1015	R	D <sub>7</sub>	T	T	T	T	T	T
1016	R	A <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1017	R	A <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1018	R	A <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1019	R	A <sub>4</sub>	T	T	T	T	T	T
1020	R	A <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T
1021	R	A <sub>5</sub>	T	T	T	T	T	T

## 11.11 Tidluckor som används för trafikförbindelser

- **TCH (Traffic Channel)**

TDMA-ramarna och tidluckorna i GSM är utformade så att det skall finnas 26 TDMA-ramar på 120 ms och 8 tidluckor i varje TDMA-ram. Varje dataskur klarar att överföra 57 + 57 bit.

Av 26 tidluckor i en 26-multiram så utnyttjas 24 för överföring av databitar som hör till trafikkanalen. Vad beträffar de två återstående tidluckorna så utnyttjas den ena som signaleringskanal, SACCH (Slow Associated Control Channel), medan den andra är tom, "idle" (I).

### Datablock om 456 bit

All kommunikation i GSM utgår från datablock om 456 bit. Dessa 456 bit fördelas på fyra dataskurar med 57 + 57 bit i varje, eller åtta dataskurar där man utnyttjar hälften, dvs. 57 bit ur varje dataskur. Den övriga halvan, övriga 57 bit, används av ett annat datablock om 456 bit. Att sprida ut 20 ms nyttobitar på åtta dataskurar (40 ms) ger bättre skydd mot bitfel på radiosträckan.

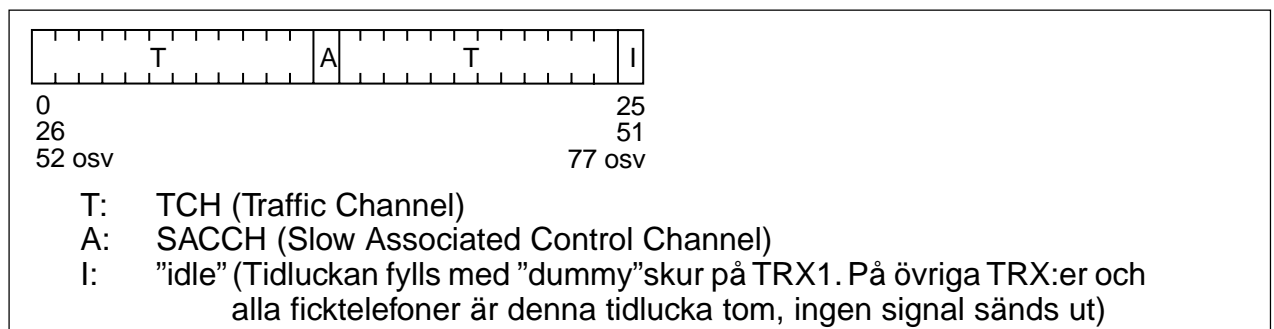
### 20 millisekunder skall in i 456 bit

All kommunikation i GSM innebär att användarens nyttoinformation under 20 ms skall få plats på 456 bit som överförs i fyra dataskurar, eller i åtta halva dataskurar. På detta sätt åtgår 24 tidluckor för själva trafikkanalen. Vad gör man under de två tidluckorna som återstår?

### "Idle" (I)

På lediga tidluckor skall ficktelefonen mäta signalstyrkan på andra basstationer. Normalt är ficktelefonen ledig bara under knappt en tidlucka för att mäta signalstyrkan på en annan bas. Tiden räcker för att mäta signalstyrkan, men inte för att hitta SCH-kanalen, som behövs för att identifiera vilken bas ficktelefonen mäter på. Om ficktelefonen är högt belägen kan den mycket väl mäta på en basstation på långt avstånd, som ligger på samma frekvens. Maxgränsen 35 km gäller inte vid signalstyrkemätning (man bara lyssnar).

I tidlucka I är ficktelefonen ledig. Därför kan ficktelefonen hålla på och mäta under en hel TDMA-ram. Genom att 51- och 26-multiramarna glider i förhållande till varandra så kommer SCH-kanalen att ibland dyka upp under denna lediga TDMA-ram.



## 11.12 De speciella signaleringskanalerna

### DCCH (Dedicated Control Channels) (SDCCH, FACCH, SACCH)

- **SDCCH (Stand alone Dedicated Control Channel)**

PSTN har sin signaleringskanal innan samtalet är uppkopplat. ISDN har sin signaleringskanal, en ständigt uppkopplad datakanal (D-kanalen, 16 kbit/s), där växeln lyssnar efter abonnentens önskemål.

GSM utnyttjar TRX1/TS0 som den ständigt uppkopplade signaleringskanalen när ficktelefonen är påslagen och "stand-by", beredd på inkommande eller utgående samtal. Men TRX1/TS0 delas av alla påslagna (påloggade) ficktelefoner i hela cellens täckningsområde. Kommunikationskapaciteten räcker bara för allmän information i BCH-kanalerna, och anrop när basen eller ficktelefonen vill ha en signaleringstidlucka.

När basen ber ficktelefonen (PCH) anropa och begära signaleringstidlucka (RACH), eller ficktelefonen självmant anropar basen för att begära signaleringstidlucka (RACH), så kommenderar basen (AGCH) ficktelefonen att gå till någon av de speciella signaleringstidluckorna (SDCCH).

Dessa signaleringstidluckor som kallas SDCCH (Stand alone Dedicated Control Channel), kan ligga på vilken tidlucka som helst. Som exempel har jag lagt SDCCH på TRX1/TS1 och TRX3/TS0. En liten basstation med bara en TRX kan få plats med SDCCH i tidlucka 0 och ha sju tidluckor som trafiktidluckor.

#### Åtta SDCCH-kanaler på en tidlucka

På en tidlucka får man plats med åtta SDCCH-kanaler. Varje kanal får fyra tidluckor i rad i en 51-multiram, sedan upprepas med fyra i nästa 51-multiram osv. tills signaleringskommunikationen är genomförd. I tabellerna över TRX1-nedlänk och TRX1-upplänk ser du att en viss signaleringskanal inte ligger i samma TDMA-ram i upplänk som i nedlänk. Detta för att ge betänketid. En fråga i nedlänk resulterar i ett svar i upplänk. Fick-

telefonen eller nätet kan behöva tänka.

Här följer några exempel när SDCCH kopplas upp. Detta är alltså riktiga uppkopplade GSM-samtal som du inte märker, såvida du inte hör störningar i t.ex. en free-style:

- När ficktelefonen slås på och du loggar in på GSM-nätet, gör IMSI attach, så utförs autentisering, kryptering, utväxling av IMSI/TMSI m.m. på en SDCCH-kanal. Samma sker när ficktelefonen stängs av, gör IMSI detach, även om det inte är lika mycket information som skall utväxlas.
- När ficktelefonen byter LA (Location Area) så kommuniceras via SDCCH.
- När ficktelefonen får SMS-meddelande och ingen trafikkanal (inget samtal) är uppkopplad skickas SMS via SDCCH.

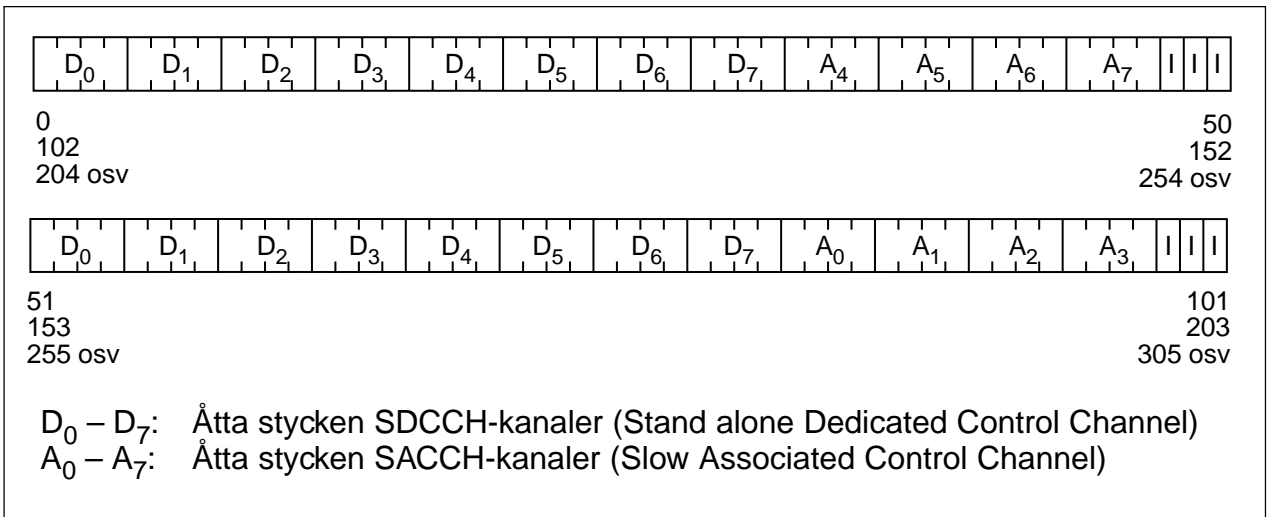
- **SACCH (Slow Associated Control Channel)**

Under pågående samtal, när en trafikkanal TCH är uppkopplad, eller när en signaleringskanal SDCCH är uppkopplad, så mäter ficktelefonen signalstyrkan på andra basstationer. Dessa mätvärden rapporteras till basstationen i en särskild signaleringskanal som fått namnet SACCH (Slow Associated Control Channel).

- Slow, långsam, därför att denna datakanal bara får tidlucka i var 26:e TDMA-ram.
- Associated, "i kombination med", därför att denna signaleringskanal bara finns tillsammans med TCH eller SDCCH.
- Control, kontroll, styrning, som är engelska benämningen på signalering.

På SACCH administreras radiokanalen. Där ges order om byte av cell under pågående uppkopplad förbindelse (handover), när man är i rörelse.





### SACCH + SDCCH

SACCH finns alltså i kombination med den speciella signaleringskanalen SDCCH, och är numrerad A<sub>0</sub> – A<sub>7</sub> så att man ser vilka tidluckor som hör till vilken signaleringskanal. SDCCH har fyra tidluckor i varje 51-multiram, medan SACCH har fyra tidluckor i varannan 51-multiram.

### SACCH + TCH

SACCH finns i kombination med TCH, där en tidlucka i varje 26-multiram utnyttjas för SACCH. Detta blir ungefär lika ofta som fyra tidluckor i varannan 51-multiram.

Om basstationen vill att det pågående samtalet skall kopplas över till annan basstation (handover), så ger basstationen direktiv till ficktelefonen på SACCH-kanalen.

Men SACCH är inte en renodlad kanal för administration av radiokanalen. SACCH är en generell signaleringskanal. Om du får SMS och inte har något samtal uppkopplat, så kommer basen och ficktelefonen att koppla upp en SDCCH-förbindelse utan att du märker det och föra över SMS-meddelandet. Men om du ligger i samtal med TCH uppkopplad, så utnyttjas restkapacitet i SACCH för överföring av SMS-meddelandet.

- **FACCH (Fast Associated Control Channel)**

När man måste byta cell under pågående samtal kan signaleringsbehovet bli så stort att kapaciteten i SACCH inte räcker. Då finns möjlighet att stjäla trafikkanalen TCH genom att sätta "stealing flag" = 1. TCH omvandlas till signaleringskanal och kallas FACCH (Fast Associated Control Channel), eftersom den ger högre sammanlagd överföringshastighet än enbart SACCH.

### Men vad händer med talet?

När FACCH stjälar kapacitet så tar den ett helt block om 456 bit, och vi förlorar 20 ms tal. GSM-mottagaren kommer då att upprepa ljudet i föregående 20 ms-block. Att på detta sätt "stamma" under 20 ms är knappt märkbart.

## 11.13 Dataskurar (bursts) i GSM

### Skyddslucka, GP (Guard Period)

Tidluckan i GSM är 0,577 ms bred, vilket motsvarar 156,25 datasymboler. Men dataskuren utnyttjar inte hela denna tid. Dataskurarna innehåller bara 148 symboler, utom RACH som bara innehåller 88 symboler. På detta sätt får man ett tomrum, en skyddslucka på 8,25 symboltider mellan dataskurarna.

Ficktelefonen justerar sin sändningstidpunkt, TA (Timing Advance) så att dataskuren skall centreras i basstationens tidlucka. Behöver man verkligen åtta symboltidens marginal?

- Dataskuren som kommer fram till basstationen, är den verkligen 148 symboler lång? På radiosträckan kan det bildas långa reflexer (ekon) som gått längre väg. GSM skall klara långa reflexer som är ända upp till 16 mikrosekunder, nästan fem symboltider fördröjda. Sådana ekon kommer att fylla nästan hela skyddsluckan. Utan skyddslucka skulle dessa ekon störa nästa tidlucka.

### Extra lång skyddslucka vid RACH

När ficktelefonen sänder sin anropsskur RACH så vet ficktelefonen inte hur långt det är till basstationen. Ficktelefonen kan inte ställa in något värde på Timing Advance, TA. Därför är skyddsluckan 68,25 symboltider för RACH, vilket räcker för avstånd upp till 35 km.

### Träningsssekvens

Alla dataskurar utom FCCH innehåller en grupp av symboler som utgör träningsssekvens. Dessa symboler utnyttjas för att radiomottagaren skall lära sig hur symbolerna ser ut när man har långa reflexer, intersymbolinterferens, databitar som går in i varandra. GSM skall klara långa reflexer (ekon) som är fördröjda ända upp till fem symboltider.

### Tail bits

Varje dataskur inleds och avslutas med tre svansbitar, tail bits (T), utom SCH som har åtta inledande tail bits.

När man har långa reflexer, symboler som går in i varandra, så ställer mottagaren in sig för att klara att detektera med reflexerna. Men de första symbolerna får inga reflexer. Genom att inleda med tre symboler kodade med databitarna "0" så får första verkliga datasymbolen samma intersymbolinterferens som övriga symboler.

Men varför tre på slutet. Jo, den sista verkliga datasymbolen kommer även att finnas i ytterligare några symboler, som ekon. Med tre avslutande symboler så får vi optimal detektering vid långa reflexer, för samtliga informationssymboler.

### • Normal burst

Den normala dataskuren består av två paket om 58 symboler med en träningssekvens på 26 symboler i mitten. I början och slutet finns tre tail bits.

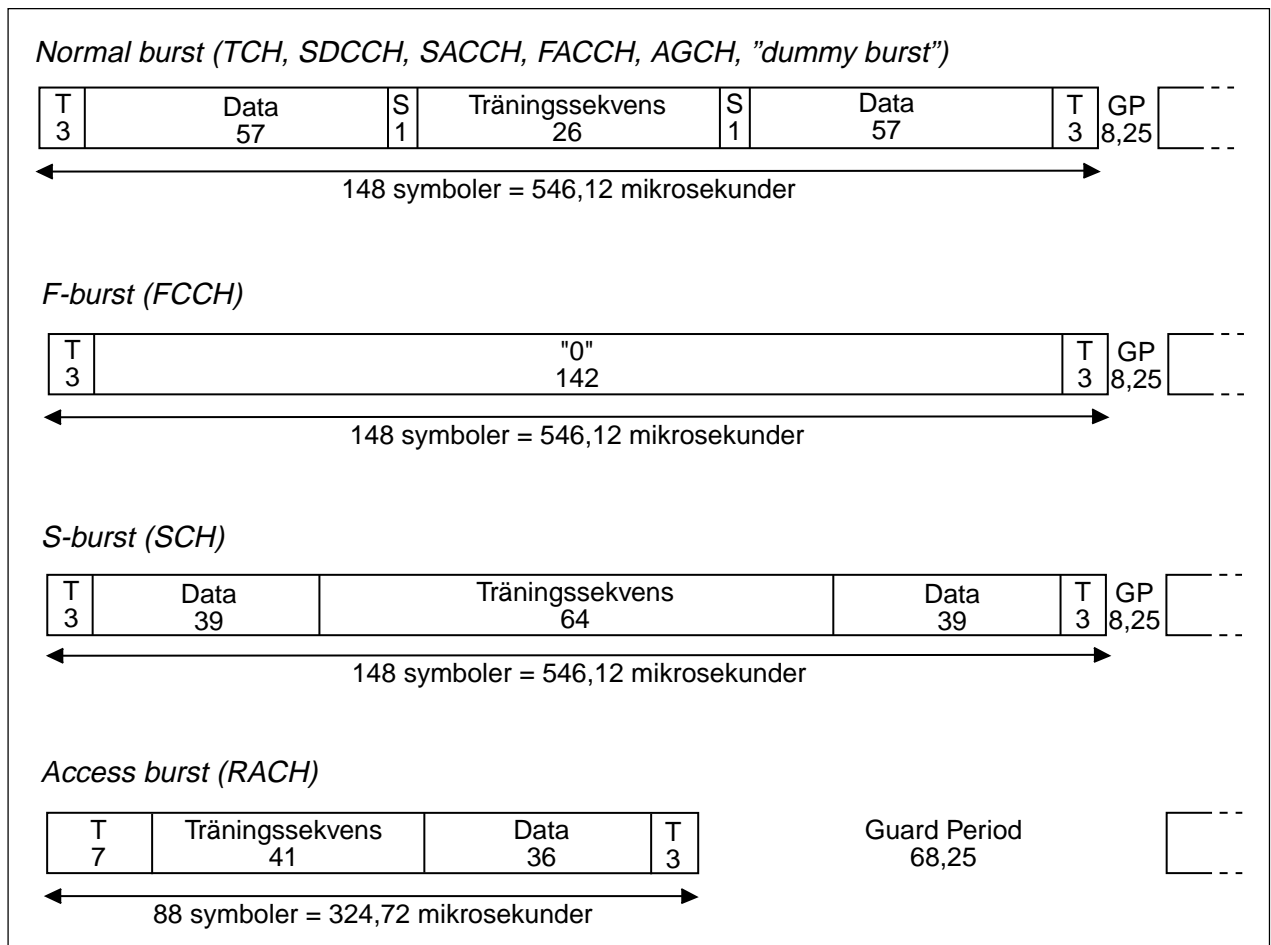
Av de 58 symbolerna används symbolen närmast träningssekvensen som flagga, "stealing flag" (S). Det återstår 57 + 57 symboler som överför databitar.

Om den normala dataskuren överför en trafikkanal, TCH, så sätts flaggan, stealing flag, till "0".

Om den normala dataskuren stjäls av FACCH så sätts flaggan till "1" för att indikera att paketet om 57 symboler innehåller signaleringsinformation.

SDCCH, SACCH och AGCH överförs också på normala dataskurar. I detta fall har flaggan ingen betydelse utan har "1" som fast värde.

"Dummy burst" är en dataskur som sänds av TRX1 i tidluckor som är lediga. Dummy burst moduleras med ett bitmönster så att ficktelefonen inte av misstag skall tolka den som FCCH.



- **F-burst (FCCH)**

F-dataskurens huvudsakliga uppgift är att bli hittad så att ficktelefonen nästa gång kan lyssna på SCH. F-dataskuren består av 148 "0".

- **S-burst (SCH)**

S-dataskuren består liksom den normala dataskuren av 148 symboler, men har en träningssekvens på 64 symboler, för säkrare detektering. Informationspaketen rymmer bara 39 + 39 symboler.

- **Access burst (RACH)**

Access burst, anropsdataskuren, är en kortare dataskur som används av ficktelefonen vid anrop av basstationen. Anropsdataskuren inleds med sju tailbits och en träningssekvens på 41 symboler. Därefter kommer 36 symboler information och tre tailbits.



## 12 — Talkodning

---

## 12.1 Källkodning

Den allmänna benämningen på det vi skall behandla i detta kapitel är egentligen källkodning. Informationen från källan beskrivs digitalt.

Det finns källor som direkt avger digital information. Exempel är knappsatsen på ficktelefonen. Där finns tolv tangenter med siffror, stjärna och fyrkant. Ett sätt är att överföra tolv databitar t.ex. 100 ggr per sekund och låta varje databit beskriva en viss tangent. Detta innebär en datahastighet på 1200 bit/s.

Men vi kan koda informationen på annat sätt. Fyra databitar kan kombineras på 16 olika sätt. Detta räcker för att identifiera en viss tangent. Med denna omkodning av källsignalen blir datahastigheten 400 bit/s.

Om tangentinformationen skall överföras på en förbindelse med bithastigheten 20 kbit/s, så åtgår i första fallet 6 % av transmissionskapaciteten för att överföra tangentinformationen, i andra fallet bara 2 %.

Vi har sparat transmissionskapacitet, men också förlorat något. Med de tolv databitarna kan vi beskriva om flera tangenter trycks in samtidigt. Fyra databitar kan bara beskriva en tangent i taget. Men detta kanske inte har någon betydelse om det kommer nya tangentbeskrivningar 100 ggr per sekund.

Många källor avger analog signal. Exempel är mikrofonen som fångar upp tal eller musik, TV-kameraröret som fångar upp bilder. Källkodningen inleds i så fall med vågformskodning. Den analoga växelspanningens amplitud avläses och beskrivs med databitar. Vågformskodning skall ge en så exakt beskrivning som möjligt av den analoga signalen. Tal i fasta telenätet vågformskodas med datahastigheten 64 kbit/s. Spänningen från TV-kameraröret vågformskodas med datahastigheten 216 Mbit/s.

Om TV skall överföras så är inte målet att återge TV-signalens vågform utan att återge en bild som ögat upplever så lik originalet som möjligt. Avancerad käll-

kodning av bild och musik innebär att plocka bort all information som ögat eller örat inte kan uppfatta. Denna information behöver inte överföras eftersom den maskeras av annan information. Vi kan på detta sätt minska datahastigheten från 216 Mbit/s till 1 – 5 Mbit/s vid TV, beroende på bildinnehåll (snabba rörelser).

Vid talkodning går man en annan väg. Genom att fokusera på hur människokroppen bär sig åt när vi talar, så skapar vi information som styr en dator som kan tala. Dessa styrsignaler kan sändas med en datahastighet av 1 – 16 kbit/s, beroende på var vi sätter gränsen för acceptabel talkvalitet.

Utvecklingen inom bild- och talkodning går mot en kombination av maskering och syntetiskt återskapad signal.

Minskningen i datahastighet har ett pris. Den talande datorn i GSM-telefonen kan bara låta som en enda person, inte flera som talar samtidigt. Och framför allt kan den talande datorn inte återge musik. Att ringa från GSM-telefonen och hamna i telefonkö där man spelar musik medan du väntar (music on hold) kan bli näst intill outhärdligt.

## 12.2 Vågformskodning

### Filtrering

Första steget vid vågformskodning är att filtrera bort alla frekvenser över någon viss frekvens. Källsignalen från mikrofonen matas därför genom ett lågpasfilter. Vid telefoni sätter man frekvensgränsen vid 3,4 kHz. Detta ger tal med "telefonkvalitet".

### Sampling

Nästa steg är att mäta spänningens amplitud. Denna mätning, sampling, måste ske dubbelt så ofta som lågpasfiltrets gränshfrekvens, alltså minst 6 800 ggr per sekund. I fasta telenätet samplar man 8 000 ggr per sekund.

### Kvantisering

Spänningsmätningen, samplingens amplitud, skall beskrivas digitalt. Men digitaltekniken kan bara beskriva vissa fasta spänningssteg. I fasta telenätet har man valt att dela in spänningsområdet i 127 positiva och 127 negativa steg.

Kvantiseringen innebär att spänningen avrundas till närmaste steg. Man får ett avrundningsfel. Detta avrundningsfel ger upphov till distorsion i signalen, kvantiseringsdistorsion. Avrundningsfelet kan även uppfattas som brus, kvantiseringsbrus. Detta avrundningsfel tillsammans med lågpasfiltrets 3,4 kHz begränsar datahastigheten mellan två modem i fasta telenätet till 33,4 kbit/s.

I fasta telenätet är de 127 spänningsstegen inte lika stora, utan små vid låga amplituder och större vid höga amplituder, för att distorsionen inte skall bli besvärande om man talar lågt.

### Kodning

De sammanlagt 127 positiva och 127 negativa stegen, samt spänningen noll och teckenbiten, kodas i ett digitalt ord bestående av åtta databitar. Åtta databitar information 8 000 ggr per sekund ger total datahastighet 64 kbit/s.

### Återskapande av den analoga signalen

Mottagaren använder den digitala informationen för att återskapa de kvantiserade spänningssamplerna. Om dessa spänningsspulser matas genom ett lågpasfilter som bara släpper igenom frekvenser lägre än 4 kHz, halva samplingshastigheten, och spänningsspulserna återges med exakt rätt höjd utan kvantiseringsavrundning, så återfår man den ursprungliga källsignalen sådan den såg ut när den passerat det inledande lågpasfiltret på 3,4 kHz.

### 104 kbit/s vid A/D-omvandlingen i GSM

När man pratar i GSM-telefonen så utförs först en analog/digital-omvandling för att få talet i digital form. Detta är en enkel form av linjär vågformskodning, linjär därför att man inte bekymrar sig om att göra spänningsstegen olika stora. Detta är ju bara en digital beskrivning för att kunna mata in talet i den egentliga talkodaren.

## 12.3 Avancerad talkodning

### Lungorna

När människan talar pressar vi upp luft från lungorna. Denna luftström låter som ett väsande, ett brus.

### Stämbanden

När luftströmmen passerar stämbanden så händer antingen inget alls, som vid tonlösa ljud, eller också stängs och öppnas stämbanden med viss frekvens. Vi får ett tonande ljud.

### Munhålan

Munhålan och huvudresonanserna fungerar som filter och påverkar ljudets frekvensspektrum.

### 20 millisekunder

Nästan all avancerad talkodning utgår från 20 millisekunder tal. Ljudet under dessa 20 ms analyseras och beskrivs på digital form och skickas till någon mottagare som försöker låta på samma sätt under 20 ms.

### Vokoder

Vokoder-teknik innebär att luftströmmen från lungorna, talapparatens excitering, simuleras med vitt brus, ett väsande som innehåller alla frekvenser inom talområdet, och "vitt" därför att alla frekvenser är lika starka. Det räcker med en databit för att beskriva luftströmmen från lungorna. Antingen pressar vi upp luft under dessa 20 ms, eller också är vi tysta.

Därefter kommer luften till stämbanden. Om stämbanden vibrerar, öppnas och stängs så att det skapas luftpulser, då räcker några få databitar för att beskriva tiden mellan luftpulserna.

Luftströmmen eller luftpulserna passerar därefter det filter som utgörs av huvudet och munhålan. Detta filter har flera toppar, resonanser, som påverkar den sönderhackade luftströmmens spektrum.

Vokoder-tekniken ger tal som är lätt att uppfatta. Men talet låter metalliskt och det är svårt att känna igen vem som talar. Det

räcker inte med vitt brus från lungorna för att identifiera talaren. Roslandet från lungorna är individuellt (bålresonanser). Det behövs en bättre beskrivning av luftströmmen från lungorna, exciteringen.

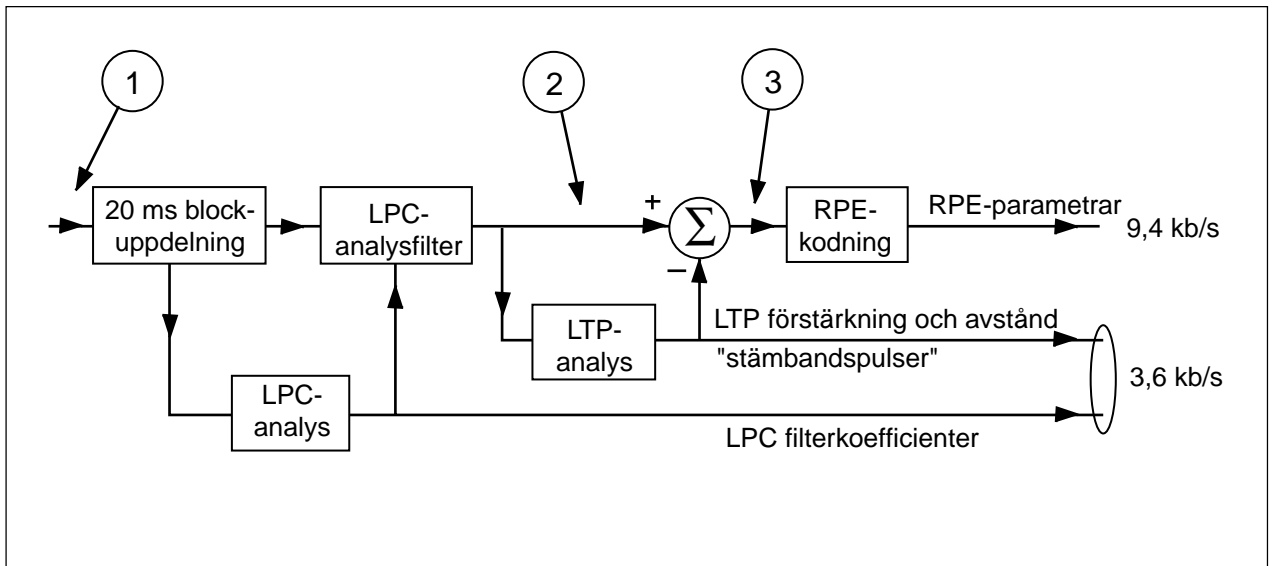
### Hybridkodare

Om vokodertekniken kombineras med en vågformsbeskrivning av luftströmmen från lungorna, exciteringen, så låter talet genast naturligare och man hör vem som talar. Denna kombination av vokoderteknik och vågformskodning kallas hybridkodare. Samtliga talkodare för mobiltelefoni är hybridkodare. Det som skiljer dem åt är främst sättet att vågformskoda exciteringen.

Den ursprungliga GSM FR-talkodaren (Full Rate) utnyttjade 3,6 kbit/s för vokoderdelen och 9,4 kbit/s för kodning av exciteringen, tillsammans 13 kbit/s. Modernare kodningsmetoder har lett till att man klarar att beskriva exciteringen med betydligt färre databitar.

Detta kan utnyttjas på två sätt. Antingen kan man sänka totala datahastigheten, eller öka antalet databitar som används för vokoderkodningen. Under andra hälften av 1990-talet har man övergått till en förbättrad GSM-talkodare, GSM EFR (Enhanced Full Rate), där 4,2 kbit/s används för en mer detaljerad beskrivning av vokoderdelen, samtidigt som nya kodningssätt inneburit att man med 8,8 kbit/s klarar en ännu bättre beskrivning av exciteringen.



**1**

Ett "sample" av den ursprungliga talsignalen när den passerat ett lågpasfilter som dämpar frekvenser över ca 4 kHz. Samplet är längre än 20 ms.

**2**

Här har man avlägsnat den inverkan som munhålans filter har på talsignalen. Vi ser tydligt luftstötarna som alstras av stämbanden.

**3**

När även stämbandspulserna avlägsnats återstår excitationen, en "brusliknande" signal som ändå inte kan simuleras med brus om vi skall känna igen vem som talar.



## 12.4 Excitationskodning

### Vokodern utnyttjar vitt brus

Vokodern utnyttjar vitt brus som excitering, luftströmmen som kommer från lungorna. Exciteringen "pulsas" av stämbanden när vi uttalar ett tonande ljud, annars är stämbanden i vila. Därefter formas ljudets spektrum av det filter som bildas av munhåla, huvud och åtminstone för sångare hela bålen.

Det har blivit standard att "spela in" 20 millisekunders tal och koda stämbandsfrekvensen, filterkoefficienterna samt förstärkningen (ljudstyrkan).

För att få talet att låta mer naturligt och dessutom kunna känna igen vem som talar, så måste exciteringen bytas från vitt brus till en signal som är individuell för varje person.

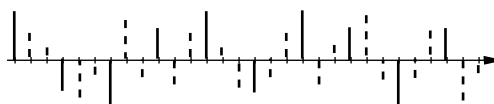
Vid talkodning börjar man med att beräkna filterparametrarna och ta bort detta ur talet. Därefter beräknar man stämbandsfrekvensen som avlägsnas. Vad som återstår är exciteringen.

Sättet att koda exciteringen skiljer mellan olika mobiltelesystem. Det är dessutom vanligt att excitationssignalen delas upp i 5 millisekunders-block. I varje "talblock" om 20 ms överförs alltså en filterinställning, en uppgift om stämbandsfrekvens, en uppgift om ljudstyrka, men fyra excitationssignaler.

Excitationssignalen liknar på sätt och vis brus men innehåller vissa mer eller mindre starka pulser.

### RPE (Regular Pulse Excitation)

Regular Pulse Excitation innebär att man simulerar excitationssignalen med pulser som är jämnt fördelade. Sedan beskriver man när första pulsen kommer (fasläget) och pulsernas amplituder.



*RPE: Välj ut pulser på jämnt avstånd och ange amplitud och läge.*

### CELP (Codebook Excited Linear Prediction)

Codebook Excited innebär att man letar i en kodbok med färdiga pulssignaler för att hitta den pulssignal som bäst liknar excitationssignalen.

Linear Prediction syftar på filtertekniken, att excitationssignalen matas genom filtret för att bilda talsignalen.

### VSELP (Vector-sum Excitation Linear Prediction)

VSELP liknar CELP med skillnaden att man har två kodböcker och låter pulssignalen bli summan från de båda kodböckerna. Man behöver två talvärden för att adressera två kodböcker. Två tal bildar en vektor. Därav namnet.

Varför två kodböcker? Om den ena kodsignalen kan hållas konstant över 20 ms medan bara den andra ändras efter 5 ms så uppnås en kodningsvinst.

### MPE (Multi Pulse Excitation)

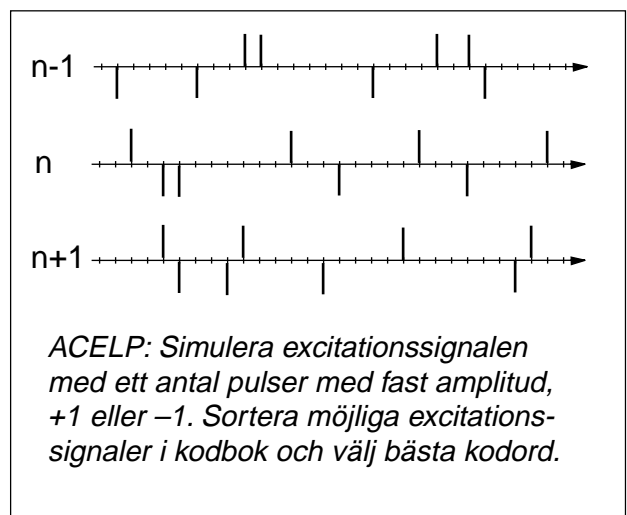
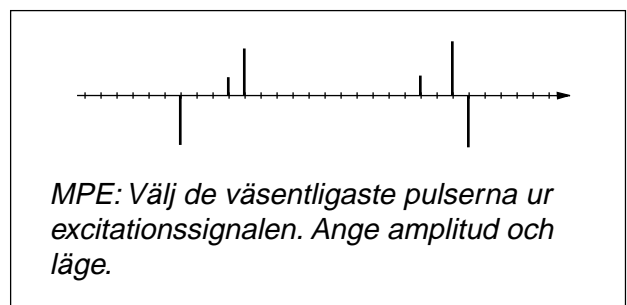
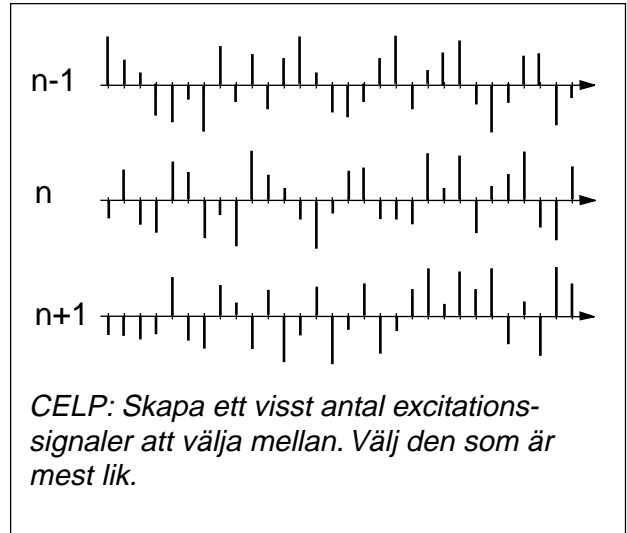
Vid Multi Pulse Excitation simuleras excitationssignalen av ett antal pulser. Man plockar ut de väsentligaste pulserna ur excitationssignalen och anger position och amplitud.

### ACELP (Algebraic Codebook)

Excitationssignalen simuleras av ett antal pulser, som vid MPE, men med pulsamplituderna +1 eller -1. Med vissa restriktioner på pulspositionerna så får man ner antalet möjliga pulssignaler. Man uppnår kodningsvinst genom att inordna alla möjliga pulssignaler i en kodbok och adressera kodboken.

### Pulsernas lägen är betydelsefullt

Pulser ger ett "vitt" amplitudspektrum, spektralkomponenter som är lika starka på alla frekvenser. Det är intressant att pulsernas relativa positioner har så stor betydelse, trots att samtliga excitationssignaler i stort sett har identiska amplitudspektra.



Standard för telefoni	Algoritm	kb/s
GSM FR (Full Rate)	RPE-LTP	13
GSM EFR (Enhanced Full Rate)	ACELP	13
GSM HR (old Half Rate)	VSELP	5,6
D-AMPS Full Rate	VSEPL	7,95
D-AMPS Enhanced Full Rate	ACELP	7,4
PDC Full Rate	VSELP	6,7
PDC Half Rate (40 ms sample)	PSI-CELP	3,6
IS/95-CDMA Variable Rate	CELP	1,2 - 9,6

GSM FR och GSM HR är de Full Rate- och Half Rate-kodare som standardiserades i GSM Phase 1 och GSM Phase 2.

GSM EFR standardiserades i GSM Phase 2+ och är den kodare som sedan några år finns i de allra flesta GSM-telefoner.

D-AMPS Enhanced Full Rate är den talkodare som används i TDMA/136.

Även PDC-systemet har två talkodare, varav Half Rate-kodaren utgår från talsample som är dubbelt så långa, 40 ms. Dessa båda kodare är anpassade för ljuden i det japanska språket.

CDMA-IS/95 har en talkodare som lämnar variabel datahastighet beroende på om man talar eller ej. CDMA-systemet kan direkt tillgodogöra sig lägre datahastighet från en abonnent för att få in fler samtidiga samtal i systemet, eftersom alla samtal delar på samma frekvensområde under hela tiden (CDMA-tekniken).

### GSM FR (Full Rate, Phase 1)

Tabellen visar hur de 260 databitarna under 20 ms utnyttjas. LPC filterkoefficienterna är oförändrade under 20 ms. Övriga parametrar ändras efter 5 ms.

- LTP är storleken och avståndet mellan stämbandspulserna, pulsrepetitionstiden.
- RPE är pulserna som bildar excitationssignalen.

### GSM EFR (Enhanced Full Rate, Phase 2+)

GSM EFR är en ACELP-kodare. Tabellen visar hur de 260 databitarna under 20 ms utnyttjas.

- LPC filterkoefficienterna har utökats från 36 till 38 bit.
- LTP förstärkning har utökats från 2 till 4 bit.
- LTP fördröjning (stämbandstonens periodtid) har utökats för att noggrannare kunna beskriva kvinnoröster.

Vid GSM FR Phase 1 kan periodtiden ligga mellan 15 – 150 i heltalssteg för att täcka grundtonsområdet 50 – 500 Hz. Men frekvensskillnaden mellan 149 – 150 är mindre (mansröster) än mellan 15 – 16 (kvinno-röster). Därför har man infört fler databitar för att dela i mindre intervall än heltal. Detta ger en noggrannare stämbandsfrekvensbeskrivning, som tidigare var alltför gles speciellt för kvinnoröster.

### D-AMPS Full Rate

Den ursprungliga D-AMPS talkodaren var en VSELP-kodare med två kodböcker och datahastigheten 7,95 kbit/s.

I dagens TDMA/136-system används en förbättrad talkodare som bygger på ACELP på samma sätt som GSM EFR-kodaren.

<b>GSM FR (Full Rate, Phase 1)</b>		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	36
LTP förstärkning	2	8
LTP fördröjning	7	28
RPE grid positioner	2	8
RPE block max amplitud	6	24
RPE normaliserade sampel	13 x 3	156
Totalt per ram (20 ms)	–	260

<b>GSMEFR (Enhanced Full Rate, Phase 2+)</b>		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	38
LTP förstärkning	4	16
LTP fördröjning	9 + 6 + 9 + 6	30
ACELP excitation	35	140
Excitationsförstärkning	5	20
Paritetsbitar	–	16
Totalt per ram (20 ms)	–	260

<b>D-AMPS Full Rate</b>		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	38
Ramenergi	–	5
LTP fördröjning	7	28
VSELP excitation (2 kodböcker)	7 + 7	56
Excitationsförstärkning (VQ)	8	32
Totalt per ram (20 ms)	–	159

## 12.5 DTX (Discontinuous Transmission)

### Den ena talar, den andra lyssnar

Vid telefonsamtal kan man räkna med att abonnenterna är tysta under minst 40 % av tiden. De lyssnar. Då behöver GSM-sändaren egentligen inte skicka ut någon signal.

Om vi kan förmå GSM-sändaren att inte sända dataskurar när vi lyssnar så uppnås två fördelar:

- Minskad strömförbrukning. Ficktelefonens batteri räcker längre mellan laddningarna.
- Färre radiosignaler i luften. Eftersom störningarna (I, interference) kommer från andra GSM-sändare på samma frekvens, i andra celler, så minskar störnivån.

### Voice Activity Detection, VAD

Om GSM-sändaren skall vara tyst när vi inte talar så måste talkodaren kunna skilja tal från bakgrundsljud. Därför analyserar talkodaren varje 20 ms talblock för att avgöra om ljudet kommer från en människa. Talkodaren grundar sitt beslut både på signalstyrka och spektrala energiinnehållet.

### SID (Silence Descriptor frame)

Om VAD beslutar att talblocket inte innehåller tal så kodas ljudet på ett speciellt sätt, där vissa bestämda databitar, 95 av 260, sätts till "0". Detta indikerar att talblocket innehåller "bakgrundsljud", och talblocket kallas SID-ram (Silence Descriptor frame).

### DTX (Discontinuous Transmission)

När GSM-sändaren (gäller såväl basstationen som ficktelefonen) sänder en SID-ram vet den att den kan vara tyst eftersom mottagaren klarar sig på denna SID-ram i 480 ms. Först efter 480 ms behöver den sända nästa SID-ram, under förutsättning att det bara är SID-ramar som kommer från talkodaren. Om det kommer en vanlig talram från talkodaren övergår naturligtvis sändaren till att åter sända varje talram.

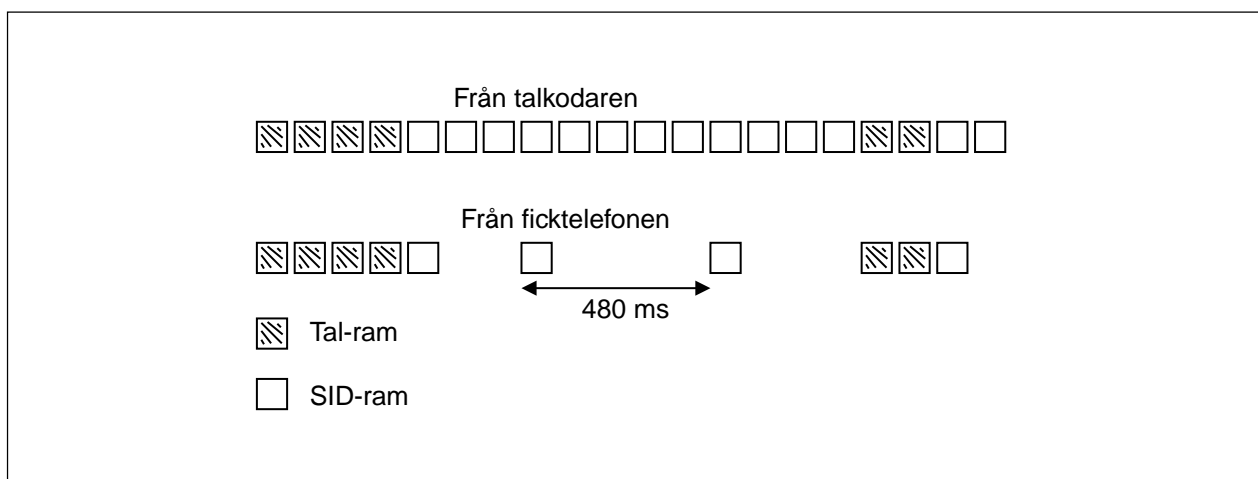
### Comfort Noise

SID-ramen genererar "Comfort Noise" i mottagarändan. Det är obehagligt att tala i en telefon när det är helt tyst i hörluren.

### Effektreglering

När GSM-nätet utnyttjar DTX så sänks störnivån. Då kan man sänka sändareffekten eftersom man inte behöver bättre C/I än vad som är nödvändigt för fullgod mottagning. Men sänkt sändareffekt ger ytterligare lägre störnivå.

DTX i kombination med effektreglering är en viktig funktion i GSM-nätet för att få in så många mobiltelefonsamtal som möjligt på viss yta eftersom tillgången på frekvenskanaler är begränsad.



## 12.6 Tredje generationens GSM-talkodare

### GSM MR (Multi Rate)

Även om vi med tredje generationens mobiltelesystem oftast syftar på WCDMA så kommer GSM att leva kvar som komplement, både i form av "standard GSM" och som uppgraderad GSM till högre bithastighet, EDGE. Därför fortsätter utvecklingen av talkodare för GSM.

Bithastigheten på en GSM FR trafikkanal (Full Rate) är 22,8 kbit/s. Av detta används 13 kbit/s för tal medan 9,8 kbit/s är kanalkodning för att rätta och hitta bitfel som uppstår på grund av störningar (svag signal + hög störnivå = lågt C/I) på radiosträckan.

Ju lägre bithastighet som används för tal, desto fler databitar kan användas för kanalkodning, och desto lägre C/I kan man acceptera på radiosträckan. Detta har lett till en ny talkodare som kodar talet i flera olika datahastigheter, från lägst 4,75 kbit/s upp till 12,2 kbit/s i åtta steg, Multi Rate.

Bithastigheten på en GSM HR trafikkanal (Half Rate) är 11,4 kbit/s. GSM Phase 2 HR talkodning innebär 5,6 kbit/s för tal och 5,8 kbit/s för kanalkodning. Men när man befinner sig nära basstationen där C/I är högt, så behövs inte lika kraftig kanalkodning. Då kan man koda talet med högre datahastighet, använda en svagare kanalkodning, och få god talkvalitet.

### GSM AMR (Adaptive Multi Rate)

GSM Adaptive Multi Rate innebär att man kopplar om mellan olika kombinationer av talkodning/kanalkodning i takt med förändringen av C/I på radiosträckan. På 80 – 100 millisekunder skall kodaren ställa om sig till en ny kombination talkodning/kanalkodning, men även växla mellan Full Rate och Half Rate.

Med en sådan dynamisk anpassning mellan önskad talkvalitet, C/I på radiosträckan och bandbredd (HR respektive FR), och dessutom möjlighet att fylla ut tidluckan med GPRS-data om det blir ledig tid mellan samtalen, så får man ett optimalt utnyttjande av befintligt radiospektrum.

Hur kraftig kanalkodning behövs? Det beror på C/I. Om C/I är högt, så som oftast är fallet i området nära basstationen, så behövs bara en enklare form av kanalkodning. Då kanske man klarar sig med en Half Rate-kanal.

Långt från basstationen är C/I lågt. Men även där kan man ta emot tillräckligt bitfelsfritt om man lägger på en kraftig kanalkodning.

GSM AMR ger möjlighet att få en talkvalitet jämförbar med dagens GSM EFR även på en HR-kanal, men bara nära basstationen.

### Uppfattbart tal vid 4 – 6 dB lägre C/I

GSM AMR ger möjlighet att få uppfattbart tal vid 4 – 6 dB lägre C/I än i dagens GSM-system (kräver ca 7 dB C/I i dag), genom att koda talet till 4,75 kbit/s och lägga på en mycket kraftig kanalkodning i en FR-kanal.





## 13 — Från databit till radiosymbol

---

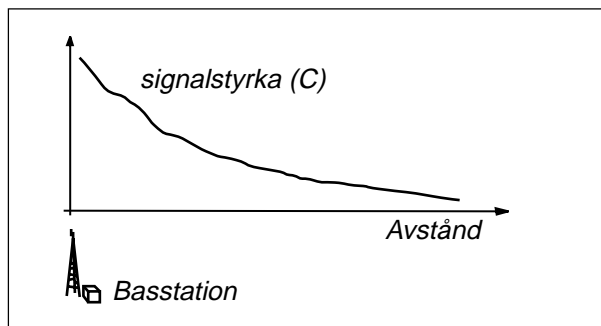
## 13.1 Databitar, radiosymboler och C/I

### Det är symboler som överförs, inte databitar

All kommunikation är egentligen analog. Man skapar två analoga signaler och låter den ena signalen betyda en "etta" medan den andra signalen får betyda en "nolla".

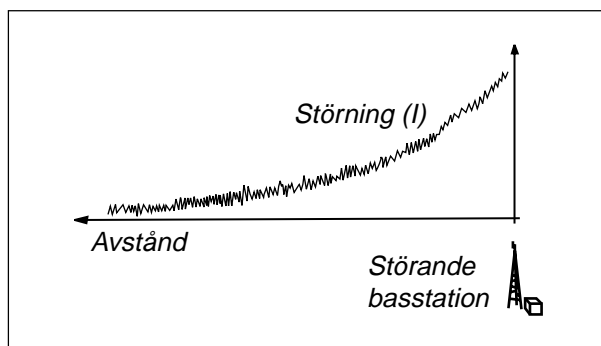
### Radiosymbolen blir svagare

Ju längre bort från basstationen vi kommer, desto svagare blir radiosymbolen, radiosignalen C (Carrier).



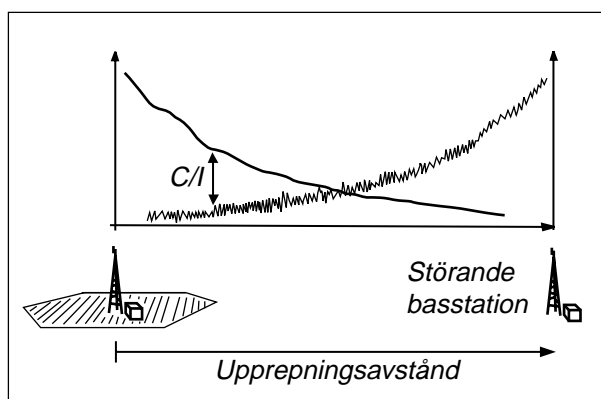
### Störningarna blir starkare

Ju närmare vi kommer en annan cell som använder samma frekvens, desto starkare blir störningarna I (Interference).



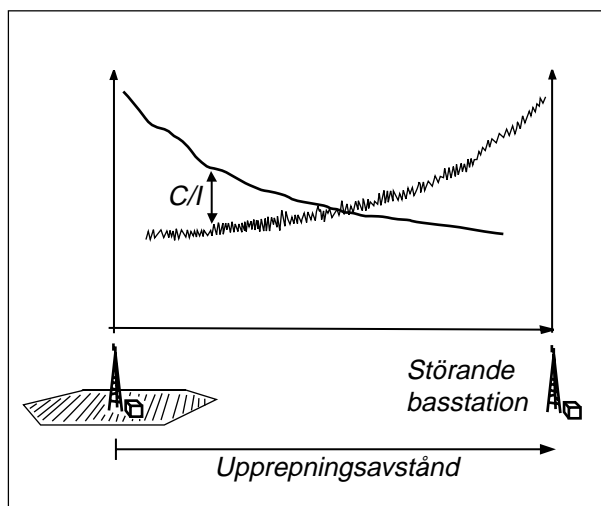
### Minimum C/I för att tolka symbolerna

Ut till något visst avstånd är signalen fortfarande så stark i förhållande till störningarna C/I (Carrier to Interference) att vi kan tolka symbolerna. Detta är gränsen för vår radio-cell.



### Upprepningsavstånd

Avståndet till den störande basstationen kallas upprepningsavståndet. Detta är minsta avståndet för att upprepa samma frekvenskanal igen.



### Sändareffekten påverkar inte C/I

Det hjälper inte att öka sändareffekterna. Cellens storlek och upprepningsavståndet är oförändrat.

PERANT AB

### Lägre C/I ger kortare upprepningsavstånd

Enda möjligheten att åstadkomma kortare upprepningsavstånd, i celldiametrar, är om radiomottagaren klarar att arbeta med lägre C/I.

### GSM behöver normalt C/I = 9 dB

Ungefärliga värden för GSM utan frekvenshopp är C/I = 9 dB. Med frekvenshopp kommer man ner till ca 7 dB, och med extra kraftfull kanalkodning kommer man att kunna överföra uppfattbart tal ända ner till C/I = 4 dB, se kapitel 11.5.

### Effektreglering

Om ficktelefonen befinner sig närmare basstationen och har bättre C/I än nödvändigt, så minskar man sändareffekten tills C/I hamnar på gränsen. På så sätt minskar störningarna i granncellerna. Man förlorar bara på att göra kommunikationen "bättre än bra".

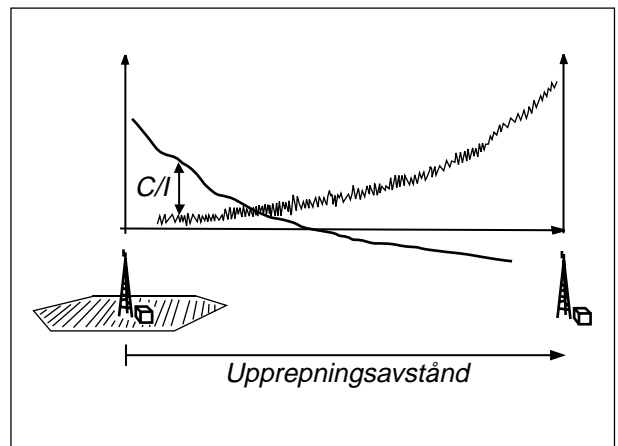
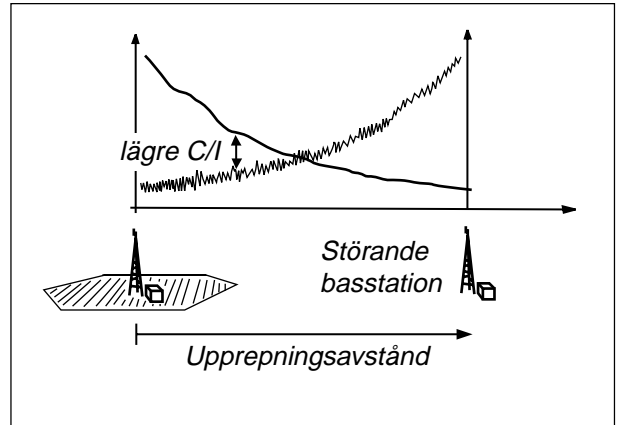
### Hur får man en cell att bli liten?

Svaret är enkelt. Minska upprepningsavståndet. Då stör cellerna varandra så att celldiametern automatiskt blir mindre.

Om störningen hade varit en fast nivå, lika överallt, så som är fallet om störningen utgörs av brus, så blir celldiametern mindre om man minskar sändareffekten. Men mobilnäten dimensioneras för att vara interferensbegränsade, inte brusbegränsade.

I ett interferensbegränsat system behåller man (i stort sett) alltid samma förhållande mellan upprepningsavstånd och celldiameter.

Sätt basstationerna tätare så kommer de att störa varandra så att celldiametrarna blir mindre. Men samtidigt bör man minska sändareffekten till minsta möjliga.



## 13.2 Cellmönster

### Cellmönstret bestäms av upprepningsavståndet

Upprepningsavståndet bestämmer hur många celler som ryms i mellanliggande område, innan vi kommit så långt bort att samma frekvenskanal kan användas på nytt. Vi ritas upp cellmönstret och markerar vilka celler som kan utnyttja samma frekvenskanaler.

#### Exempel: Operatören har 8 MHz

Vi tänker oss en GSM-operatör som har följande frekvensband i 900 MHz-bandet, t.ex. 898,1 – 905,5 MHz för upplänken och 943,1 – 950,5 MHz i nedlänken. I dessa båda band kan operatören använda kanalerna 41 – 77, d.v.s. 36 frekvenskanaler. Hur många frekvenskanaler kan utnyttjas i varje cell?

#### GSM har klusterstorlek 9

För att uppnå  $C/I = 9$  dB behövs ett upprepningsavstånd på ca 3 celldiametrar. Detta ger klusterstorlek 9. Antalet frekvenskanaler skall divideras med 9. Vi får 4 frekvenskanaler i varje cell.

Fyra frekvenskanaler, fyra TRX:er, ger totalt 32 tidluckor, där tre går bort som signaleringstidluckor. Återstår 29 tidluckor att användas för trafikkanaler, d.v.s. 29 samtidiga samtal i varje cell.

#### Småcelltekniken

Totalt 29 samtidiga samtal i varje cell gäller oberoende av cellernas storlek. Därför bygger man små celler i stadsdelar med hög abonnenttäthet, för att få in många samtidiga samtal per ytenhet.

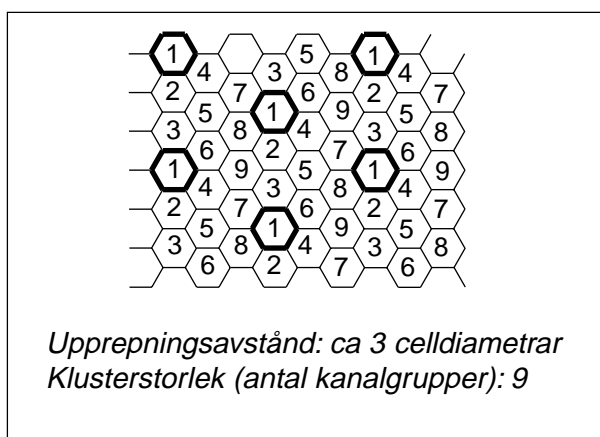
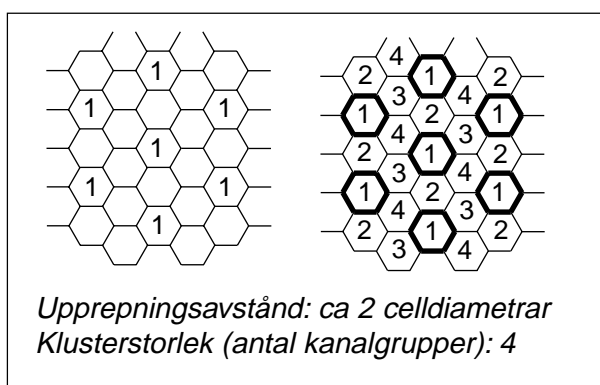
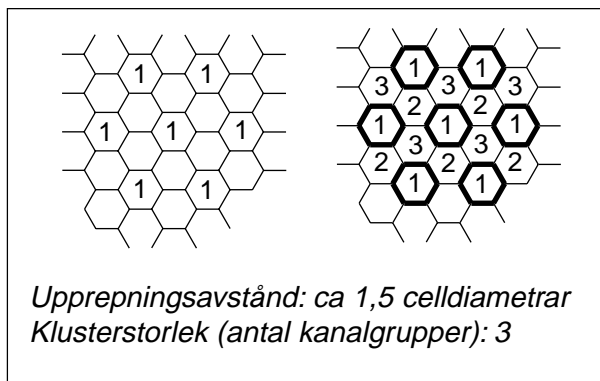
I dag talar man om fyra olika cellstorlekar:

- **Makrocell**

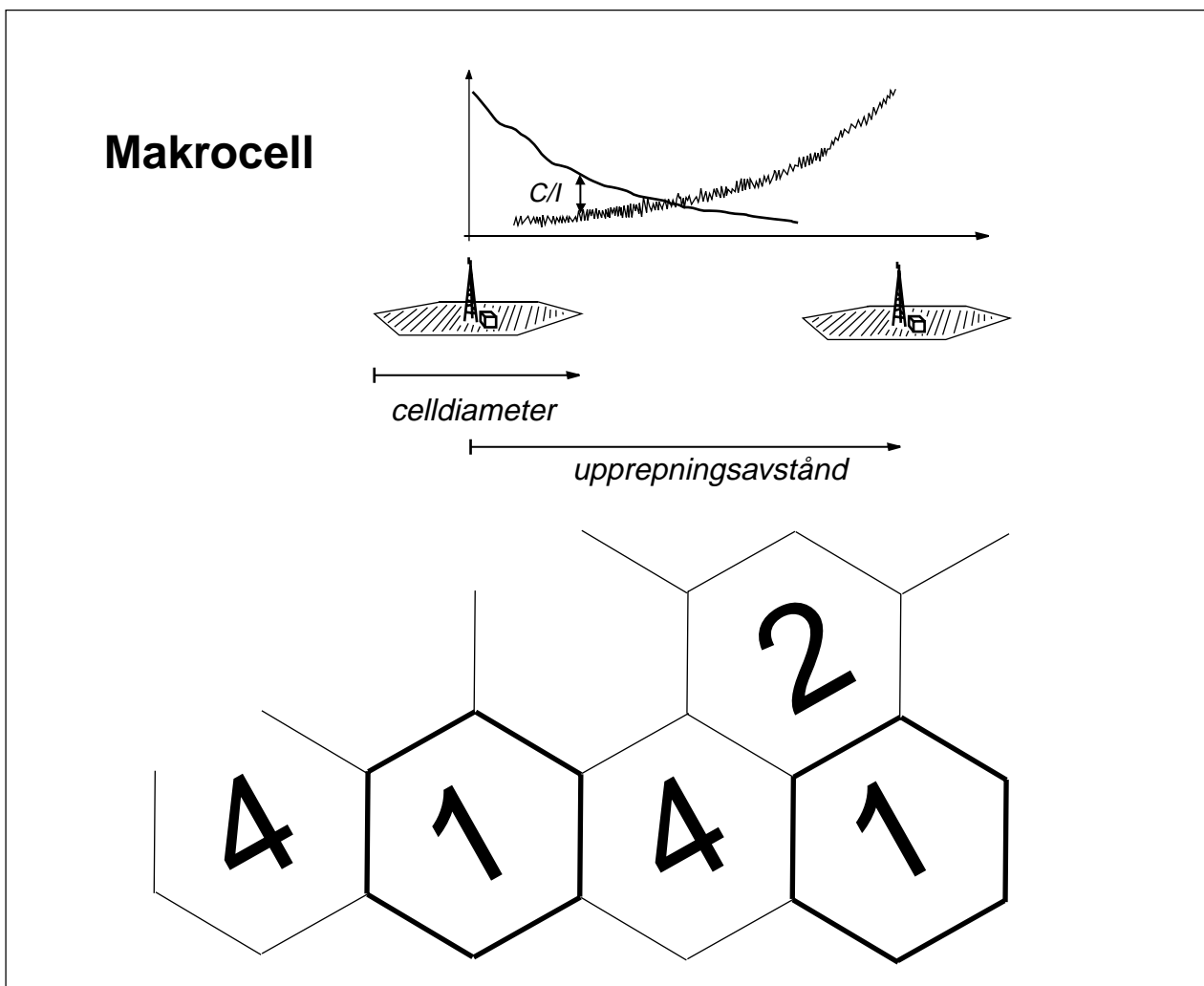
Denna cell har en cellradie på mer än 15 km. Basstationsantennerna monteras i mastar på 30 – 150 m höjd för att få så lång räckvidd som möjligt.

- **Minicell (småcell)**

Minicellen har en cellradie ner till ca 1 km, i



Upprepningsavstånd (celldiametrar)	Klusterstorlek (kanalgrupper)	
1	1	(CDMA)
1,5	3	
2	4	
2,5	7	
3	9	(GSM)
3,5	13	
4	16	
4,5	21	(NMT)



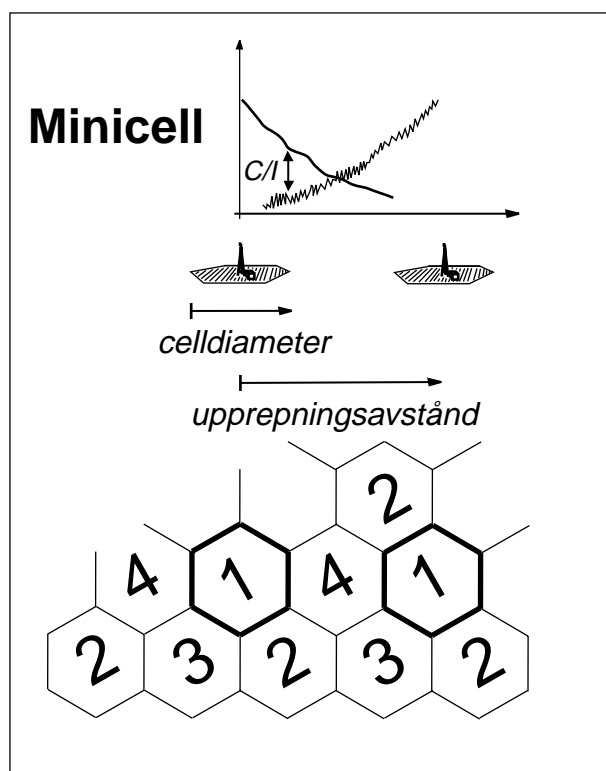
stads- och förortsområden. Antennerna monteras oftast på taket av någon hög byggnad.

- **Mikrocell**

Mikrocellen har cellradie som understiger 1 km och placeras i affärsområden, stads-kärnor, sportarenor m.m. och antennerna placeras under takhöjd för att begränsa räckvidden.

- **Picocell**

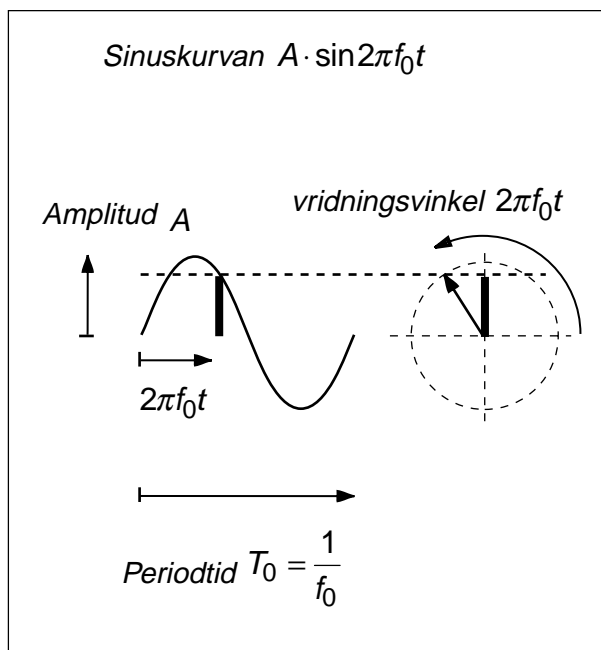
Picocellen används för inomhustäckning på flygplatser, järnvägsstationer, shopping-centra m.m.



### 13.3 Sinusspänningen

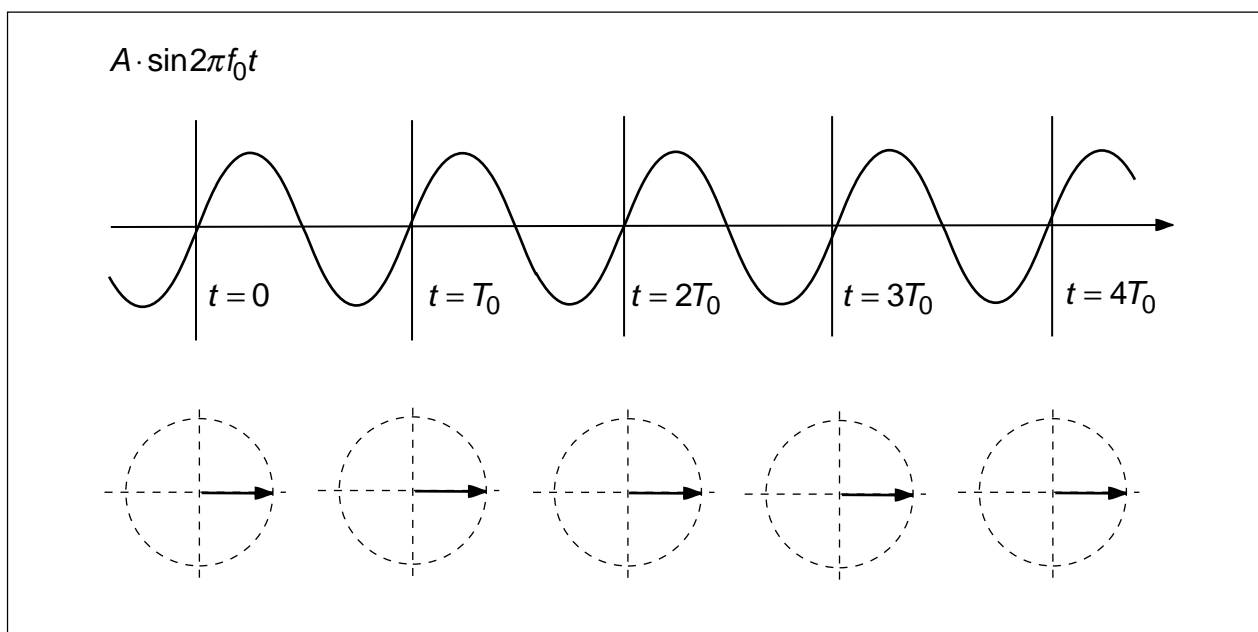
Den kurvform vars amplitud varierar som projektionen på  $y$ -axeln av en roterande visare, den kurvformen kallas sinuskurvan.

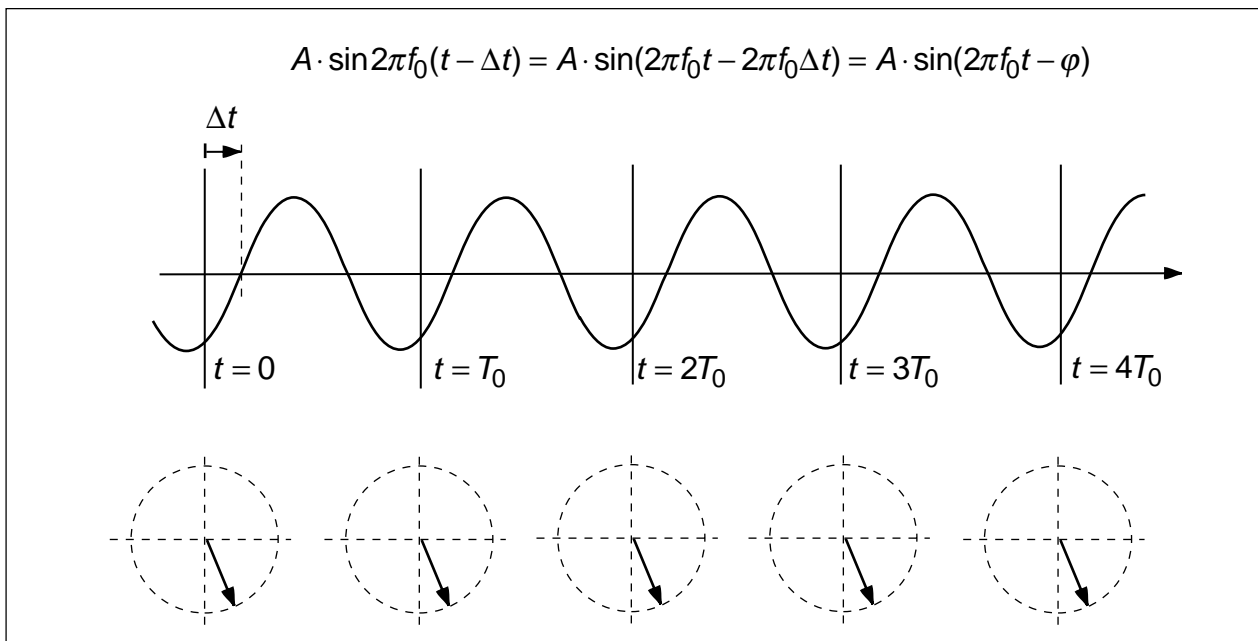
Växelspänningen som följer sinuskurvan kallas sinusspänning. Sinusspänningen genomlöper en period på tiden  $T_0$ , periodtiden, och sinusspänningens frekvens är  $f_0$  Hz, eller perioder per sekund (p/s) som var den tidigare beteckningen (före 1958).



#### Visardiagram visar hur sinusspänningen ligger i tiden

Bilden nedan visar sinusspänningen  $A \cdot \sin 2\pi f_0 t$ . Dessutom visas hur den roterande visaren ligger vid tidpunkterna  $t = 0$ ,  $t = T_0$ ,  $t = 2T_0$  osv.





### Sinusspänningen kan komma fram lite senare

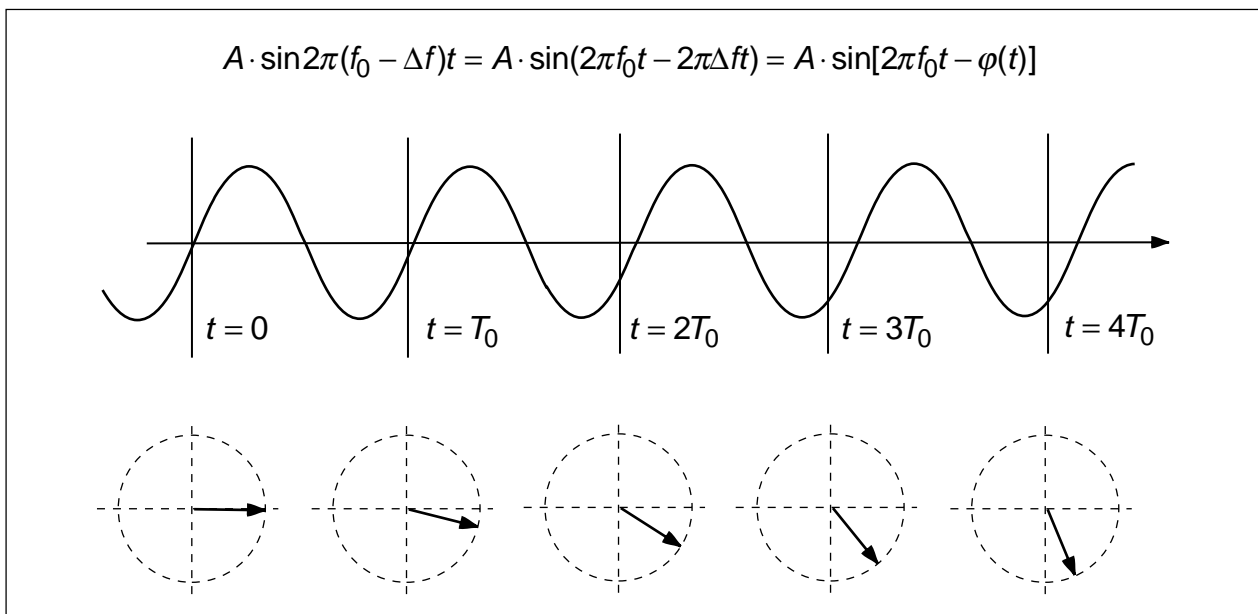
Om sinusspänningen kommer fram tiden  $\Delta t$  senare ser bilden ut som ovan. Man säger att spänningen är fasförskjutet. Sinusspänningen har fått en fasvinkel. Men fasvinkeln är matematikerns synsätt. Fysikaliskt har vi en tidsförskjutning. I detta fall kommer spänningen senare.

### Om vi vill ändra fasvinkeln?

Antag att sinusspänningen har fasvinkeln lika med noll, men att vi vill ändra fasvinkeln. Vad händer då? Spänningen kan inte

”hoppa” från ett läge till ett annat. Sinuskurvan måste hänga ihop och överallt vara kontinuerligt deriverbar, d.v.s. det får inte finnas några hörn på kurvan utan den skall vara mjuk och rund.

Att gå från ett fasläge till ett annat innebär alltid att sinuskurvan måste ”tryckas ihop” eller ”dras isär”. När man gör detta ändras sinuskurvans periodtid. Under själva ändringen får sinussignalen alltså en annan frekvens.



## 13.4 Radiosymbolerna i GSM

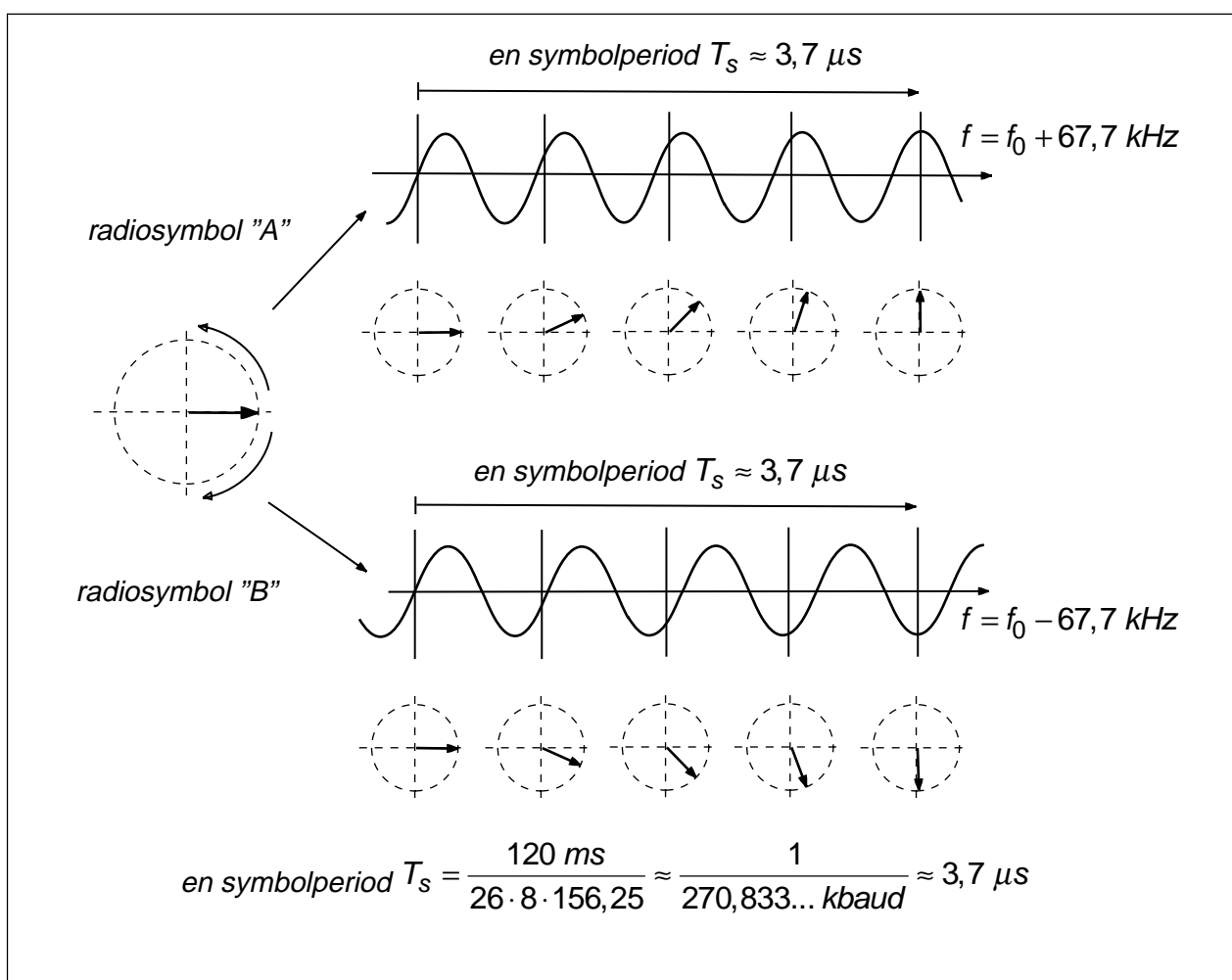
GSM utnyttjar två olika utseenden på radiosymbolerna. Den ena radiosymbolen, symbol "A", innebär att nominell kanalfrekvens ökar sin fasvinkel 90 grader under en symbolperiod  $T_s$ . Den andra radiosymbolen, symbol "B", innebär att nominell kanalfrekvens minskar sin fasvinkel 90 grader under en symbolperiod  $T_s$ .

### Fasändring innebär högre eller lägre frekvens

Om fasvinkeln skall öka 90 grader under en symbolperiod så måste frekvensen vara högre än nominell kanalfrekvens.

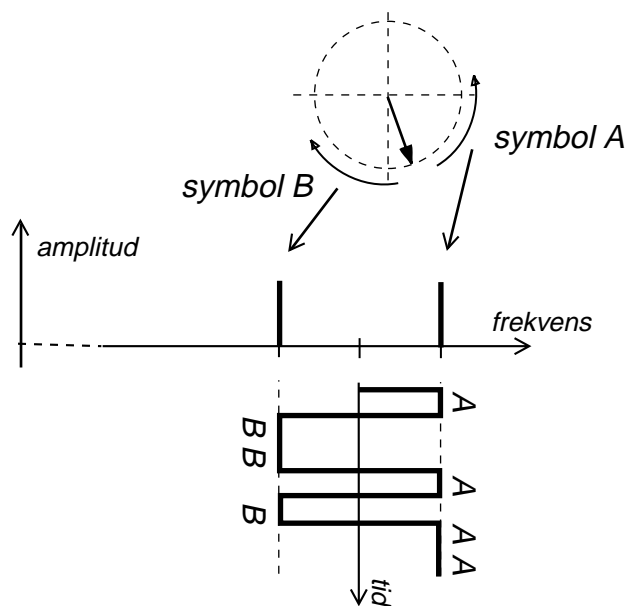
Radiosymbol "A" svarar mot en frekvens som är 67,7 kHz högre än nominell kanalfrekvens, medan radiosymbol "B" svarar mot en frekvens som är 67,7 kHz lägre än nominell kanalfrekvens.

$$\frac{\pi}{2} = \varphi(T_s) = 2\pi\Delta f \cdot T_s \Rightarrow \Delta f = \frac{1}{4T_s} = \frac{26 \cdot 8 \cdot 156,25}{4 \cdot 120 \cdot 10^{-3}} = 67,70833... \text{ kHz}$$





Informationen ligger i vridningen.  
Om fasvinkeln ökar 90 grader  
under en symbolperiod så har vi  
symbol "A". Om fasvinkeln  
minskar 90 grader så har vi  
symbol "B".



### Sändaren frekvensskiftmoduleras, FSK (Frequency Shift Keying)

Sändaren ligger aldrig still på nominell kanal-frekvens, utan ligger antingen 67,7 kHz högre i frekvens (symbol "A"), eller 67,7 kHz lägre i frekvens (symbol "B").

Men på samma sätt som att fasvinkeln inte kan "hoppa" mellan två lägen, så kan inte frekvensen "hoppa", utan sändaren sveper snabbt när den ändrar frekvens. Men en snabb frekvensändring ger ett brett frekvensspektrum.

### Gaussiskt filtrerad FSK, GFSK

Radiosignalens spektrum skall inte vara bredare än frekvenskanalen. Därför filtreras radiosignalen i ett bandpassfilter med gaussisk filterkaraktäristik. Denna filtrering medför att sändaren sveper "mjukt" mellan de två frekvenserna. Man har fått gaussiskt filtrerad FSK, GFSK.

### Mottagning av den fasmodulerade radiosignalen

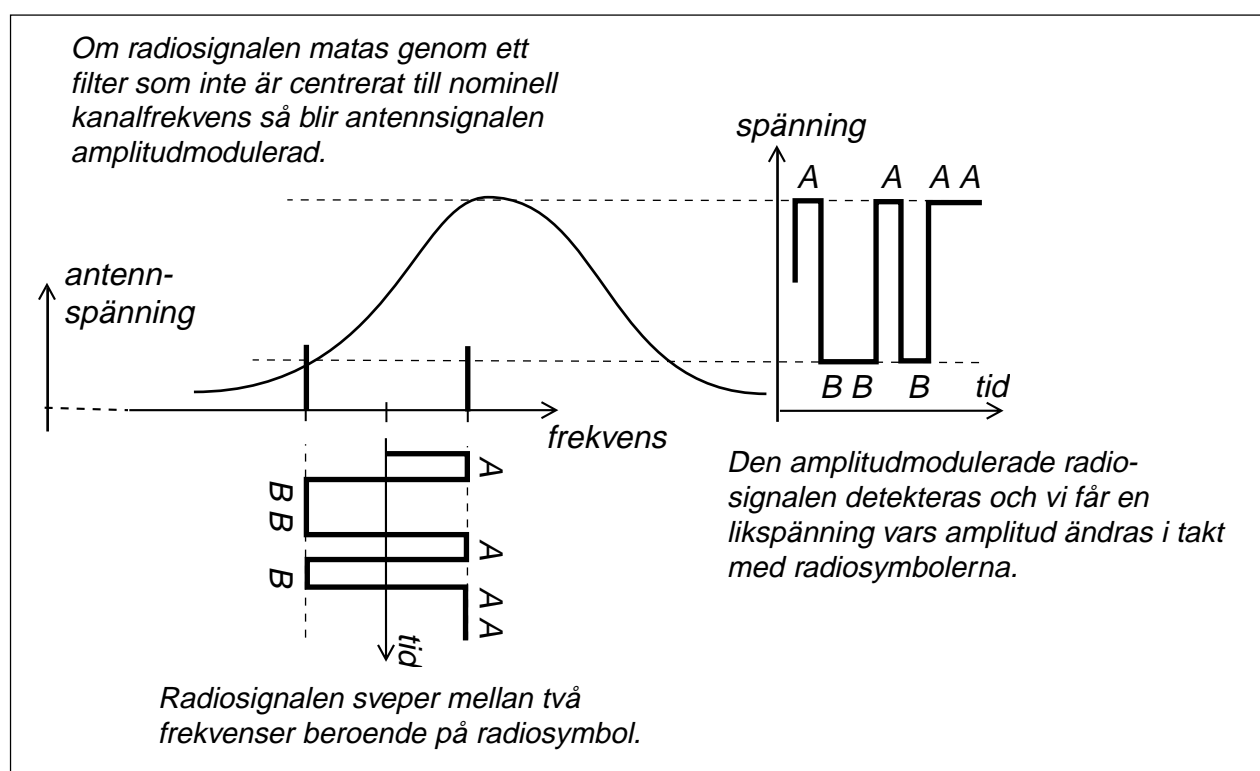
Eftersom fasmoduleringen innebär att radiosignalen "hoppas" mellan två frekvenser, den högre frekvensen motsvarar radiosymbol "A" och den lägre frekvensen motsvarar radiosymbol "B", så är detta egentligen vanlig frekvensmodulering. Signalen kan detekteras av en vanlig FM-detektor, och utsignalen varierar mellan två likspänningsvärden, där det ena värdet motsvarar symbol "A" och det andra symbol "B". Detta är en FSK-detektor, som inte kräver att fasvridningen är exakt 90 grader.

### DECT-specifikationen föreskriver GFSK

För att hålla nere priset på DECT-telefonerna valde ETSI att föreskriva den tekniskt enklare lösningen med frekvensskift och FM-detektor, GFSK, medan GSM-specifikationen föreskriver GMSK, en mer avancerad lösning som ger bättre mottagarkänslighet.

### Bluetooth

Även Bluetooth använder GFSK. Där är det befogat med en så enkel och strömsnål teknik som möjligt.



## 13.5 GMSK

När fasvriddningen alstras genom att låta sändaren flytta till en högre eller lägre frekvens så är man beroende av att ligga på den högre eller lägre frekvensen under exakt rätt tid för att få 90 graders fasvriddning. Om tiden eller frekvensen avviker så blir fasvriddningen något större eller mindre än 90 grader.

### I- och Q-signaler

En annan metod att åstadkomma fasvriddningen är att utgå från nominell kanalfrekvens och skapa en kopia som är fördröjd den tid som motsvarar  $-90$  graders fasvriddning. Vi har nu två signaler. Den ena är nominell kanalfrekvens som ligger med fasvinkeln noll grader, I-signalen ("i fas") och den andra är nominell kanalfrekvens som fasvridits 90 grader, Q-signalen ("i kvadratur").

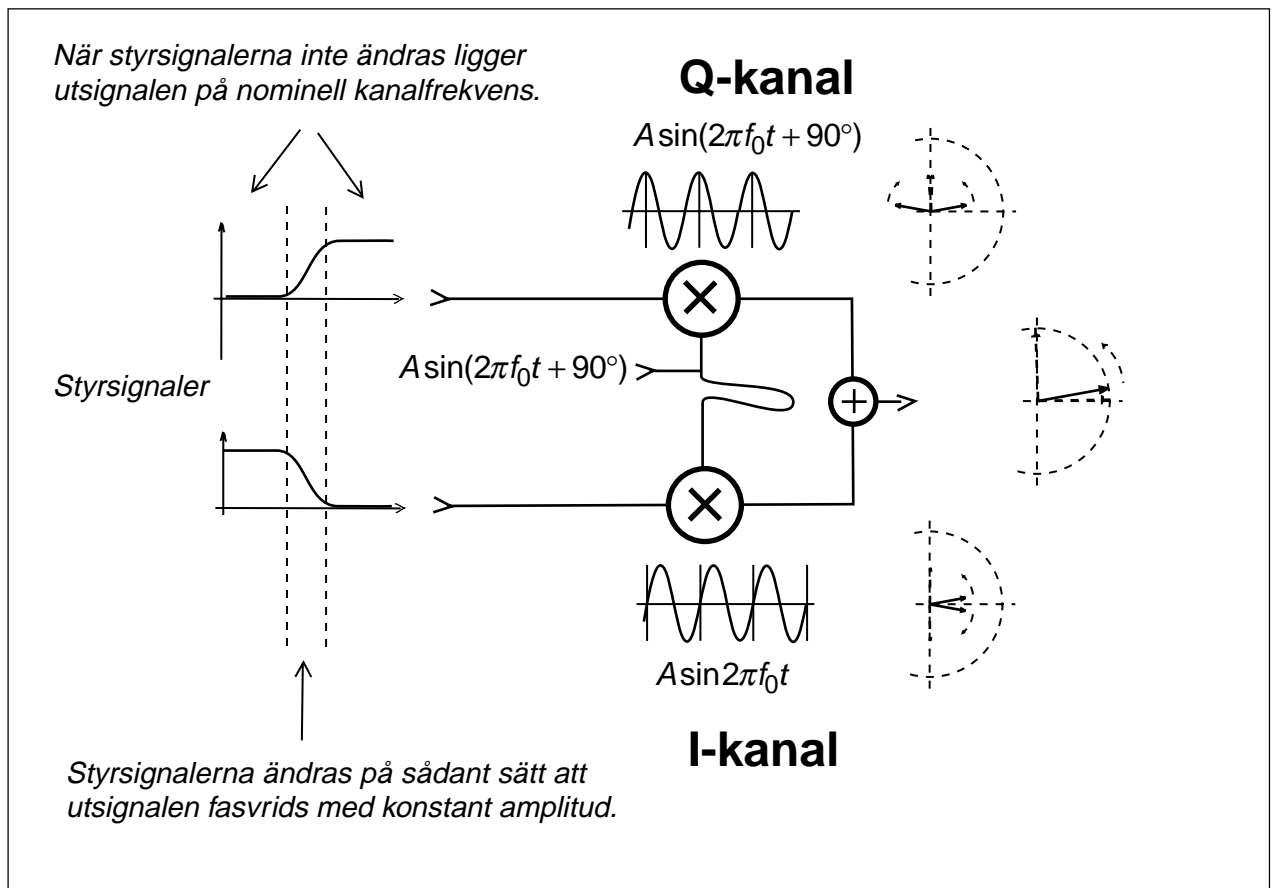
Med dessa båda signaler kan vi åstadkomma fasvriddning från noll grader till 90 grader genom att växla från den ena signa-

len till den andra. Först matar vi ut I-signalen, signalen med fasvinkeln noll grader. Sedan låter vi I-signalen avta mot noll, samtidigt som vi låter Q-signalen växa till full amplitud.

### QAM-modulering (QPSK)

Vad vi egentligen gör är att amplitudmodulera I- och Q-signalerna. Vi ändrar deras amplituder i "balanserade modulatorer", som även kan vända signalerna upp och ner, d.v.s. fasvrider 180 grader. På detta sätt kan vi åstadkomma utsignaler som är nominell kanalfrekvens vid faslägena 0 grader, 90 grader, 180 grader och 270 grader. Detta modulationssätt kallas vanligtvis QAM (Quad Amplitude Modulation), modulation av två signaler som ligger i kvadratur (90 grader fasförskjutna).

När man bara utnyttjar full amplitud på I- och Q-signalerna, d.v.s. visarspetsen ligger på cirkeln, så är ett annat namn på detta modulationssätt QPSK (Quad Phase Shift Keying). Denna beteckning återkommer vid beskrivning av CDMA.



Att stänga av en signal kan beskrivas i visardiagrammet som att dela upp visaren på hälften så långa visare och låta dessa vrida sig 90 grader åt vardera hållet. Summan av dessa båda visare är en enda visare vars amplitud avtar mot noll. En signal som stängs av delar alltså upp sig på två signaler, en med högre frekvens och en med lägre frekvens. Detta är inte samma sak som signalens spektrum. Ett spektrum består enbart av frekvenskomponenter som aldrig ändrar frekvenser och amplituder. Men de roterande visarna ger i alla fall en fingervisning om att signalen blir bredbandig när den stängs av.

Om vi låter I-signalen avta och Q-signalen växa, så ser vi hur de olika visarna adderas och subtraheras så att summan blir en enda visare med konstant amplitud som vrider sig 90 grader. Utsignalen är identisk med FSK, d.v.s. under själva vridningen ändras nominell kanalfrekvens 67,7 kHz, trots att vi inte har tillgång till denna frekvens utan bara utgår från nominell kanalfrekvens.

Varför gör man så här om utsignalen ser ut på samma sätt som vid FSK? Jo, med två amplitudmodulatorer, QAM, är det lättare att åstadkomma fasvridningar som är exakt 90 grader.

### QAM — två transmissionskanaler

Om fasvridningen är exakt 90 grader så kan man använda en radiomottagare som återskapar sändarsignalerna  $\sin 2\pi f_0 t$  respektive  $\sin(2\pi f_0 t + 90^\circ)$ . Dessa båda signaler används för koherent (fasriktig) detektering av antensignalen. Då får man i den ena mottagardetektorn den del av sändarsignalen som ligger i fas med  $\sin 2\pi f_0 t$ , I-kanalen, och i den andra mottagardetektorn den del av signalen som ligger i fas med  $\sin(2\pi f_0 t + 90^\circ)$ , Q-kanalen.

### Staggered 4-QAM

GSM-signalen skiftar bara mellan fyra faslägen och alltid med full amplitud. Vi har fyra symbolpunkter i amplitud-fas-diagrammet. Därför är MSK en variant av 4-QAM.

Men GSM-signalen flyttar sig inte mellan symbolpunkterna hur som helst, utan bara 90 grader i taget. Detta innebär att vi i

praktiken växlar mellan I- och Q-kanalerna. I ena tidsögonblicket använder vi I-kanalen, i nästa ögonblick skiftar vi till Q-kanalen o.s.v.

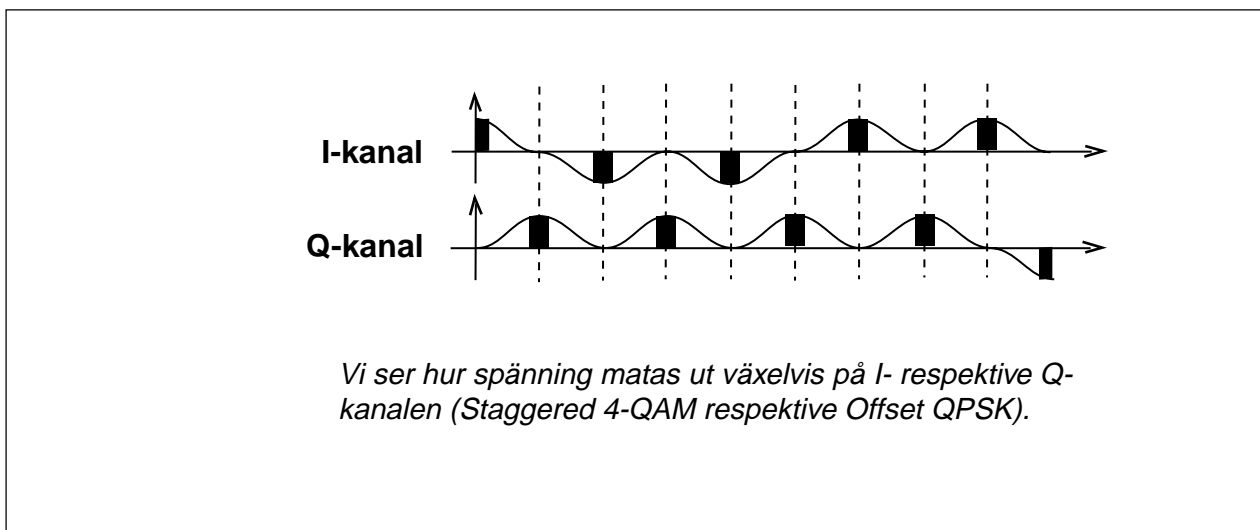
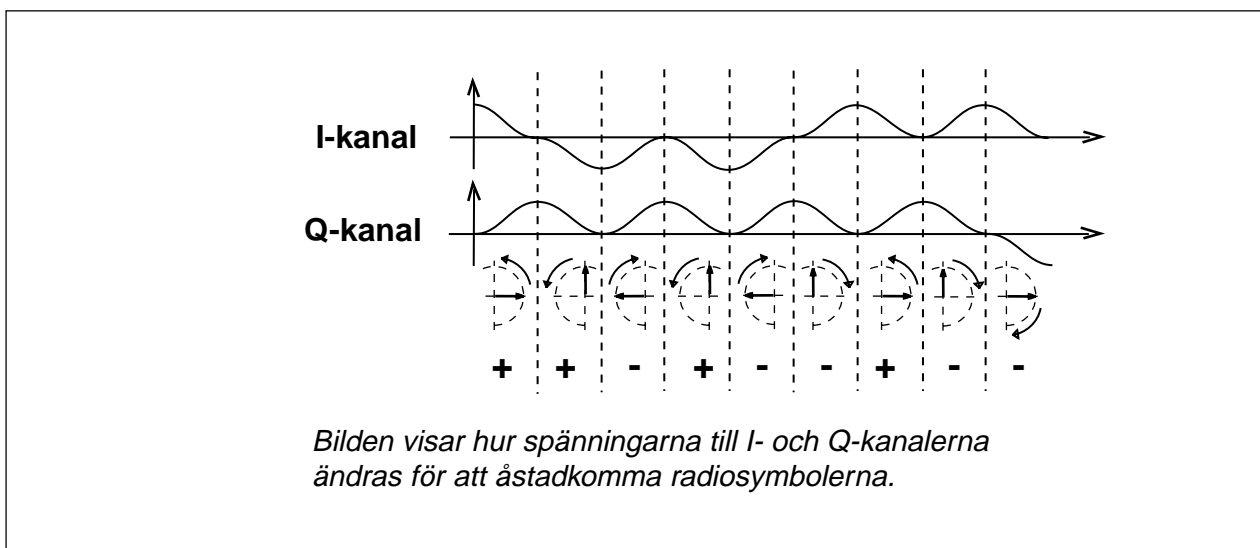
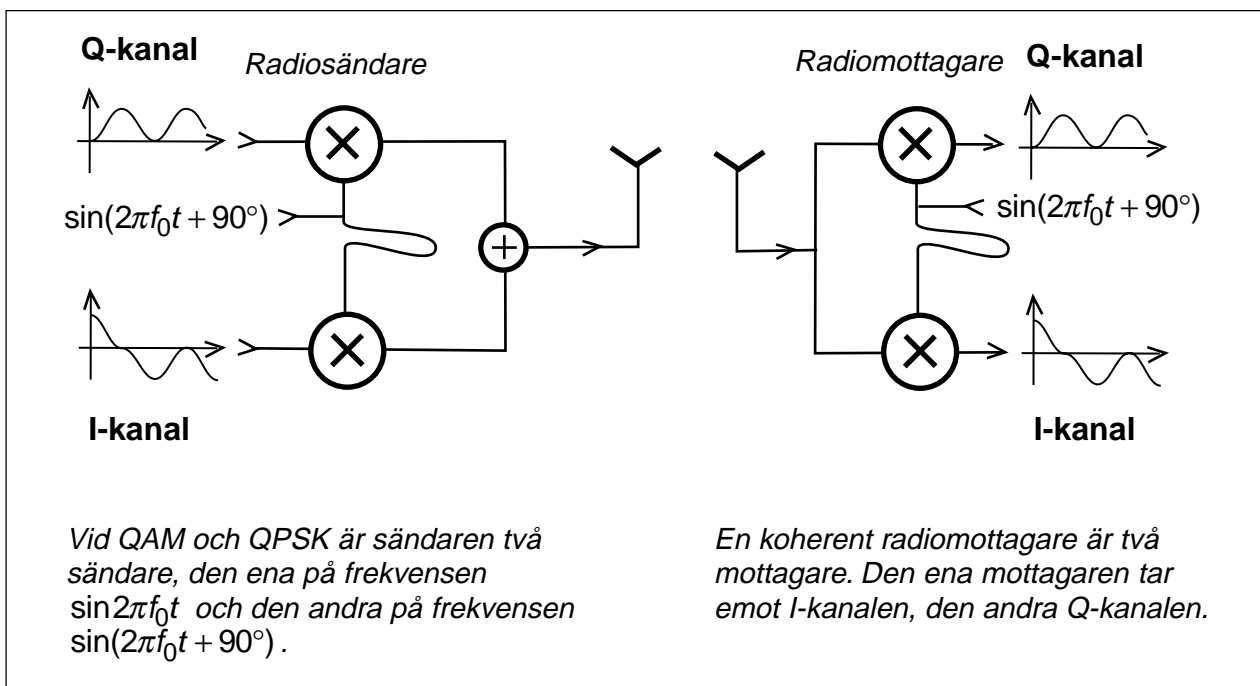
### BPSK — QPSK — OQPSK

I-kanalen växlar mellan sina ytterlägen, vid 0 grader och 180 grader. Därför är I-kanalen BPSK-modulerad (Binary Phase Shift Keying, fasskiftmodulering med två lägen).

Även Q-kanalen är BPSK-modulerad, med ytterlägena vid 90 grader och 270 grader.

När både I- och Q-kanalerna utnyttjas samtidigt så talar man om QPSK (Quad Phase Shift Keying, fasskiftmodulering i kvadratur).

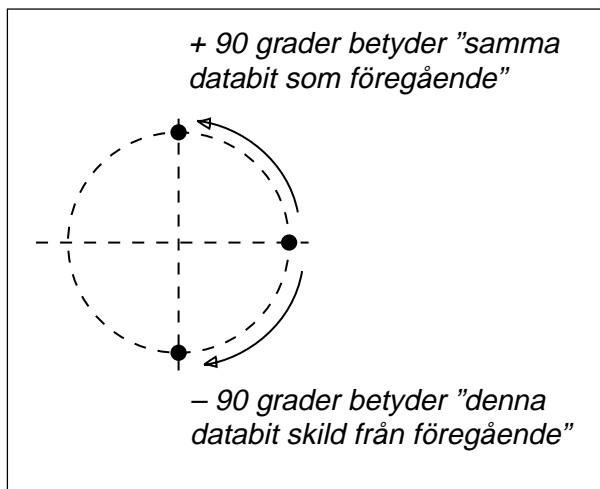
GSM modulerar först I-kanalen, sedan Q-kanalen, sedan I-kanalen o.s.v. Då talar man om OQPSK (Offset QPSK), d.v.s. ett modulationssätt där man växelvis modulerar I- och Q-kanalerna. Detta är samma sak som staggered 4-QAM.



### 13.6 Hur databiten mappas på radiosymbolen

Hittills har vi talat om de två radiosymbolerna:

- Symbol "A" som innebär att sändarsignalen fasvrids +90 grader, identiskt med att sändarfrekvensen ligger 67,7 kHz högre än nominell kanalfrekvens under symboltiden.
- Symbol "B" som innebär att sändarsignalen fasvrids -90 grader, identiskt med att sändarfrekvensen ligger 67,7 kHz lägre än nominell kanalfrekvens under symboltiden.



Symbol "A" sänds när databiten (n) är samma som föregående databit (n-1), och symbol "B" sänds när databiten (n) är skild från föregående databit (n-1).

#### GSM utgår från 120 millisekunder

- I GSM utgår man från 120 ms som delas in i 26 TDMA-ramar (Time Division Multiple Access).
- Varje TDMA-ram delas in i åtta tidluckor (TS, Time Slot).
- Varje tidlucka delas in i 156,25 symboltider.

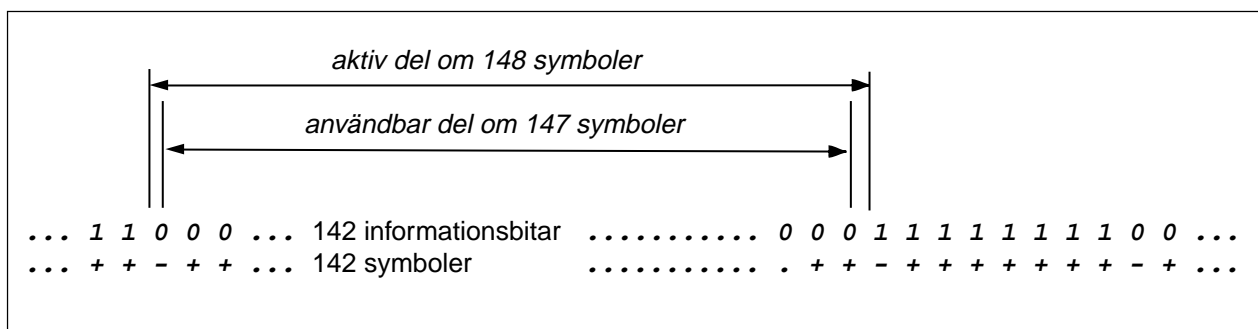
Om varje tidlucka är 156,25 symboltider, så blir TDMA-ramen åtta gånger så bred, lika med 1250 symboltider, och på 120 ms går det 26 gånger så många symboltider, lika med 32 500 symboltider.

#### Varje dataskur består av 142 informationsbitar ...

Varje dataskur innehåller 142 informationsbitar, kombinationer av ettor och nollor beroende på den information som skall överföras.

#### ... med tre nollor och oändligt antal ettor runt omkring

Före och efter dessa 142 informationsbitar har man adderat tre nollor, totalt 148 databitar. Före och efter dessa 148 databitar finns ettor fram till nästa dataskur om 148 databitar.



När denna dataström omvandlas till symboler kommer sändarfrekvensen att ligga på +67,7 kHz mellan dataskurarna. Vid den första inledande nollan ändras frekvensen till -67,7 kHz för att sedan återgå till +67,7 kHz. På samma sätt avslutas varje dataskur med ett frekvensskift från +67,7 kHz till -67,7 kHz och tillbaka till +67,7 kHz.

### Baskanalen (base channel, TRX1)

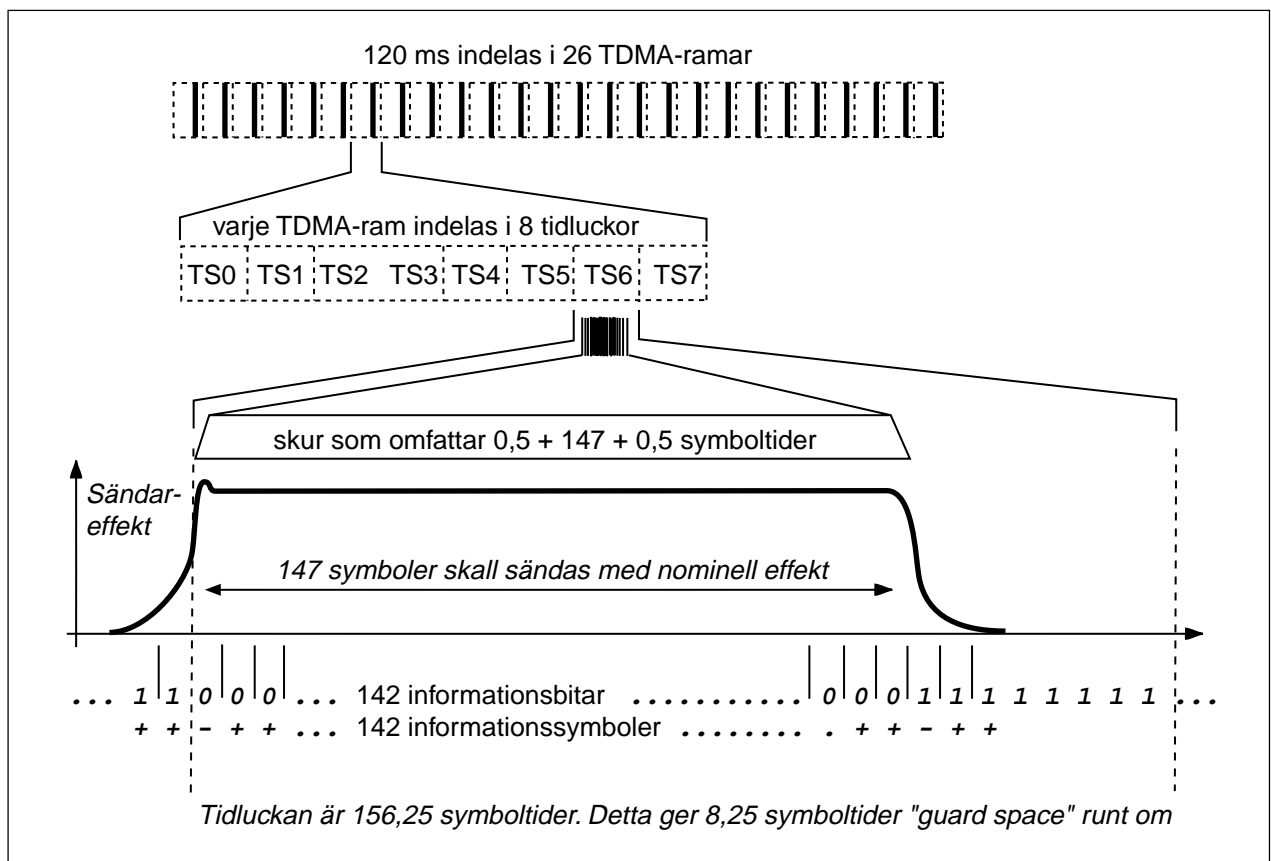
Varje basstation har en sändare som sänder hela tiden, även mellan dataskurarna. Denna sändare tillhör TRX1 och sänder på den frekvenskanal som kallas baskanalen (base channel). Ordet bas används här för att beteckna den frekvenskanal som används för basstationens identifiering.

På baskanalen skall alltid finnas sändareffekt för att TRX1 skall kunna hittas av ficktelefonen oavsett i vilket tidsögonblick ficktelefonen letar (vid påslag och vid mätning på närliggande celler). Därför sänds datasymboler även mellan dataskurarna på TRX1. Och dataskurar som inte används för tillfället, lediga trafiktidluckor och I (idle), fylls med 142 "slumpdatabitar", en så kallad dummy-frame.

### Övriga sändare är tysta mellan dataskurarna

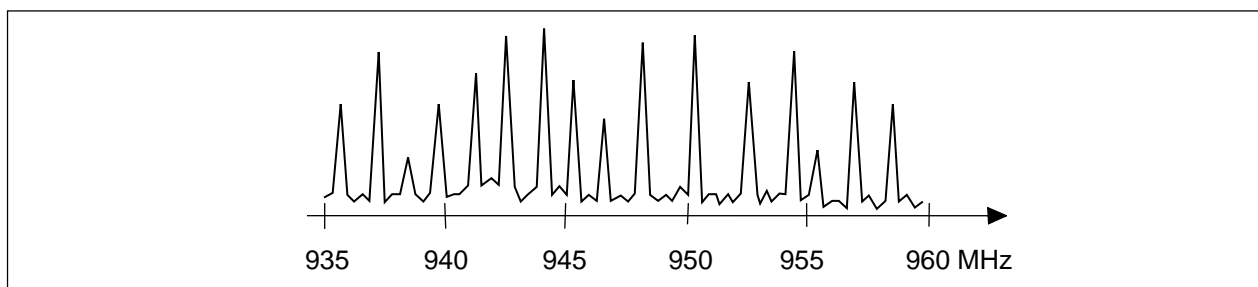
Övriga radiosändare (TRX2 o.s.v. och ficktelefonerna) är tysta när de inte har något att sända.

Att starta sändaren innebär amplitudmodulering, som ger sidband runt signalens frekvens. En lång följd av nollor eller ettor innebär att signalens frekvens ligger 67,7 kHz högre än nominell kanalfrekvens. Om sändaren startas eller stoppas i detta läge kommer sidbanden att centreras runt denna signalfrekvens som ligger 67,7 kHz för högt. Signalens spektrum centreras inte i frekvenskanalen. Men genom att starta och stoppa sändaren när man har frekvensväxling från +67,7 kHz till -67,7 kHz eller tvärtom så kommer spektrat att fördela sig symmetriskt runt nominell kanalfrekvens.



## 13.7 När man slår på sin ficktelefon

När ficktelefonen slås på så letar den efter basstationssändare. Den ändrar mottagarfrekvens från 935 till 960 MHz, och vid varje frekvens där mottagaren tar emot signal så sparar mottagaren frekvens och signalstyrka i minnet.



När ficktelefonen avsökt hela frekvensbandet går den tillbaka till den signal som var starkast. Vad hör ficktelefonen? En enda lång följd av radiosymboler.

Var börjar tidluckorna? Hur räknar man tidluckor? Vilken tidlucka är TS0?

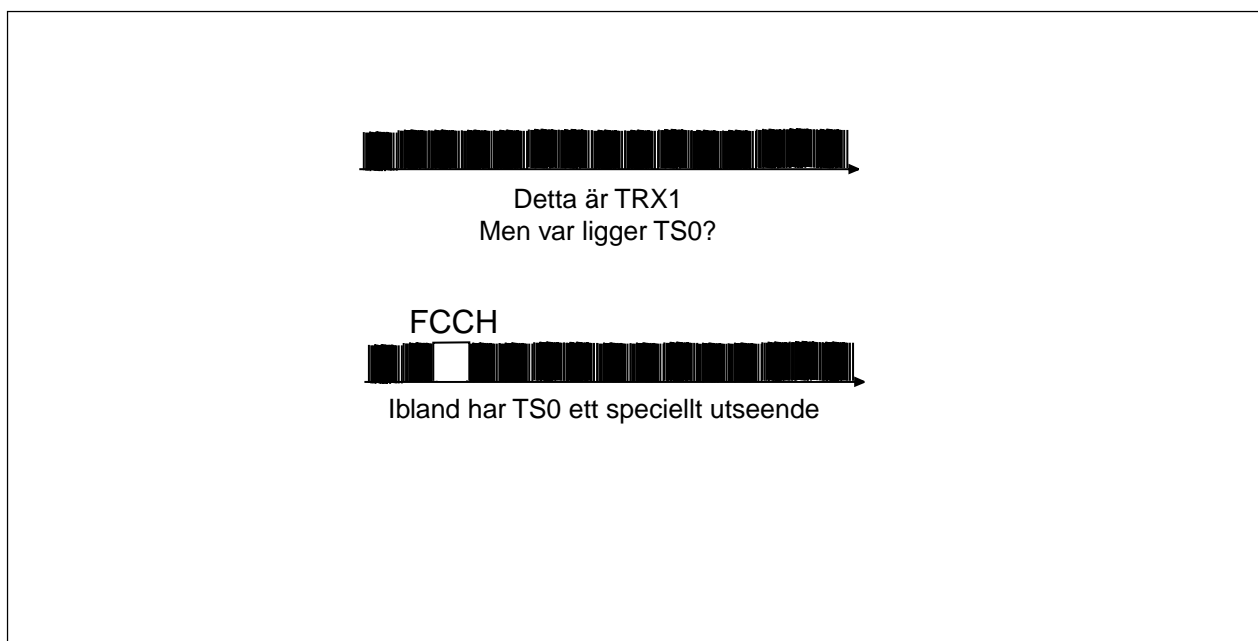
På TRX1 har TS0 ett speciellt utseende ungefär var 10:e gång den återkommer. Denna dataskur består av 148 "nollor" och är FCCH (Frequency Correction Channel).

Att sända 148 nollor i följd innebär att sändarfrekvensen kommer att ligga 67,7 kHz högre än nominell kanalfrekvens under en hel dataskur. FCCH-tidluckan är lätt att sär-

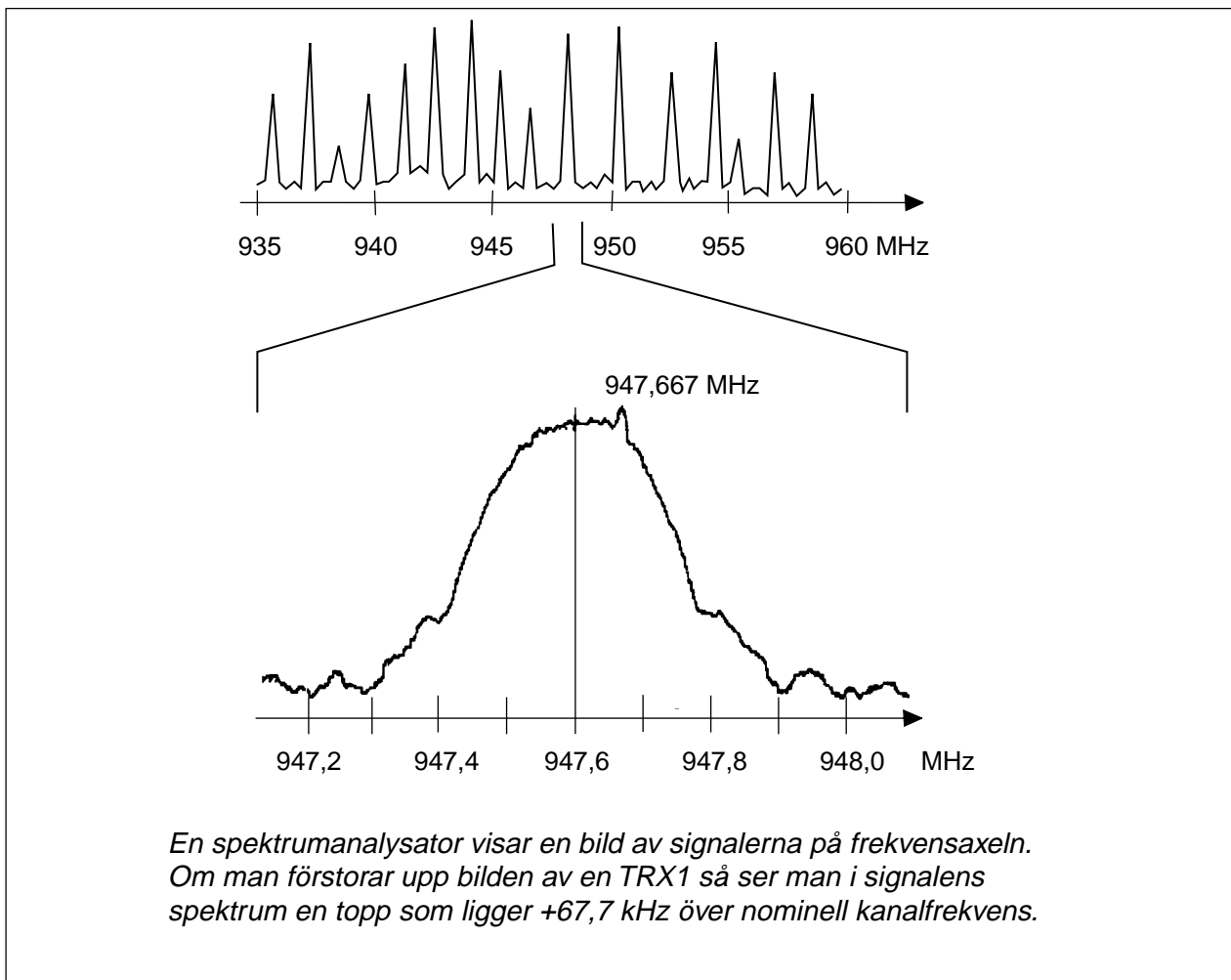
skilja från vanlig datainformation som är ett hoppande fram och tillbaka i frekvens.

FCCH-tidluckan kan användas av ficktelefonen för att finjustera ficktelefonens frekvensgenerator (frekvenssynkronisering), och tidluckans gränser identifieras av frekvensskiftet fram och tillbaka till  $-67,7$  kHz i början och slutet av tidluckan (ramsyrnk).

Om ficktelefonen inte hittar denna speciella tidlucka av 148 nollor, då är detta inte TRX1, inte en baskanal. Ficktelefonen byter frekvens till näst starkaste o.s.v. och fortsätter leta tills den hittar en sändare med FCCH.







### Syns i spektrum för TRX1

En spektrumanalysator är ett mätinstrument, en sorts radiomottagare, som sveper i frekvens och mäter signalstyrkan. En bild av detta ritas på en bildskärm.

I figuren ovan visas i den översta bilden ett svep över hela det frekvensband som används av GSM-basstationerna i 900 MHz-bandet (935 – 960 MHz). Vi ser en mängd basstationssändare fördelade över hela bandet.

Den undre bilden visar en delförstoring av en enda basstationssändare. Denna bild är så uppförstorad att vi ser något som liknar signalens amplitudspektrum.

Den GSM-sändare som sänder ut TRX1 kommer att ligga på +67,7 kHz relativt nominell kanalfrekvens under en hel tidlucka (FCCH-tidluckan) med ungefär 80 tidluckors mellanrum. Detta syns i signalens amplitudspektrum som en topp 67,7 kHz över nominell kanalfrekvens.



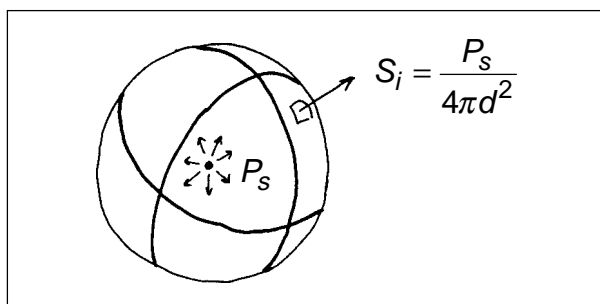
## **14 — Vad händer på radiosträckan?**

---

## 14.1 Fri sikt mellan antennerna

### Isotrop sändarantenn

Med isotropi menas att en viss egenskap är lika i alla riktningar. Den isotropa antennen sprider sändareffekten  $P_s$  lika starkt i alla riktningar. Ett sätt att beskriva hur mycket signal som finns på avståndet  $d$  är att dividera effekten med sfärens yta. Vi får effekttäthet från isotrop antenn,  $S_i$  (effekt per ytenhet).



### Isotrop mottagarantenn

Mottagarantennen är som en "håv" som fångar in effekttäthet. Den isotropa mottagarantennen fångar in lika mycket effekt oavsett varifrån signalen kommer, varför håvens "yta" ser lika stor ut från alla riktningar. Håvens yta kallas isotropa antennens mottagningsarea  $A_i$ .

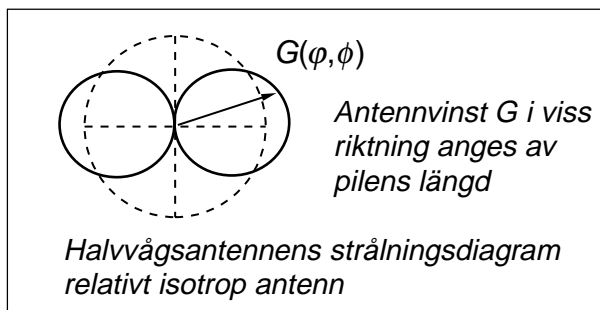
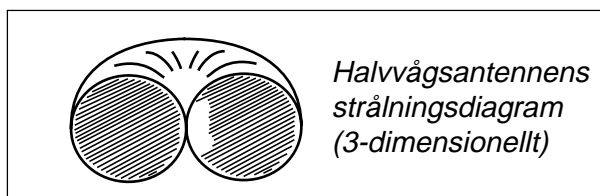
$$A_i = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$P_m = S_i \cdot A_i = \frac{P_s}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

### Verklig antenn har strålningsdiagram

Människan har inte funnit något sätt att konstruera isotropa antenner, utan alla antenner har mer eller mindre utpräglad riktverkan.

Antennens strålningsegenskaper, hur stor del av effekten som strålar ut i olika riktningar, beskrivs av antennens strålningsdiagram, som visar antennvinsten  $G$  i olika riktningar.



### Multiplisera med antennvinsten

Genom att multiplicera med antennvinsten  $G_s(\varphi, \phi)$  så får vi hur stor del av sändareffekten som strålar ut i olika riktningar.

Men även "håvens yta" påverkas av riktningen. Genom att multiplicera med antennens antennvinst  $G_m(\varphi, \phi)$  så får vi mottagningsarean, som beror på från vilken riktning signalen kommer.

$$P_m = [S_i \cdot G_s(\varphi, \phi)] \cdot [A_i \cdot G_m(\varphi, \phi)] =$$

$$= \frac{P_s \cdot G_s(\varphi, \phi)}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot G_m(\varphi, \phi)}{4\pi}$$

### dBi respektive dBd

Antennvinsten uttrycks normalt i dB relativt en referensantenn och har samma värde oavsett om antennen används för sändning eller för mottagning. Eftersom man inte kan konstruera en isotrop antenn så mäter man genom att jämföra mot maxsignalen från en halv vågs dipolantenn. Detta uppmätta värde

anges i dBd.

Om man hade kunnat jämföra mot en isotrop antenn skulle värdet bli 2,15 dB högre. Därför tar man dBd-värdet och adderar 2,15 dB för att få dBi-värdet.

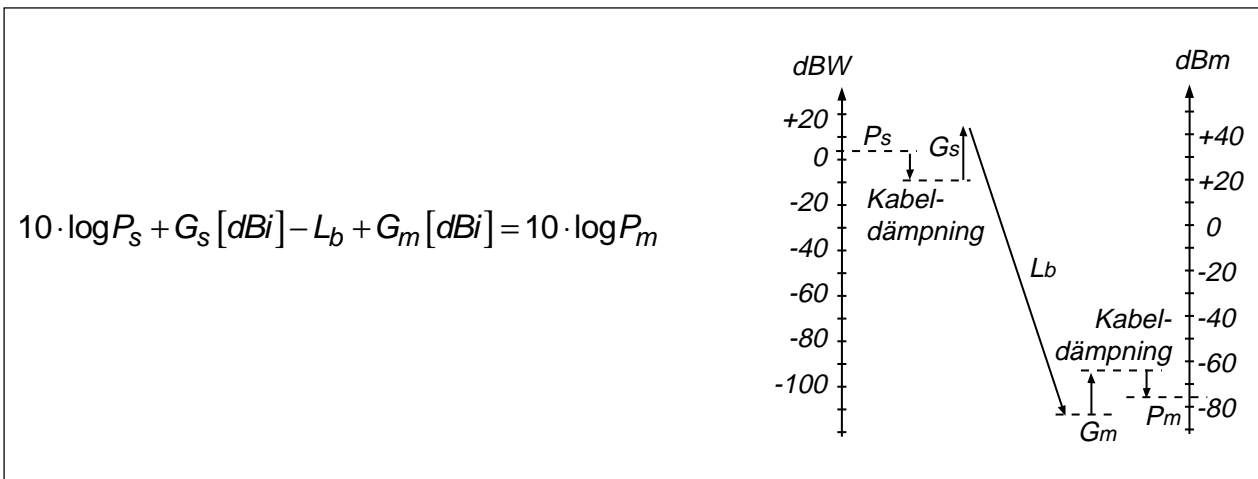
$$\text{dBi} = \text{dBd} + 2,15 \text{ dB}$$

## 14.2 Länkbudget

Vid frirumsutbredning (utbredning i fri rymd) får vi följande uttryck för den mottagna effekten  $P_m$ :

$$P_s \cdot G_s(\varphi, \phi) \cdot \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \cdot G_m(\varphi, \phi) = P_m$$

Om vi omvandlar till decibel kan vi rita upp ett diagram som visar hur signalnivån avtar längs utbreddningssträckan.



Dämpningen mellan isotropa antenner  $L_b$  beräknas enligt följande vid frirumsutbredning:

$$L_b = 10 \cdot \log \left[ \frac{4\pi d}{\lambda} \right]^2 = 32,4 + 20 \cdot \log d_{km} + 20 \cdot \log f_{MHz}$$

<p><i>En "budget", länkbudget, för att beräkna vilken effekt som kommer fram till mottagaren.</i></p>	<p>Sändareffekt <math>10 \cdot \log P_s</math> ..... + ____ [dBW]                  Eventuell kabeldämpning ..... - ____ [dB]                  Antennvinst vid sändaren <math>G_s(\varphi, \phi)</math>: ..... + ____ [dBi]</p>
	<p>Sträckdämpning <math>L_b</math> ..... - ____ [dB]</p>
	<p>Antennvinst vid mottagaren <math>G_m(\varphi, \phi)</math>: .. + ____ [dBi]                  Eventuell kabeldämpning ..... - ____ [dB]                  Omvandling till dBm: ..... + <u>30</u> [dB]</p>
	<p>Summa effekt till radiomottagaren: ..... ____ [dBm]</p>

## 14.3 Hinderdämpning

Om man inte har fri sikt, då är det något som hindrar signalen att komma fram. Sikten kan vara skymd av skog, en kulle eller ett hus.

### I skogen

När man befinner sig i skog med ficktelefonen så absorberas signal av träden. Ju högre frekvensen blir, desto högre blir dämpningen.

När man vid 450 MHz kan få 10 dB extra dämpning på grund av träden, så kan dämpningen uppgå till 20 dB vid 900 MHz, och bli över 30 dB vid 1800 MHz. Därför är låg frekvens att föredra i glesbygdsområden.

### I staden

Men vad händer om det står hus i vägen? Jo, runt hörn och över kanter sker spridning av radiosignalen, kniveggsbrytning, dispersion. Och mot andra byggnader kan signalen reflekteras.

Radiosignalen går inte ”i ett smalt rör” utan håller sig inom en ellipsformad volym kallad 1:a Fresnelzonen. Ju högre frekvens, desto smalare blir 1:a Fresnelzonen, och desto mindre ytor krävs för att reflektera signalen med låg dämpning.

Vid 450 MHz har signalen svårare att hitta ytor stora nog för att reflektera sig fram i städerna, och fönster stora nog för att ta sig in i byggnader. Därför är 1800 MHz ett bättre frekvensval för mobiltelefoni i städerna.

- **Hinderdämpning**

Benämningen hinderdämpning syftar på den fysikaliska orsaken: Radiostrålen hindras.

- **Skuggfädning**

Ett annat namn på hinderdämpning är skuggfädning. Ordet fädning betyder att radiosignalen varierar i styrka. När man rör sig i stadsmiljö eller kuperad terräng så hamnar man titt som tätt i skugga bakom hinder. Radiosignalen blir svagare, och sedan starkare igen när vi kommer fram bakom hindret. Ordet skuggfädning syftar på hur vi upplever signalen, nämligen att signalens amplitud varierar, signalen fädar, på grund av

att vi åker in och ut ur ”radioskugga”.

- **Långsam fädning**

Ännu en benämning på hinderdämpning är långsam fädning. Denna benämning syftar på att avståndet mellan punkter där den mottagna signalen är svag är i storleksordningen tiotals meter. När man åker bil i skuggfädning så kommer signalen att fäda relativt långsamt. Långsam fädning är ett namn som beskriver hur signalen upplevs i tiden.

- **Log-normal fädning**

Om man åker omkring i ett område med skuggfädning och mäter den mottagna signaleffekten uttryckt i dBm eller dBW, så kommer mätvärdena att gruppera sig runt medelvärdet enligt normalfördelningen, d.v.s. signalstyrkan uttryckt i dB (dBm eller dBW) är normalfördelad. Benämningen log-normal fädning är statistikerns sätt att beskriva det som fysikaliskt är hinderdämpning.

### Om signalen helt försvinner?

Om hinderdämpningen är så hög att den mottagna signalen drunknar i brus eller störningar, helt försvinner, så finns inget annat botemedel än att sätta upp fler basstationer.

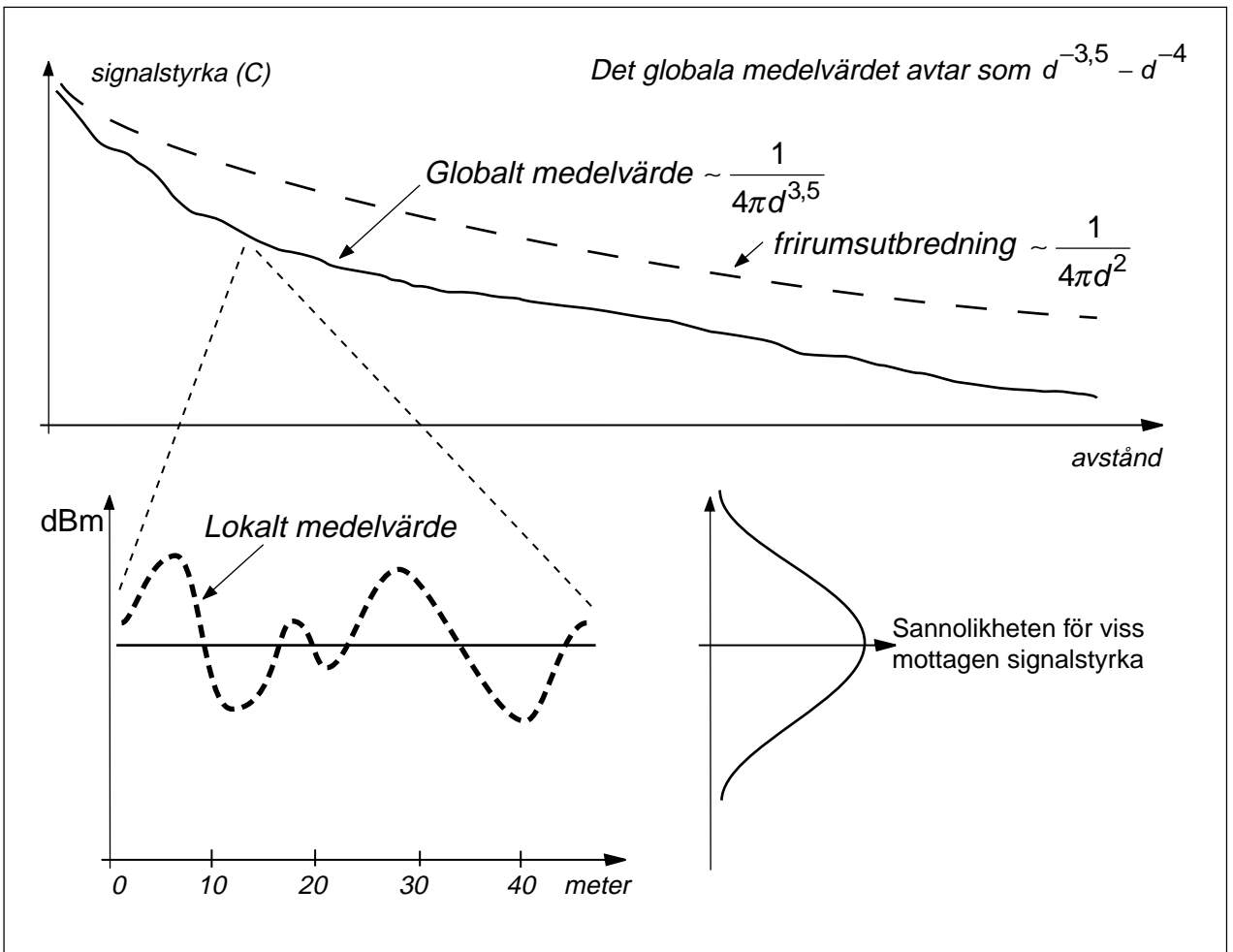
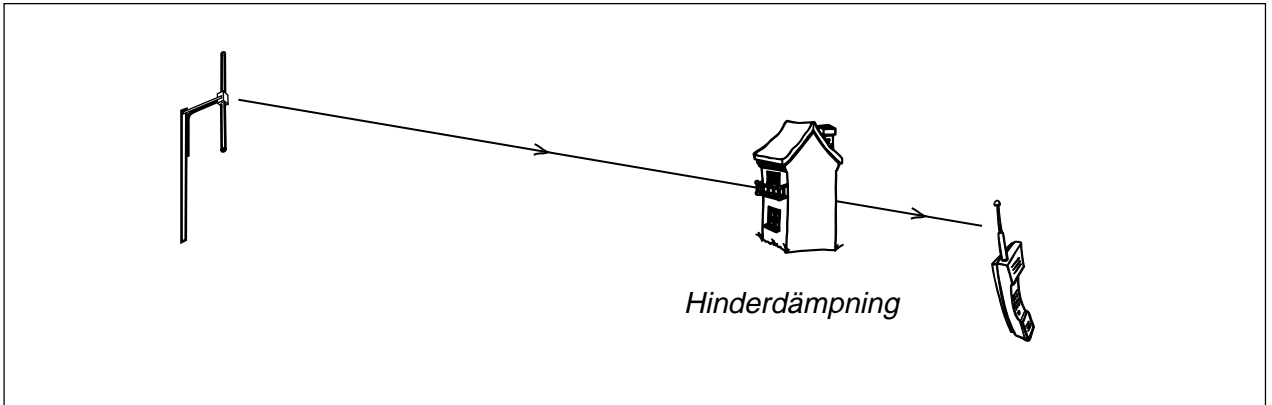
### Globalt och lokalt medelvärde

Det globala medelvärdet är ett utjämnat värde där man avlägsnat alla lokala variationer.

Går vi in och tittar på signalstyrkan i detalj upptäcker vi lokala variationer med signalstyrkevariationer över avstånd på tiotals meter. Detta är hinderdämpning.

Lokala medelvärdet är normalfördelat runt globala medelvärdet, om signalstyrkan uttrycks logaritmiskt, d.v.s. i dB (dBm eller dBW mottagen effekt).

# 14 — Vad händer på radiosträckan?



## 14.4 Vågutbredningsmodeller

Ända sedan radions barndom har det funnits behov av att kunna förutsäga hur hög sändareffekt som behöver matas till sändarantennen för att man skall få ut viss effekt ur mottagarantennen. Man behöver planeringsverktyg för att bygga radionät.

Genom att mäta på verkliga förbindelser och jämföra med motsvarande dämpning vid fri sikt, så försökte man hitta metoder att kunna förutsäga den extra dämpning som uppstod vid vågutbredning över verklig mark.

Till en början gällde det frekvenser under 3 MHz, och man fann att tillsattdämpningen blev olika beroende på om radiovågen gick över land eller över vatten.

Från 1925 utvidgades frekvensområdet till 30 MHz, jonosfärutbredning, och signalstyrkan påverkades av solfläckarna, av årstiden och av tiden på dygnet.

Avsikten med vågutbredningsmodellerna har aldrig varit att beskriva vad som händer fysikaliskt. Det räcker att resultatet blir så riktigt som möjligt.

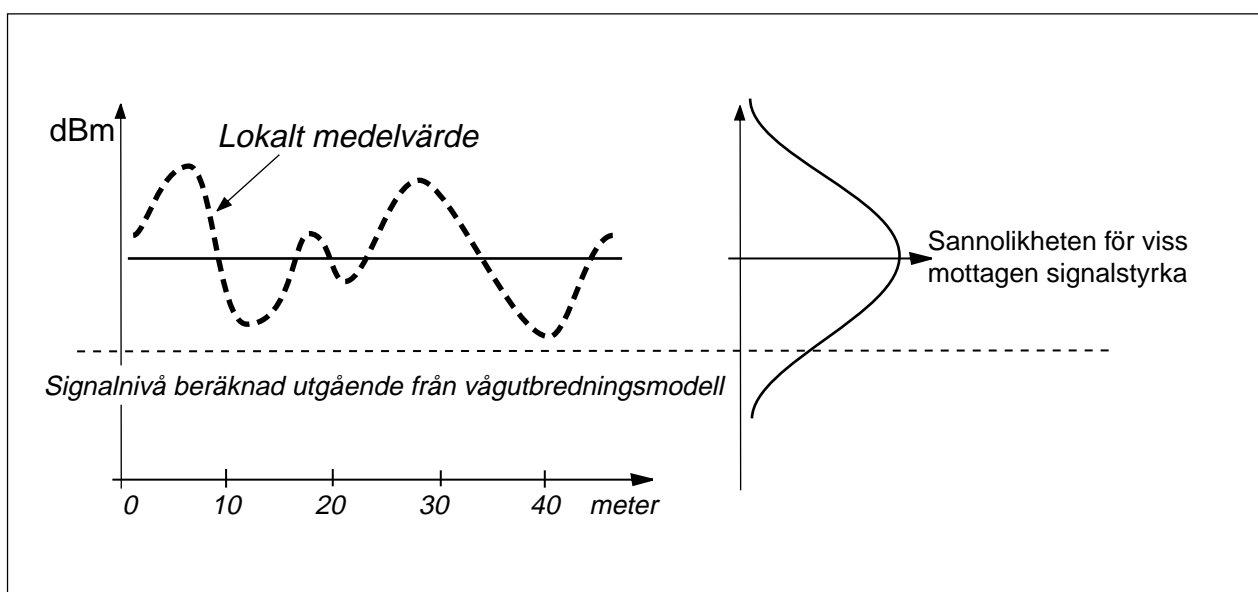
Vågutbredningsmodellerna tar fram ett värde på den elementära transmissionsförlusten  $L_b$  som tar hänsyn till globala medelvärdet och de variationer man har hos det lokala medelvärdet.

### Okumura

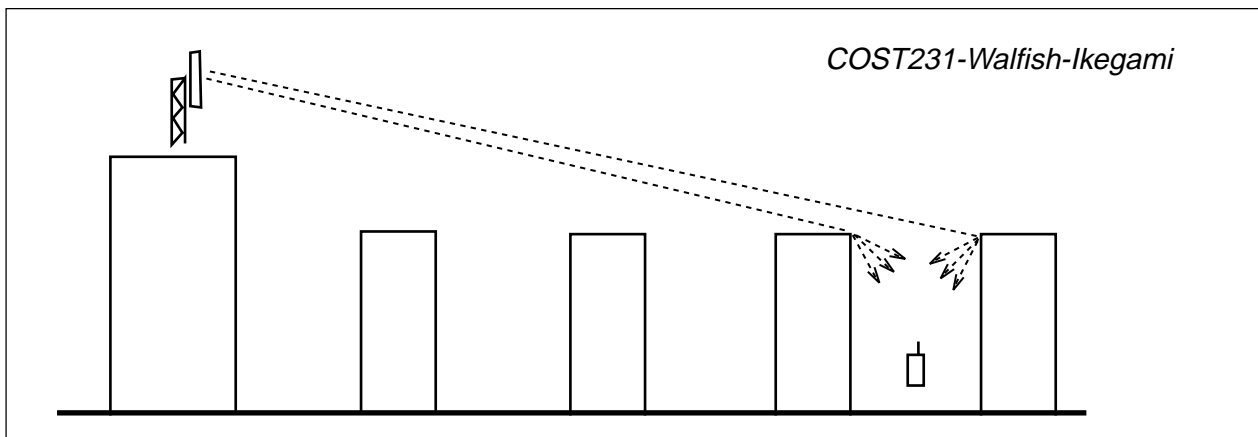
På 1950-talet började man använda högre frekvenser, först för rundradio, sedan även för mobil kommunikation. År 1968 presenterade Okumura en grafisk metod baserad på vågutbredningsmätningar i Tokyo i frekvensområdet 150 – 1500 MHz, att användas vid planering av mobilkommunikationsnät. Metoden utgår från frirumsdämpningen med korrektion för utbredning i stadsmiljö när basstationsantennen sitter på 200 m höjd och mobilens antenn befinner sig på 3 m höjd, varefter man korrigerar för verkliga antennhöjder. Därefter korrigerar man för hur gatunätet är orienterat, om det är förort eller landsbygd, om terrängen lutar, om det är en blandning av land och vatten, om terrängen är kuperad, om där finns enstaka höga berg.

### Okumura-Hata

Okumuras metod är grafisk, bygger på kurvskaror. År 1980 överförde Hata dessa kurvor till matematisk form för att möjliggöra datorberäkning av täckningsdiagram.







### COST231-Hata

Inom ramen för det europeiska COST-projektet har man utvecklat en utvidgad Okumura-Hata-modell för frekvensområdet 1,5 – 2 GHz, ett önskemål för utbyggnaden av GSM 1800.

### Diffraktionsmodeller, COST231-Walfish-Ikegami

ETSI ville få fram bättre planeringsverktyg för småcellsystem i stadsmiljö inom 800 – 2000 MHz, och utlyste en tävling som avgjordes genom att testa de inlämnade förslagen mot ett verkligt nät i München.

Förutsättningarna var vågutbredning i stadsmiljö, där basstationsantennen bestrålar stadsbebyggelse och radiostrålarna bryts mot byggnadernas hörn och tar sig ner till gatunivå. Modellen tar hänsyn till frisiktsdämpning (free space loss), diffraktion och spridning från hustak till gatunivå (rooftop to street diffraction and scatter loss) och avskärmning (multiscreen loss).

Den vågutbredningsmodell man valde benämns COST231-Walfish-Ikegami, efter ETSI-projektet COST231 och upphovsmännen.

### 3D-simuleringar

Genom att ta hänsyn till hindren i tre dimensioner försöker man få fram planeringsverktyg som klarar att beskriva mottagen signal med ännu större noggrannhet, främst på höga frekvenser i stadsmiljö och inomhus.

### Quick model

En författare nämner, förutom tidigare uppräknade vågutbredningsmodeller, en metod som kallas "Quick model". Den lyder som följer:

$$L_b = 121 + 36 \cdot \log D_{km} \quad (880 \text{ MHz})$$

$$L_b = 130 + 40 \cdot \log D_{km} \quad (1900 \text{ MHz})$$

Quick model innehåller inga korrektionsfaktorer, ingen anpassning till lokala förhållanden. Visst innebär detta att beräkningen är osäker. Men frågan är om de övriga metoderna ger säkrare resultat, trots detaljrikedom. Risken är snarast att man invaggas i tron att det beräknade resultatet är noggrannare än vad det egentligen är.

### Vågutbredningsmodeller och verkligheten

Vågutbredningsmodellerna är planeringsverktyg när man bygger radionät. Modellerna grundar sig på mätningar i verklig miljö, utförda med viss utrustning och vissa typer av antenner, med vissa strålningsdiagram. Eftersom verklig vågutbredning innebär flervågutbredning med strålar som gått olika vägar och därför strålar ut eller infaller under olika vinklar, så kommer antenner med andra strålningsdiagram att kunna ge andra resultat.

## 14.5 Reflexer

Det normala vid mobil kommunikation är inte en enda radiostråle från sändarantennen till mottagarantennen, utan flera strålar, radiostrålar som reflekterats mot byggnader och föremål i omgivningen. Förutsättningen för att få reflex är att ytan är elektriskt ledande, så att den kan agera mottagarantenn och därefter sändarantenn, d.v.s. stråla ut den effekt som just mottagits.

Det är inte nödvändigt med perfekt ledningsförmåga. Även träd reflekterar radiosignalen. Fukten i saven gör träden elektriskt ledande. Viss del av den mottagna effekten går till uppvärmning, resten återutstrålas. Men visst är lyktstolpen av metall en bättre reflektor. Fast träden kan vara så många fler.

### Fältstyrkor kan inte adderas

Låt oss titta på ett fall med endast en reflex. Vid mottagarantennen har vi två fältstyrkor, en fältstyrka från direktstrålen och en fältstyrka från den reflekterade strålen. Kan vi addera dessa båda fältstyrkor till en total fältstyrka (vektoraddition, amplitud och fas)?

Först låter vi bli att addera fältstyrkorna. Fältstyrkan från direktstrålen ger upphov till spänning i mottagarantennen, en spänning vars amplitud  $U_1$  beror på sändareffekten, avståndet samt sändar- och mottagarantennens antennvinster i den riktningen. Reflekterade strålen ger upphov till spänningen  $U_2$  vars amplitud beror på sändareffekten, det nya avståndet, den reflekterande ytan samt sändar- och mottagarantennernas antennvinster i den riktning som gäller för den reflekterade strålen.

Om vi först adderar fältstyrkorna och sedan beräknar vilken spänning denna totala fältstyrka ger upphov till, då tappar vi

riktningsberoendet. Antag att mottagarantennen är en riktantenn med antennvinsten  $-30$  dBi i riktning mot reflexen. Då blir  $U_2 \approx 0$ . Vi får bara mottagen spänning från direktstrålen, som om vi inte har några reflexer. Detta missar vi om vi först adderar fältstyrkorna.

Fältstyrkor kan aldrig adderas så att fältstyrkan blir noll. Däremot kan mottagna spänningar adderas så att spänningen på mottagarantennen blir noll.

### Kan spänningarna adderas?

Nästa fråga blir naturligtvis: Kan spänningarna på mottagarantennen verkligen adderas? Svaret på den frågan är ja, men man måste vara försiktig.

$$U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin 2\pi f (t - \Delta t) = ?$$

Två sinusuttryck med olika amplituder. Det är väl bara att plocka fram formelsamlingen?

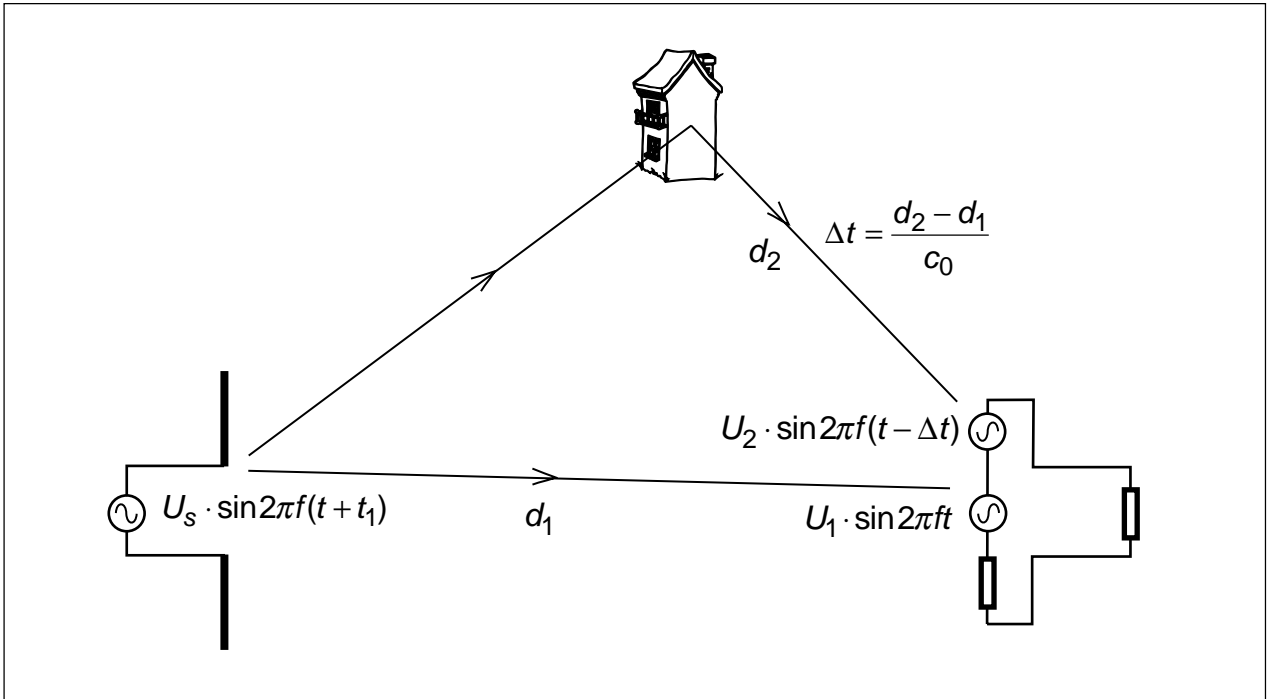
Nej! GSM-sändaren är modulerad. Vid GSM är sändaren frekvensmodulerad. Sändaren hoppar mellan två frekvenser beroende på vilken av symbolerna som sänds. I den spänning som bildas av direktstrålen skall frekvensen vara den frekvens sändaren hade vid tiden  $t - t_1$  medan spänningen från den reflekterade strålen skall innehålla den frekvens sändaren hade vid tiden  $t - t_1 - \Delta t$ . Spänningen  $U_2$  bildades tiden  $\Delta t$  tidigare i sändaren.

$$U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin 2\pi f (t - \Delta t) = ?$$

*Har bägge sinusspänningarna verkligen samma frekvens?*

$$= U_1 \cdot \sin 2\pi f_1 t + U_2 \cdot \sin [2\pi f_{t-\Delta t} t - 2\pi f_{t-\Delta t} \Delta t] = ?$$

# 14 — Vad händer på radiosträckan?



### Korta reflexer

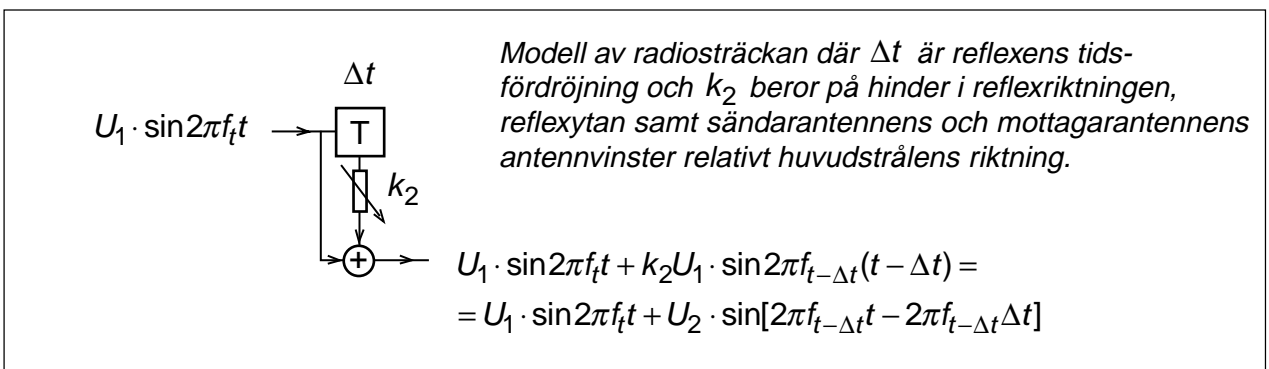
Problemet att addera antennspänningarna kan delas upp i två specialfall. Det ena fallet är när  $\Delta t < 0,2 \cdot T_S$ , d.v.s. när tidsfördröjningen är mindre än 20 % av symboltiden. Då kan man approximativt räkna med att både direktstrålen och den reflekterade strålen har samma frekvens. Men när sändaren byter från en symbol till nästa?

Den gaussiska filtreringen innebär att sändaren inte hoppar mellan frekvenserna utan sveper, relativt mjukt. Om tidsfördröjningen inte är längre än 20 % av symboltiden kan man därför räkna med att frekvenserna är tillräckligt lika och frekvensändringen tillräckligt liten för att vi skall kunna addera spänningarna vektoriellt. Radio-

mottagaren uppfattar detta som en enda antennspänning, vars amplitud och fasvinkel är den vektoriella summan av de båda antennspänningarna.

### Långa reflexer

När den reflekterade strålen fördröjs en hel symboltid, då kommer de två antennspänningarna att få olika frekvenser under så stor del av tiden att radiomottagaren uppfattar att det är två spänningar. Problemet är snarast att radiomottagaren får informationen flera gånger, som ekon. Att höra gamla radiosymboler samtidigt som radiomottagaren försöker ta emot och tyda nya radiosymboler kan vara ytterst besvärande.



## 14.6 Korta reflexer

Reflexerna är korta när  $\Delta t < 0,2 \cdot T_S$ , d.v.s. när tidsfördröjningen är mindre än 20 % av symboltiden. Vad är maxvärdet på  $\Delta d$  för att reflexen skall betraktas som kort? Vi gör beräkningarna för GSM där  $T_S \approx 3,7 \mu\text{s}$ .

Reflekterade strålar som inte gått längre väg än 220 m jämfört med direktstrålen (eller den första om vi bara har reflexer) betraktas som korta reflexer.

### Summan av flera växelspanningar med samma frekvens kan bli noll

På mottagarantennen får vi i detta fall två spanningar med så gott som samma frekvens. Men spanningarna bildas av radiovågor som gått olika lång väg. Därför finns en tidsförskjutning mellan spanningarna. Denna tidsförskjutning  $\Delta t$  kan omvandlas till sträcka  $\Delta d$ , och kan med hjälp av den aktuella frekvensen  $f$  räknas om till fasvinkel  $\varphi$ .

Vi skall se på ett specialfall när en metallvägg befinner sig på avståndet  $x$  bakom en ficktelefon. Den reflekterade signalen har i detta fall gått sträckan  $\Delta d = 2x$  längre väg och vi tänker oss att båda antennspanningarna får samma amplitud på ficktelefonantennen.

### Antennspänningen varierar när ficktelefonen flyttas längs x-axeln

Om ficktelefonen flyttas mot eller från basstationen så ändras  $\Delta d$  och därmed även fasvinkeln  $\varphi$ . I vissa punkter hamnar antennspanningarna i motfas och summaspanningen blir låg. Avståndet mellan punkter med spanningsminimum blir en halv våg-

$$\Delta t = \frac{d_2 - d_1}{c_0} = \frac{\Delta d}{c_0}$$

$$\Rightarrow \Delta d \leq c_0 \cdot \Delta t = c_0 \cdot 0,2 \cdot T_S \approx 3 \cdot 10^8 \cdot 0,2 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} \approx 220 \text{ m}$$

längd, vid 900 MHz ca 16 cm och vid 1800 MHz ca 8 cm.

### Antennspänningen varierar om man byter frekvens

Fasvinkeln  $\varphi$  beror även på frekvensen  $f$ . Därför varierar summaspanningen om ficktelefonen står still men vi ändrar frekvens. Och självklart blir det så. Vår modell av radiosträckan när vi har reflexer är kombinationer av signalfördröjande element. Spolar och kondensatorer är två typer av signalfördröjande element. Alltså uppför sig radiosträckan som ett filter, när vi har reflexer.

Om spanningarna från direktstråle och reflex (fortfarande specialfallet med bara en reflex) är lika stora så får detta filter frekvenser där dämpningen är mycket hög. Summaspanningen blir noll. Vilka frekvenserna blir beror på tidsdifferensen  $\Delta t$  mellan spanningarna, som varierar med  $\Delta d$ . Avståndet mellan frekvenserna blir den frekvens som har sträckan  $\Delta d$  som våglängd.

Ju längre sträckan  $\Delta d$  är, desto mindre frekvensändring behövs för att summaspanningen skall växa till användbar nivå om man råkat hamna i en punkt där summaspanningen blir noll.

Summaspanning om frekvenserna är lika:

$$\begin{aligned} U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin[2\pi f t - \Delta t - 2\pi f t - \Delta t \Delta t] &= \\ = U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin[2\pi f t - 2\pi f \Delta t] &= \\ = U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin[2\pi f t - \varphi] & \end{aligned}$$

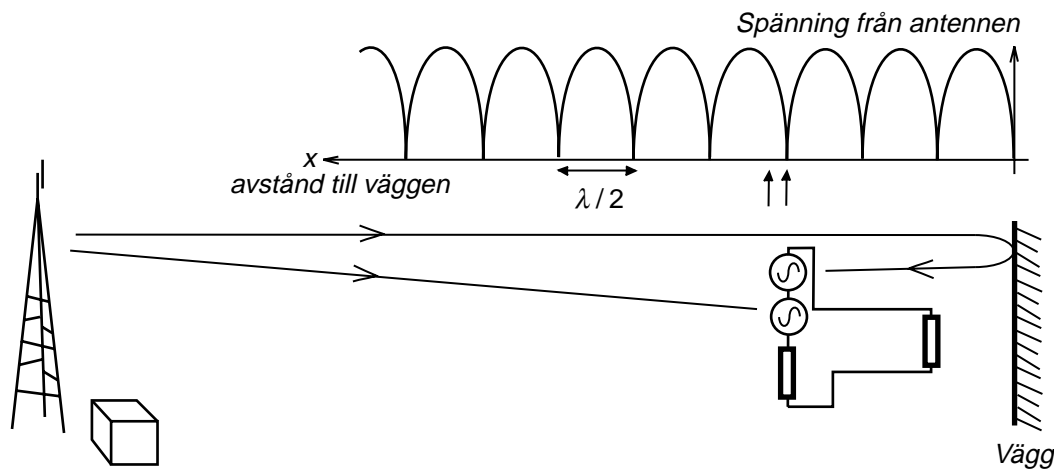
Fasvinkeln beror på gångvägsskillnaden och frekvensen:

$$\varphi = 2\pi \frac{f \cdot \Delta d}{c_0} = 2\pi \frac{\Delta d}{\lambda}$$

$$\text{Våglängd: } \lambda = \frac{c_0}{f}$$

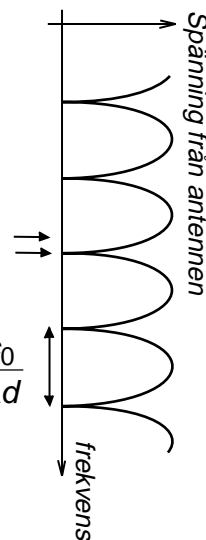
## 14 — Vad händer på radiosträckan?

Om summaspänningen från antennen är noll så räcker det att flytta sig  
bråkdelen av en våglängd mot eller från väggen för att få antennspänning.

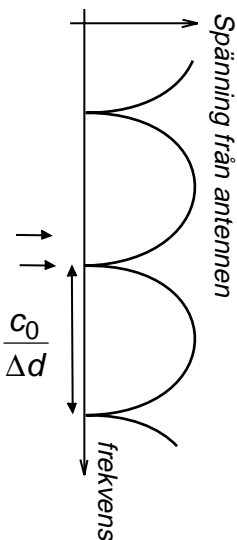


Om summaspänningen från  
antennen är noll så räcker  
det att byta frekvens för att  
få tillräcklig spänning.

$$\Delta f = \frac{c_0}{\Delta d}$$



$$\Delta f = \frac{c_0}{\Delta d}$$



Om reflexen är mycket kort, man befinner sig nära väggen,  
så krävs större frekvensändring för att få tillräcklig spänning.

**Korta reflexer — många namn**

Korta reflexer går under många namn:

- **Kort reflex**

Syftar på den fysikaliska orsaken, nämligen att vi har reflexer som gått kort extra tid  $\Delta t$ , eller kort extra vägsträcka  $\Delta d$  jämfört med huvudstrålen.

- **Snabb fädning**

Syftar på hur antennspänningen upplevs, nämligen att spänningens amplitud varierar snabbt, mellan brus och full amplitud, när vi går eller åker bil. Denna variation hördes i NMT. Vid GSM genereras bitfel som antingen kan korrigeras, eller också upprepar GSM-mottagaren det tal som mottogs under de tidigare 20 millisekunderna (tal sänds i 20 ms-block), eller också klipper mottagaren helt.

- **Rayleigh-fädning**

Syftar på att antennspänningen varierar enligt den statistiska Rayleigh-fördelningen när vi har många ungefär lika starka reflexer, eller Nakagami-Rice-fördelningen när vi har en stark dominerande radiostråle (direkt-signal) och dessutom många reflexer.

**Rumsdiversitet**

Antennspänningen, summan av delspänningarna, ändras om fasvinkeln mellan spänningarna ändras. Ett sätt att ändra fasvinkel är att ändra  $\Delta d$ . Detta utnyttjas på basstationen där man kan ha två mottagarantennar placerade ett stycke från varandra. Basstationen väljer den bästa antennen för att höra ficktelefonen. Detta kallas rumsdiversitet. "Diversitet" därför att vi har två vägar, två mottagarantennar att välja mellan, och "rums" därför att vi har brett ut oss i "rummet", rymden.

Observera att byte av antenn måste resultera i förändring av  $\Delta d$ . Det finns geometrier där detta villkor inte uppfylls.

**Polarisationsdiversitet**

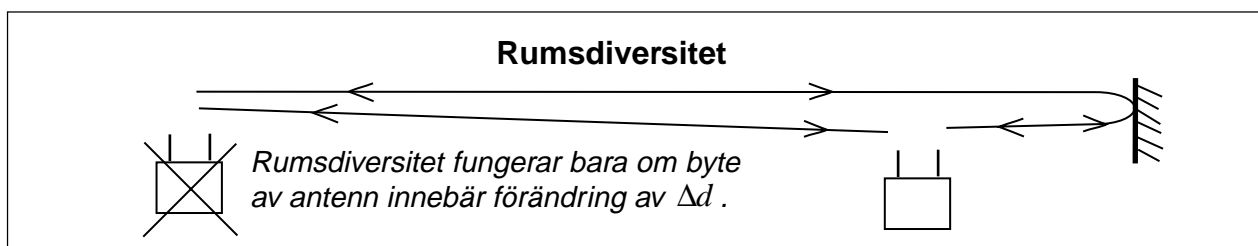
Även om radiosignalen sänds med vertikal polarisation, sändarantennen sitter vertikalt, så är det inte säkert att reflexerna är vertikal-polariserade. Reflexens polarisation beror på i vilken riktning ström kan flyta i det ledande föremål som utgör reflektionsytan. En mottagarantenn med fel polarisation tar emot en mindre del av radiostrålens spänning (cosinus för vinkeln).

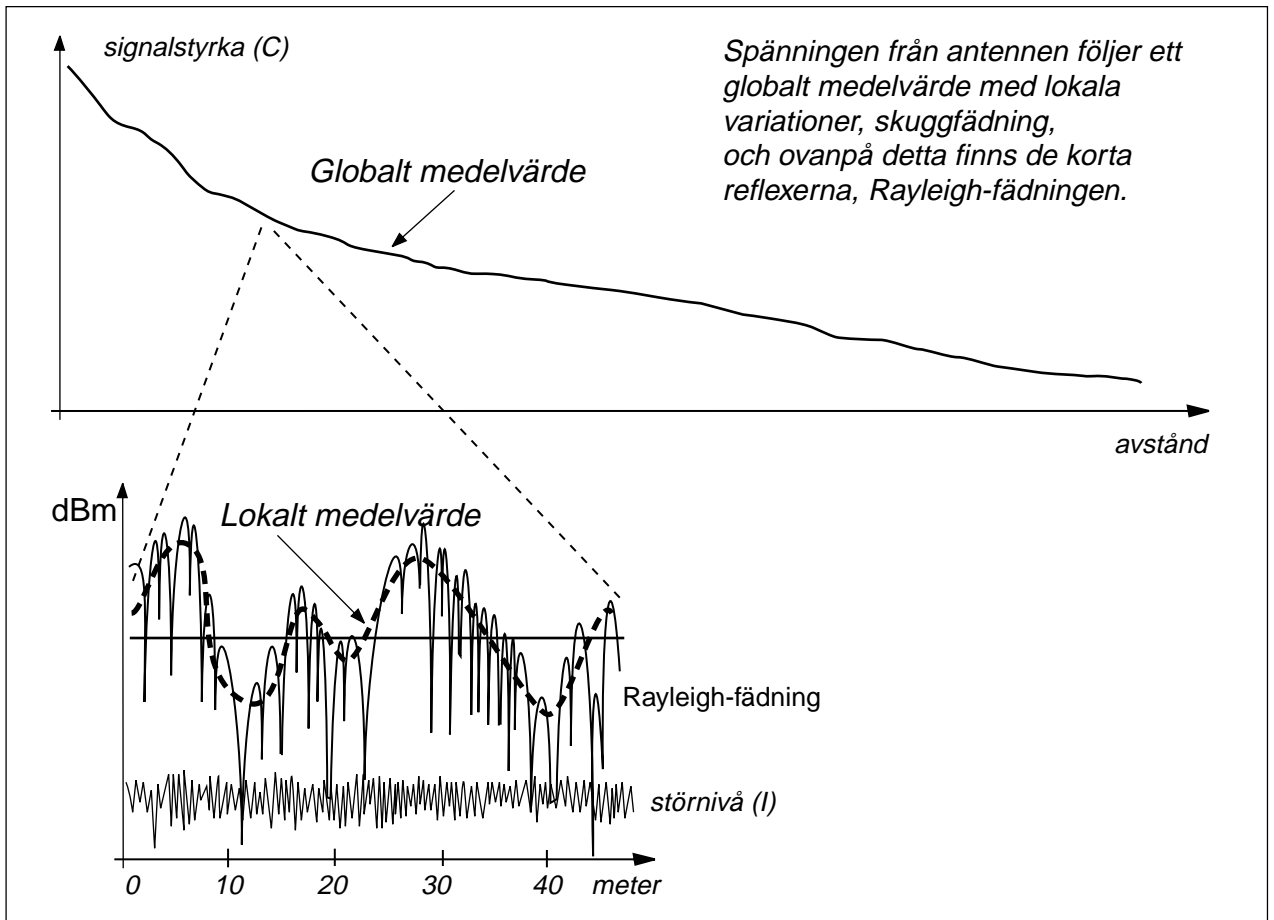
Om direktstråle och reflexer har olika polarisation så förändras delspänningarnas amplituder om man byter till mottagarantenn med annan polarisation. Om summaspänningen blir låg med mottagarantenn med viss polarisationsriktning så är sannolikheten stor att summaspänningen får annat värde om man byter till mottagarantenn med annan polarisation.

Metoden bygger inte på avstånd utan bara på polarisationsvridning. Därför kan de båda antennerna sitta inuti varandra, i samma hölje. Dessutom kan reflexerna vara hur korta som helst, d.v.s. värdet på  $\Delta d$  kan vara så lågt att rumsdiversitet skulle kräva extremt stort avstånd mellan mottagarantennerna, och frekvensdiversitet (se nedan) skulle kräva extremt stor frekvensskillnad.

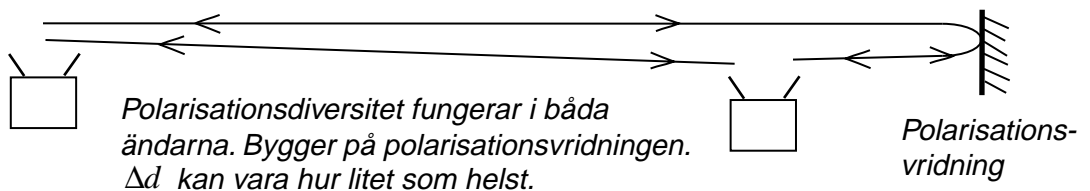
**Frekvensdiversitet**

Ett annat sätt att påverka fasvinkeln mellan delspänningarna är att byta frekvens. Om sändaren byter till annan frekvenskanal så är sannolikheten minimal att delspänningarna fortfarande tar ut varandra. Detta utnyttjas av GSM, där man byter frekvenskanal efter varje dataskur. Genom att hoppa mellan olika frekvenskanaler så undviker man dålig mottagning två dataskurar i följd. Och de bitfel vi får genom att förlora en dataskur, de bitfelen korrigeras med kanal-kodningen.

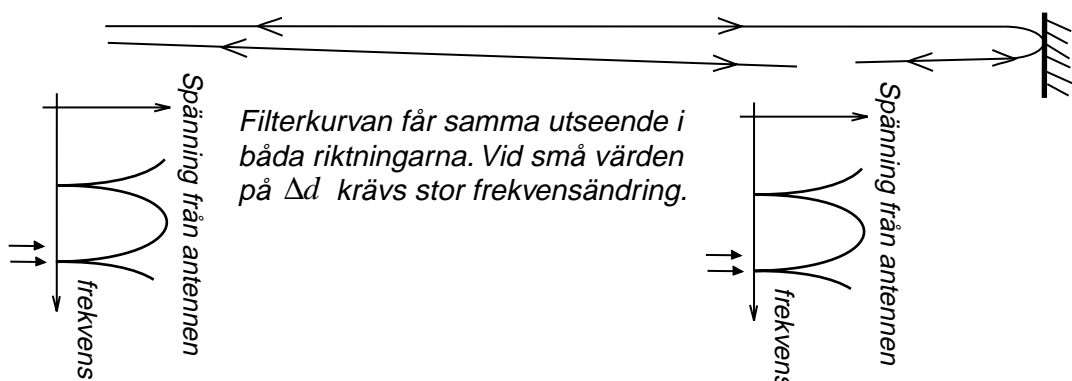




## Polarisationsdiversitet



## Frekvensdiversitet



## 14.7 Långa reflexer

Även långa reflexer beror på flervägsutbredning, och även här finns olika benämningar för samma sak:

- **Långa reflexer**

Syftar på den fysikaliska orsaken, att vi har reflexer som gått lång extra vägsträcka  $\Delta d$  jämfört med huvudstrålen.

- **Eko**

Syftar på den fysikaliska orsaken, att vi har reflexer som gått lång extra tid  $\Delta t$  jämfört med huvudstrålen.

- **Tidsdispersion eller dispersion**

Syftar på hur meddelandet ser ut när vi detekterat antennspänningen. När meddelandet kommer fram många gånger med tidsfördröjning så kommer symbolerna att "breddas" i tiden, smetas ut.

- **Intersymbolinterferens (ISI)**

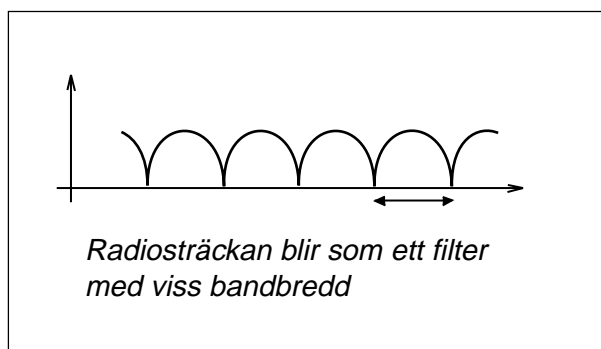
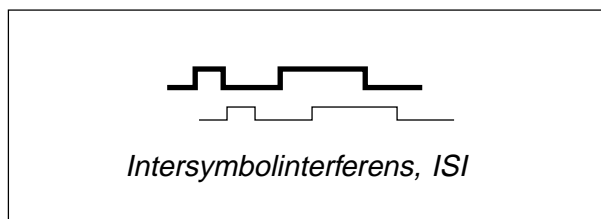
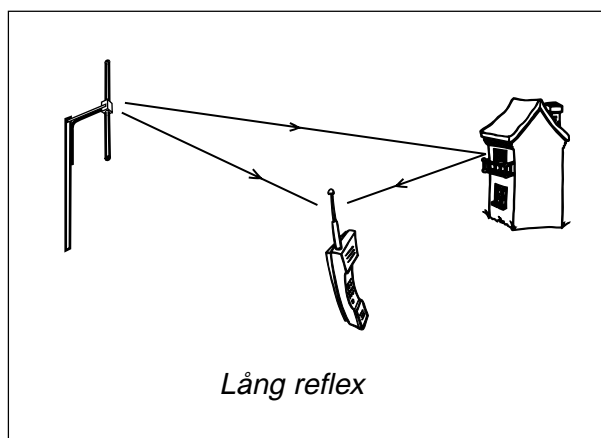
Innebär att dispersionen, utsmetningen, sker med en tidsfördröjning som uppgår till en eller flera symboltider. De olika symbolerna går in i varandra.

- **Korrelationsbandbredd (Coherence Bandwidth)**

Radiosträckan kan betraktas som ett filter, där flervägsutbredning ger en filterkurva med begränsad bandbredd, smalare bandbredd ju längre reflex man har. Denna bandbredd kallas radiokanalens koherensbandbredd.

Vid mottagning av analog tv syns de långa reflexerna som skuggbilder. Långa reflexer måste komma från sidan eller bakifrån för att bli långa. Därför skyddar man sig genom att använda riktantenn som tv-mottagningsantenn, en antenn som undertrycker radiostrålar som kommer från andra riktningar än huvudriktningen.

Vid analoga radiosystem vill man helst att de långa reflexerna inte skall fångas upp av antennen. Men det går att analysera tv-bilden med avancerad digital signalbehand-



ling och leta efter "upprepningar" som ligger tidsförskjutna. Sedan kan man subtrahera dessa upprepningar och rensa bilden i efterhand.

I digitala radiosystem kan det vara fördel att ha långa reflexer. Med långa reflexer kommer meddelandet fram flera gånger. Detta kan utnyttjas om radiomottagaren klarar att utföra avancerad signalbehandling.



**Hur ser den mottagna signalen ut?**

Antag att direktsignalen är symbol "A" enligt figuren. Hur ser den långa reflexen ut?

Den långa reflexen, om den kommer från en symbol "A" kan se ut som nästa bild. Observera att denna figur kan vara vriden i förhållande till direktsignalen. Hur mycket den är vriden beror på tidsfördröjningen.

Om den långa reflexen är tidsfördröjd ett helt antal periodtider (radiosignalens periodtid, 900 MHz) så får vi ingen vridning. I detta fall motsvarar vridningen ett helt antal periodtider plus 20 % av en periodtid.

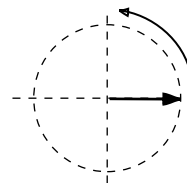
Om vi räknar i våglängder så har reflexen gått ett helt antal våglängder plus 20 % av en våglängd längre väg.

**Tidluckan skall vara max 0,5 millisekunder lång**

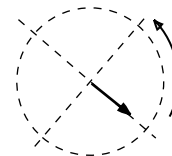
Vid specificeringen av GSM ställdes kravet att tidluckan skulle vara max 0,5 ms lång. I verkligheten blev tidluckan 0,577 ms. Varför har man detta krav?

Tänk dig att du åker tåg i 300 km/tim och kopplar upp ett GSM-samtal. Hur långt hinner du under en tidlucka? 4,8 centimeter. Jämfört med dataskurens mittersta symbol så har reflexionssträckan ändrats 2,4 cm för första respektive sista symbolen i dataskuren om reflexen kommer från sidan. Räkna i vridning av diagrammet så innebär detta 25 grader vid 900 MHz.

Önskemålet var att direktsignal och reflexer inte skall fasvridas i förhållande till varandra under en dataskur. Med en tidlucka på 0,577 ms så uppfylls detta villkor i de allra flesta fall utom möjligen på ett höghastighetståg när direktsignalen kommer från ena färdriktningen och den långa reflexen från motsatta färdriktningen.



Om detta är huvudsignalen (den starkaste),

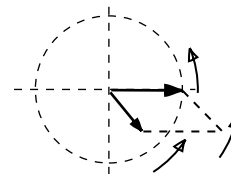


... så kommer reflexerna att vara svagare och ligga vridna i fas, beroende på tidsdifferensen.

### Summering av lika symboler

Om direktsignal och reflex består av samma symbol så kommer summan att bli en spänningsvisare med konstant amplitud som vrider sig i samma riktning och lika fort. Om båda symbolerna består av symbol "A" så får summan konstant amplitud och en frekvens som ligger +67,7 kHz över nominell kanalfrekvens.

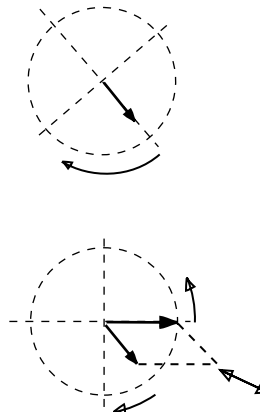
*Om reflexen är samma symbol blir även summan samma symbol.*



### Summering av olika symboler

Antag att direktsignalen är symbol "A" medan reflexen är symbol "B". Summan av detta blir två visare som vrider sig i motsatt riktning. Vi kommer att i stort sett få en stillastående visare som amplitudmoduleras. Resultanten får alltså en frekvens som nästan sammanfaller med nominell kanalfrekvens, medan spänningens amplitud varierar. I detta fall vet inte datadetektorn om den skall tolka detta som en signal som ligger +67,7 kHz eller -67,7 kHz relativt nominell kanalfrekvens.

*Om reflexen är den andra symbolen blir summan en visare där fasvridningarna tar ut varandra och vi i stället får amplitudmodulering.*



Verkligheten kan bestå av många reflexer, som dessutom kan vara fördröjda så att de byter symbol "mitt i". Den mottagna signalen blir ytterst komplex.

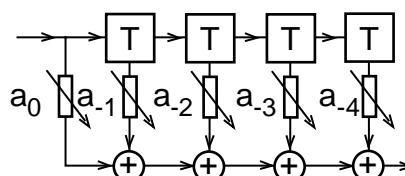
### GSM skall klara långa reflexer på upp till 16 $\mu$ s.

Vid specificeringen av GSM ställdes kravet att mottagningen skall fungera även om det finns långa reflexer som är fördröjda ända upp till 16  $\mu$ s, d.v.s. 4,3 symboltider.

Fördröjningarna kan ske med vilka tider som helst. Men en ungefärlig modell av radiosträckan får man om man summerar signal-komponenter som är utspridda över fem symboltider. Man säger att radiosträckan har fyra symbolers minne. Utsignalen beror på insignalen, men även på vad som hänt under de föregående fyra symbolerna.

### Varför "svansbitar", tail bits, i början?

Den första symbolen i dataskuren kommer inte att påverkas av långa reflexer. Kanalmodellen med fyra symbolers minne kan först användas på den femte symbolen. För att GSM-mottagaren skall kunna använda samma kanalmodell för alla 58 nytto-

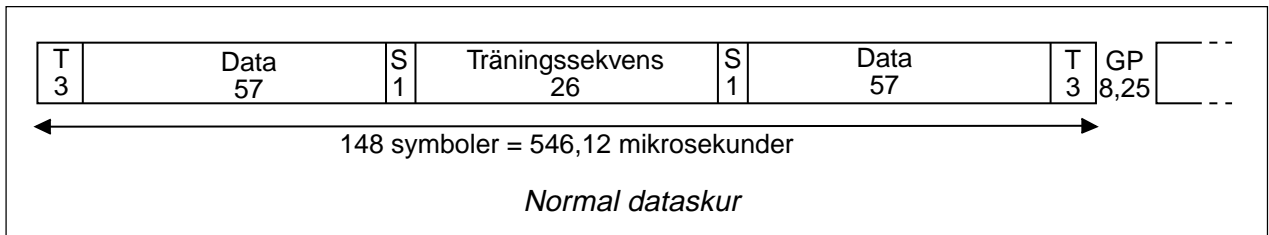


Modell av radiosträcka med långa reflexer

symbolerna så krävs att man börjar med att mata in kända symboler i radiosträckans "minne". Detta är dataskurens startsymbol plus tre tail bits i början. Då kommer den första av de 57 datasymbolerna att påverkas av samma typ av flervägsutbredning som de övriga symbolerna.

### Varför tre på slutet?

När den sista av de 58 nytto-symbolerna tagits emot så finns fortfarande möjlighet att få information om de sista fyra datasymbolerna, i form av ekon. På detta sätt kommer 57 databitar och en flaggbit att tas emot som 61 symboler. Detta är naturens egen faltningkodning, som ger säkrare mottagning än om vi inte har långa reflexer. Mer om detta i kapitlet om kanalkodning.



### GSM-mottagaren mäter på träningssekvensen

Hur ser den normala dataskuren ut? I mitten finns en träningssekvens bestående av 26 symboler. Vad innehåller dessa 26 symboler?

Träningssekvensen består av ett dataord, 16 symboler långt, med mycket goda auto- och korskorrelationsegenskaper. Autokorrelation innebär att om dataordet multipliceras med samma dataord, om databitarna multipliceras i tur och ordning och summeras, så blir summan hög. Korskorrelation innebär att om det ena dataordet förskjuts en eller flera databitar och man multiplicerar och summerar, så blir summan låg.

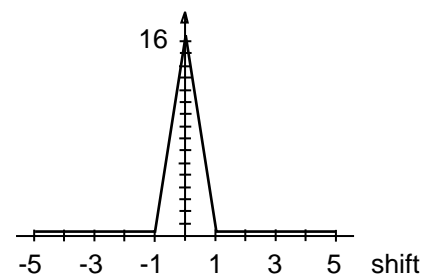
Eftersom GSM skall klara ISI över fem symboler så har dataordet utvidgats med fem symboler åt vardera hållet, de fem sista i början och de fem första i slutet av 16-bitsordet, totalt 26 symboler.

### Åtta olika träningssekvenser

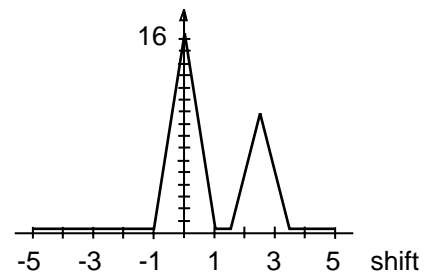
För att inte signal från en avlägsen basstation på samma frekvens skall uppfattas som lång reflex när GSM-mottagaren mäter på träningssekvensen så finns åtta olika träningssekvenser. Vilken träningssekvens som hör till vilken TRX finns uppgift om i BCCH-kanalen.

### Samplingstidpunkt

Vid mätning på träningssekvensen får GSM-mottagaren uppgift om när reflexer kommer, och hur starka de är. Det blir flera toppar förskjutna i tid. Dessutom kan GSM-mottagaren bestämma i vilket tidsögonblick som den skall mäta på symbolen, samplingstidpunkten.



*Mätning på träningssekvens när det inte finns långa reflexer*



*Mätning på träningssekvens när det finns lång reflex*

## 14.8 Utjämnare och datadetektor

Långa reflexer uppfattas som ekon. Det behöver inte vara den starkaste radiostrålen som kommer först. Direktstrålen kan vara skyddad och svag så att den kraftigaste strålen är en av reflexerna. Vi kan alltså ha ekon både före och efter huvudstrålen.

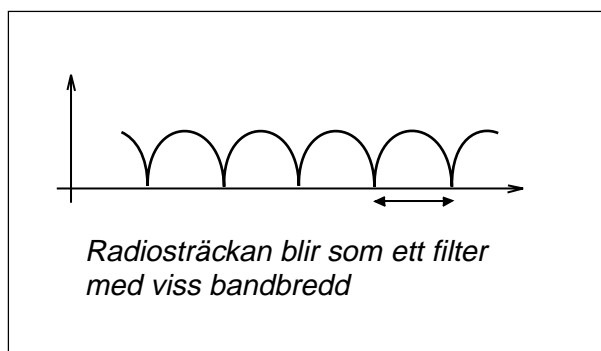
### Utgjämnare, equalizer

Ett filter består av spolar och kondensatorer, som rent fysikaliskt är transmissionsledningar där signalen går in och kommer tillbaka fördröjd och fasvänd (spole) eller icke fasvänd (kondensator). Ut ur filtret kommer alltså huvudsignalen och ekon. Detta är en beskrivning av filtret i tidsplanet. Det vanligaste är dock att beskriva filtret med dess överföringsfunktion i frekvensplanet.

En radiokanal utan reflexer får rak överföringsfunktion, rak frekvensgång. När det finns en enda reflex på radiokanalen blir överföringsfunktionen en mängd bandpassfilter fördelade längs frekvensaxeln. Bandbredden på dessa bandpassfilter blir ungefär hälften av den inverterade ekofördröjningen. Denna bandbredd kallas radiokanalens korrelationsbandbredd, på engelska "Coherence Bandwidth". Om denna bandbredd är smalare än radiosignalens modulationsbandbredd, då har vi en lång reflex. Om bandbredden är bredare än radiosignalens modulationsbandbredd, då har vi en kort reflex. I verkligheten finns oftast många reflexer med olika fördröjning, men principen är densamma.

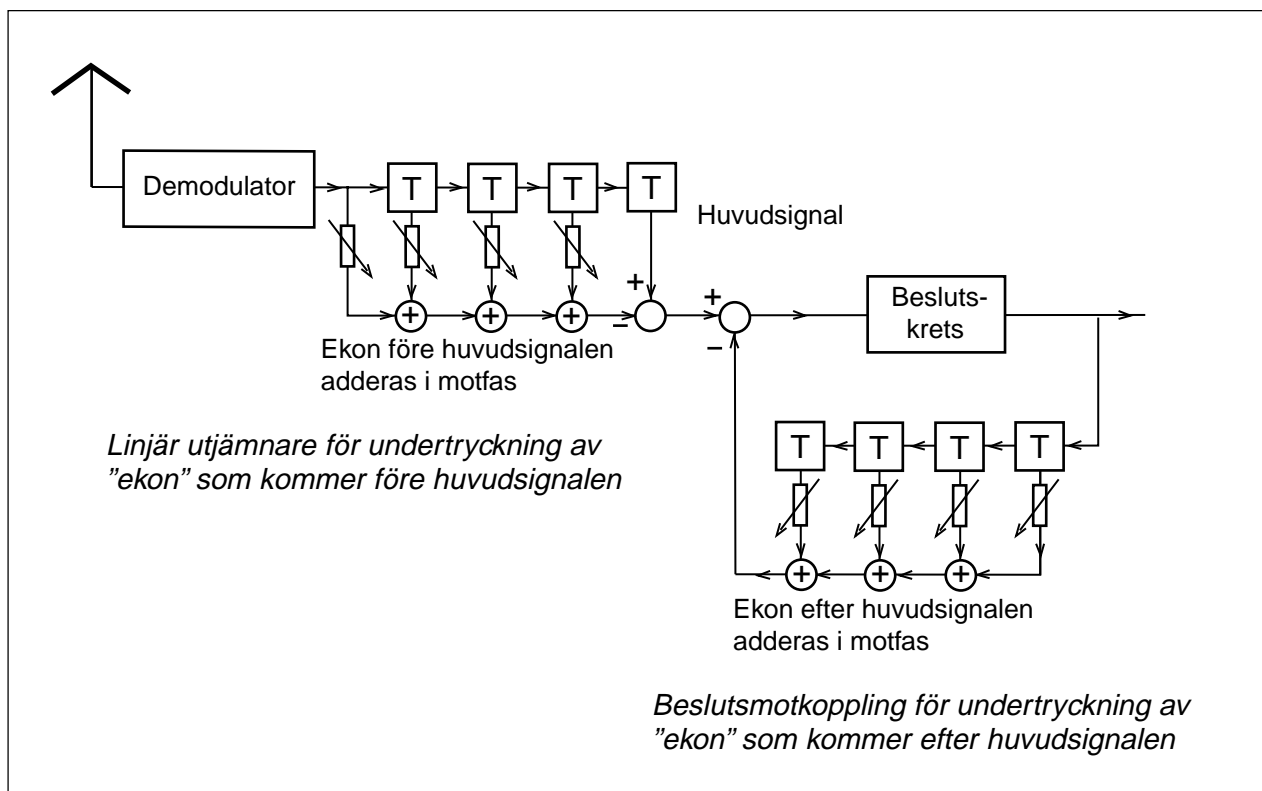
Vad gör man vid ljudåtergivning om högtalaren eller lyssningsrummet inte har rak frekvensgång? Man kopplar in en equalizer som höjer inom de frekvensområden där ljudet är för svagt, och sänker inom de frekvensområden där ljudet är för starkt. Equalizern utjämnar, den är en utjämnare.

En equalizer är ett filter som skapar ytterligare ekon som skall motverka de ekon som bildats på radiosträckan. Ett sådant filter försöker göra som radiosträckan, fast tvärt om. Målet är att bilda en överföringskanal av



radiosträckan plus filtret, och att det ut ur denna överföringskanal skall komma en signal utan ekon, så att beslutskretsen klarar att fatta rätt beslut, etta eller nolla.

Filtermetoden kan i vissa fall medföra att bruset ökar, vilket försvårar för beslutskretsen. Radiomottagaren får då sämre känslighet.



Efter radiomottagarens demodulator har vi en analog signal som beror av radiosymbolen. Denna analoga signal skickas till en besluts-krets som avgör om signalen skall tolkas som etta eller nolla.

Vid reflexer på radiosträckan kommer vi att få analog signal från varje radiostråle.

### Linjär utjämnare

Om vi kan ta analog signalen från huvudstrålen och fördröja och dämpa samt addera i motfas så kan analog signalerna från reflexerna undertryckas. Men vi har inte den analog signalen från enbart huvudstrålen. Därför kommer detta förfaringssätt att generera nya ekon, fast svagare.

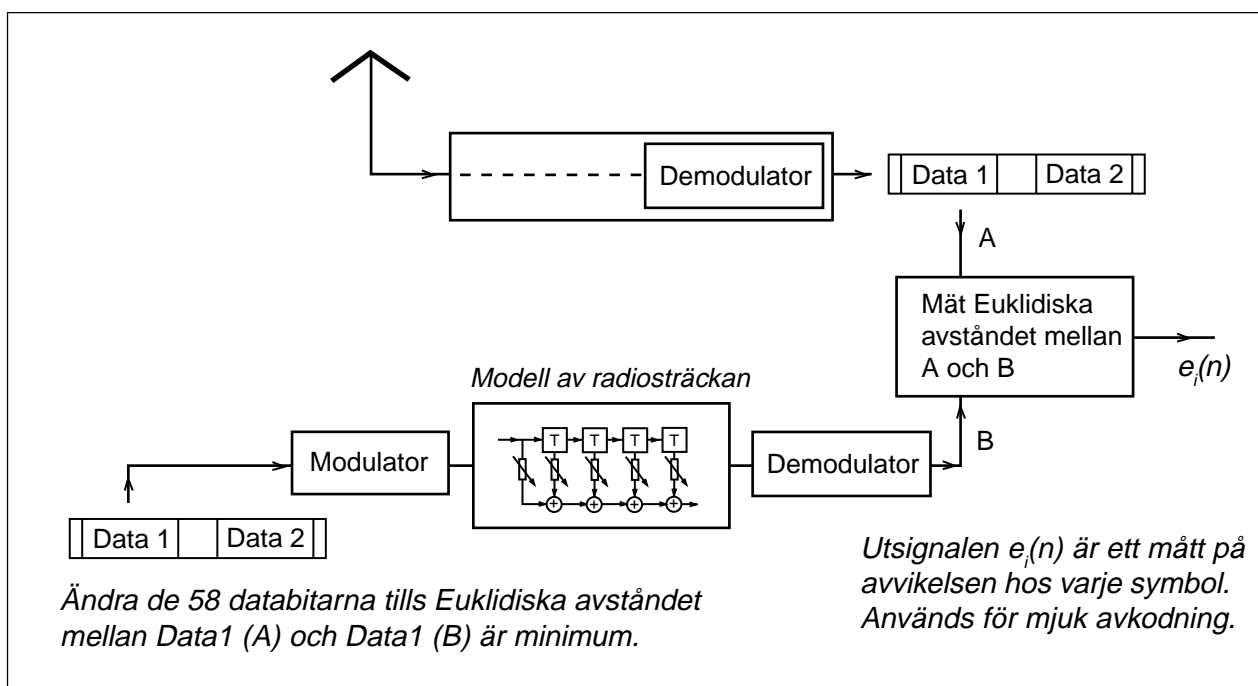
### DFE-utjämnare (Decision Feedback Equalizer)

Genom att ta den databit som "beslutats" och skapa en demodulerad symbol som matas tillbaka i motfas så kan man undertrycka ekon som kommer efter huvudstrålen.

DFE-utjämnaren klarar att genomföra en perfekt undertryckning för alla ekon som kommer efter huvudstrålen, och detta är normalfallet. Nackdelen med DFE-utjämnaren är att om besluts-kretsen fattat ett felaktigt beslut så att man återmatar fel symbol, då kan detta påverka beslutet för nästa symbol, som påverkar nästa o.s.v. Det felaktiga beslutet fortplantas.

### Träningssekvensen

Med hjälp av träningssekvensen beräknar radiomottagaren vilken amplitud som skall ställas in vid de olika fördröjningarna, där T är lika med symboltiden 3,7  $\mu$ s.



### MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation)

Den säkraste metoden är att försöka göra exakt som naturen, låta reflexerna påverka den modulerade signalen, inte den demodulerade.

I GSM-mottagaren skapar vi en kopia av radiosträckan, och ställer in dämpningsparametrarna med hjälp av träningssekvensens 26 symboler. GSM-mottagaren skapar en ny kopia av radiosträckan för varje ny dataskur.

Sedan kopplar vi ihop denna modell med en modulator och en demodulator. In i modulaton matar vi dataskurar, som kommer ut i demodulerad form vid B.

Antennsignalen demoduleras på vanligt sätt och kommer ut vid A. Sedan jämför vi A och B, och varierar vår lokalt skapade dataskur tills avvikelserna mellan A och B är så liten som möjligt.

Genom att beräkna sammanlagda avvikelserna för ett helt datapaket om 58 databitar så accepterar vi enstaka bitfel, bara totala antalet bitfel blir så litet som möjligt. Vi får fram det "mest sannolika" datapaketet om 58 databitar.

### Viterbialgoritmen

När MLSE-utjämnaren så snabbt som möjligt skall finna den datasekvens som är den mest sannolika så kan man utnyttja Viterbi-algoritmen.

Ut från MLSE-jämföraren kommer en skillnadsspänning  $e_i(n)$ , som visar skillnaden mellan verkligt mottagna symboler och de symboler som passerat GSM-mottagarens kopia av radiosträckan. Det gäller att finna den kombination av 58 databitar som gör summan av kvadraten på skillnadsspänningarna minimal.

Viterbialgoritmen är ett sätt att hitta kombinationen av 58 databitar utan att behöva pröva alla kombinationer.

### Viterbiutjämnare

MLSE-jämföraren är egentligen ingen utjämnare. Den utjämnar inte överföringskanalen. Dock löser MLSE-jämföraren samma problem som en utjämnare. Därför kallas MLSE-jämföraren ibland för Viterbiutjämnare.

### Viterbidetektor

Inuti MLSE-jämföraren sker en jämförelse mellan mottagen signal och de 58 databitar som mest liknar insignalen. Därför beslutar MLSE-jämföraren, om datasymbolen skall

anses representera en etta eller en nolla. MLSE-jämföraren kan därför ses som en detektor, och kallas ibland Viterbidetektor.

### **Mjuk avkodning**

Man får inte bara databitar från MLSE-jämföraren, utan varje databit åtföljs av en skillnadsspänning  $e_i(n)$ . Ju större värde denna skillnadsspänning har, desto osäkrare är databiten.

Att hitta rätt datablock om 58 databitar innebär att minimera summan av dessa osäkerheter.

### **Mjuk avkodning ger information till kanalkodaren**

Att utnyttja detta sannolikhetsmått på varje databit kallas mjuk avkodning. Vi har inte tagit ett hårt beslut, antingen etta eller nolla, utan med viss sannolikhet är det en etta eller en nolla. På så vis vet kanalkodaren vilka databitar den först och främst skall lita på.

Mjuk avkodning, att utnyttja osäkerhetsspänningen, är en väsentlig funktion i moderna digitala radiosystem. Tack vare mjuk avkodning klarar GSM-mottagaren att fungera vid betydligt lägre C/I.





## 15 — Kanalkodning

---

## 15.1 Informationsbitar, databitar och symboler

### Informationsbitar

Tänk dig att vi skall överföra tio informationsbitar. Detta är den information som skall överföras. Dessa tio informationsbitar kommer från någon signalkälla, t.ex. talkodaren.

### Databitar

De tio informationsbitarna mappar vi på tolv databitar. Med mappning menar jag att varje databit på något sätt beror på en eller flera informationsbitar. Det är denna process som kallas kanalkodning. Tio informationsbitar kanalkodas till tolv databitar. Varför tolv? Det måste vara minst lika många databitar som informationsbitar, alltså minst tio. Men genom att ha fler databitar än informationsbitar så kan radioöverföringens säkerhet förbättras.

### Symboler

Databitarna överförs på radiosträckan som symboler. Det är symboler som överförs. I GSM kan symbolen ha två olika utseenden, fasvridningen kan vara +90 grader eller -90 grader. Med två utseenden kan vi bara överföra en databit per symbol.

I amerikanska D-AMPS (TDMA/136) och japanska PDC har symbolen fyra olika utseenden,  $\pm 45$  grader och  $\pm 135$  grader. Då överför man två databitar per symbol. Vi ser att tio informationsbitar under visst tidsintervall ger tolv databitar under samma tidsintervall, som överförs som sex symboler under samma tidsintervall.

I GSM kommer 13 000 bit/s från talkodaren. Detta är informationsbitar, informationshastighet. Efter kanalkodningen har detta blivit 22,8 kbit/s som är kanalkodade databitar, datahastighet.

Symbolhastigheten är 270,67 ksymb/s. Symbolerna överför inte bara databitarna. Även träningssekvensen, flaggorna och tailbits kräver sina symboler. Och varje samtal får bara tillgång till en åttondel av tiden, och knappt det, eftersom det skall finnas plats för guardspace mellan dataskurarna.

### Allt kallas datahastighet

Tyvärr finns inget enhetligt språkbruk. Även jag har svårt att vara konsekvent. Alltihop brukar kallas datahastighet. Ofta måste man av sammanhanget försöka lista ut om författaren avser informationshastighet, den mängd informationsbitar som alstras per sekund, datahastighet, kanalkodade databitar som skall överföras, eller symboler per sekund (baud), det som verkligen överförs.

## 15.2 Kontrollsumma

Om vi har fem informationsbitar och kanal-kodar dessa på sex databitar. Vad skall vi stoppa vi in i den sjätte databiten?

Antag att informationsbit 1 ( $i_1$ ) läggs i databit 1 ( $d_1$ ) o.s.v. upp till  $i_5$  som läggs i  $d_5$ . Vad lägger vi i  $d_6$ ?

I  $d_6$  lägger vi ett värde som är en funktion av de övriga informationsbitarna.

### Kontroll om det finns bitfel

Nu har vi fem databitar som ger oss de fem informationsbitarna, och en extra databit som kan användas för att kontrollera om databitarna är rätt mottagna.

Den här typen av kontrollsumma används flitigt vid datakommunikation. Att skriva sitt personnummer är en form av datakommunikation. Vi kan råka skriva fel, eller mottagaren kanske inte kan tyda vår handstil, så att någon siffra misstolkas. Därför innehåller personnumret en sista siffra som är framräknad genom kombination av de övriga siffrorna. Varannan siffra i personnumret multipliceras med två, varefter alla siffror summeras som om de vore ental, och som kontrollsiffra väljs det värde som saknas för att summan skall bli jämnt tiotal. Vitsen med att multiplicera varannan siffra med två är att man kan upptäcka om siffror är omkastade.

### CRC (Cyclic Redundancy Check)

Ett liknande sätt inom datakommunikation kallas CRC (Cyclic Redundancy Check). Man dividerar informationsbitarna med ett CRC-polynom (modulo 2-addition) och den rest som uppstår vid divisionen adderas som CRC kontrollsumma. Mottagaren dividerar med samma polynom, och då skall divisionen gå jämnt ut, om databitarna är rätt mottagna.

Metoden innebär att man kan ha hur stora block som helst med informationsbitar, det är bara att fortsätta att dividera. Därefter adderar man den rest som uppstår.

CRC kontrollsumma används vid data-lagring på diskett och hårddisk. Många har sett det förargliga meddelandet "CRC error"

$$\begin{aligned} i_1 &\Rightarrow d_1 \\ i_2 &\Rightarrow d_2 \\ i_3 &\Rightarrow d_3 \\ i_4 &\Rightarrow d_4 \\ i_5 &\Rightarrow d_5 \\ f(i_1, i_2, i_3, i_4, i_5) &\Rightarrow d_6 \end{aligned}$$

när man försökt läsa från en dålig diskett, ett meddelande som innebär att datorn läst fel.

### Blockkodning med felkontroll

Ett block kan vara 512 byte som på disketten och skyddas av 2 byte CRC. Men om risken för bitfel är stor och man vill vara helt säker på att inga bitfel uppstått så gör man blocken betydligt mindre. I GSM skyddas 50 informationsbitar från talkodaren av 3 databitar CRC. På synkroniseringskanalen SCH skyddas 25 informationsbitar av 10 databitar CRC. På anropskanalen RACH skyddas 8 informationsbitar av 6 databitar CRC, en mycket stark felkontroll.

Om CRC-uträkningen går jämnt ut är sannolikheten stor att informationsbitarna är rätt mottagna. Om CRC-uträkningen inte går jämnt ut är sannolikheten stor att det finns bitfel, men vi vet inte vilken databit som är fel. Enda möjligheten är att inte lita på den mottagna informationen utan vänta tills informationen kommer nästa gång (SCH-kanalen). En ficktelefon som inte får svar när den skriker på RACH-kanalen kommer snart att skrika igen.

När man kräver bitfelsfri överföring, t.ex. vid datakommunikation, så utnyttjas CRC för felupptäckt. Om man får CRC error begär datorn (ficktelefonen) eller basstationen om-sändning (ARQ) av det felaktiga blocket.

## 15.3 Felrättning med blockkoder

Vi återgår till våra fem informationsbitar och sex databitar. Det finns två möjligheter att beräkna värdet på  $i_1$ . Antingen avläser vi databit  $d_1$ , eller också utnyttjar vi informationen i de fem övriga databitarna och räknar fram  $i_1$ .

Nu har vi två värden på  $i_1$ . Tänk om värdena är olika. Vad gör vi då?

### Blockkodning med felrättning

De extra databitarna kan användas för felrättning, men då krävs att de extra databitarna innehåller hela svaret på den matematiska funktionen, inte bara en del av svaret (den rest som uppstod vid divisionen), som vid CRC.

Det är viktigt hur man väljer de funktioner (algoritmer) vars resultat man stoppar in i kontrollbitarna. Det finns effektiva koder som klarar oberoende bitfel, och det finns koder som klarar skurfel. En typ av felrättande blockkoder kallas RS-koder (Reed-Solomon). Två interleavade RS-koder skyddar informationen på en vanlig cd-skiva. Man kan göra ett tuschmärke på upp till 2 mm på cd-skivan och cd-spelaren klarar ändå att exakt rätta de fel som uppstår.

### Fire-koder

En annan typ av felrättande blockkod är Fire-koderna. De klarar skurfel men är dåliga på spridda bitfel.

I GSM används en Fire-kod som skyddar 184 informationsbitar med 40 kontrollbitar, på FACCH-, SACCH-, BCCH-, PCH- och AGCH-kanalerna. Denna Fire-kod klarar att rätta skurfel på upp till 11 bitar.

$$i_1 \Rightarrow d_1$$

Ur dessa ekvationer kan vi beräkna  $i_1$

$$i_2 \Rightarrow d_2$$

$$i_3 \Rightarrow d_3$$

$$i_4 \Rightarrow d_4$$

$$i_5 \Rightarrow d_5$$

$$f(i_1, i_2, i_3, i_4, i_5) \Rightarrow d_6$$

### Felrättning och felkontroll

Karakteristiskt för de felrättande blockkoderna är att de klarar att rätta ett visst antal bitfel i blocket, men de klarar dessutom att kontrollera om blocket är bitfelsfritt. Vi vet alltså både vilka databitar som har rättats och om återstående databitar är rätt mottagna.

Nackdelen med felrättande blockkoder är att avkodningen kan bli komplex. Det blir stora ekvationssystem vid stora block, och detta gör det svårt att utnyttja "mjuk" avkodning.

Blockkoderna bygger på avancerad matematik. Framtagning av effektiva blockkoder för ett visst bitfelmönster är ett arbete för matematiker.

## 15.4 Felminimering med faltningskoder

Faltningskoderna är något helt annat.

- Det finns ingen matematisk teori för att finna den optimala faltningskoden, utan man prövar sig fram i datorsimuleringar.
- Faltningskodning ger möjlighet att tolka databitarna så att vi får ett minimum av informationsbitfel. Det är alltså inte frågan om att rätta bitfel, för vi får inte reda på vilka databitar som rättats. Faltningskoden kan heller inte avgöra om det finns ytterligare bitfel, eller om alla informationsbitar är rätt.

Faltningskoden ligger som ett "yttre skal" för att minimera antalet informationsbitar med bitfel. Om man vill veta om det finns kvarvarande bitfel så får informationsbitarna skyddas med en CRC kontrollsumma.

### ISI, intersymbolinterferens

Faltningskodning liknar det som händer på radiosträckan när vi har långa reflexer. Genom att utnyttja minnesceller så skapar vi databitar som är en kombination av flera informationsbitar.

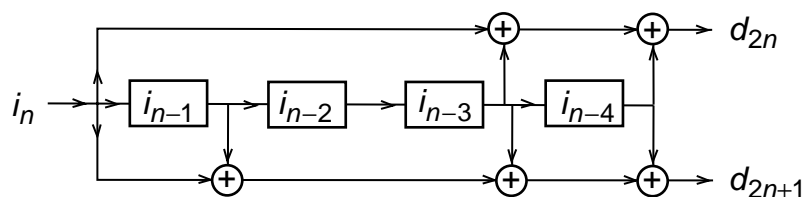
### Faltningskoder skapas med minnesceller

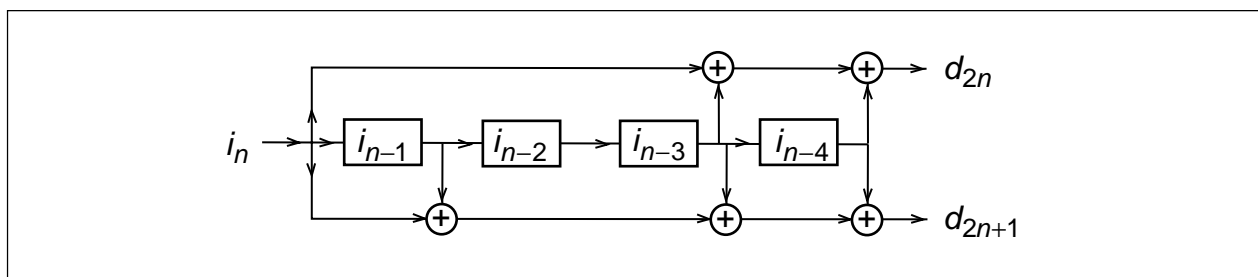
Informationsbitarna matas in i minnesceller, och utsignaler kombineras i modulo 2-adderare. På detta sätt skapar man en eller flera databitar för varje informationsbit som matas in. Bilden visar fyra minnesceller och två utsignaler. Detta är en faltningskod med "Rate"  $R=1/2$  och kodarens minne är  $m=4$ , eller kodaren har ett spann på  $K=5$  (Constraint Length).

Informationsbitar matas in, och för varje ny informationsbit skiftas de föregående ett steg åt höger i minnescellerna. För varje informationsbit skapas en eller flera databitar, vars värde beror på motsvarande informationsbit, men även på tidigare informationsbitar som finns kvar i minnescellerna.

$$f_1(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n}$$

$$f_2(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n+1}$$





### Faltningskodning med R=1/2 och K=5

I GSM utnyttjas denna faltningskod. För varje informationsbit skapas två databitar, av en krets som har fyra informationsbitars minne.

Varje informationsbit kommer att påverka utseendet på en följd av databitar, i detta fall hela tio databitar. Det kommer att bildas ett "mönster" i denna grupp av tio databitar.

Det matematiska begreppet faltning (Convolution) mellan två tidsfunktioner innebär att förskjuta den ena funktionen tidsmässigt och leta efter tidpunkter då denna funktions mönster återfinns i den andra funktionen.

### Första informationsbiten

Vad händer när vi matar in första informationsbiten? Jo, det skapas två databitar som beror på denna informationsbit och de fyra föregående! Men vi har ju inga. Detta är den första?

Det löser vi genom att tänka oss att de fyra föregående informationsbitarna är nollor. Dessa behöver inte skickas på radiosträckan. Vi har kommit överens med mottagaren om att detta är nollor. Alltså kan mottagaren själv mata in dessa nollor vid beräkning av den första informationsbiten.

De första informationsbitarna har låg bitfelshalt, eftersom de är beräknade med hjälp av de inledande nollorna som är bitfelsfria.

### Sista informationsbiten

När jag matar in sista informationsbiten så hamnar den i två databitar. Men den borde hamna i ytterligare åtta databitar. Därför avslutar jag med en svans (tail) på fyra informationsbitar, som alla sätts till noll.

De åtta databitar som bildas på detta sätt måste skickas över radiosträckan. Mottagaren vet inget om deras utseende. Där-

$$f_1(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n}$$

$$f_2(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n+1}$$

$$f_1(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n}$$

$$f_2(i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}, i_{n-4}) \Rightarrow d_{2n+1}$$

$$f_1(i_{n+1}, i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}) \Rightarrow d_{2n+2}$$

$$f_2(i_{n+1}, i_n, i_{n-1}, i_{n-2}, i_{n-3}) \Rightarrow d_{2n+3}$$

.....

$$f_1(i_{n+4}, i_{n+3}, i_{n+2}, i_{n+1}, i_n) \Rightarrow d_{2n+8}$$

$$f_2(i_{n+4}, i_{n+3}, i_{n+2}, i_{n+1}, i_n) \Rightarrow d_{2n+9}$$

emot vet mottagaren värdet på de sist inmatade informationsbitarna. De är alla noll. Därför får man låg bitfelshalt även på de sista verkliga informationsbitarna (före svansen).

### Totalt antal databitar

Faltningskodningen i GSM ger följande antal databitar:

- Antalet informationsbitar plus antalet minnesceller (4 i GSM)
- Alltihop multiplicerat med 1/R.

I de flesta fall är R=1/2 men vid datakommunikationshastigheterna 4,8 kbit/s och 2,4 kbit/s, så är R=1/3 respektive R=1/6.

### Ett exempel

Bilden visar en enkel faltningskodare med två minnesceller. Vi matar in informationsbiten "1", förra biten var också "1" och den dessförinnan "0". Modulo 2-addition (och subtraktion) innebär följande:

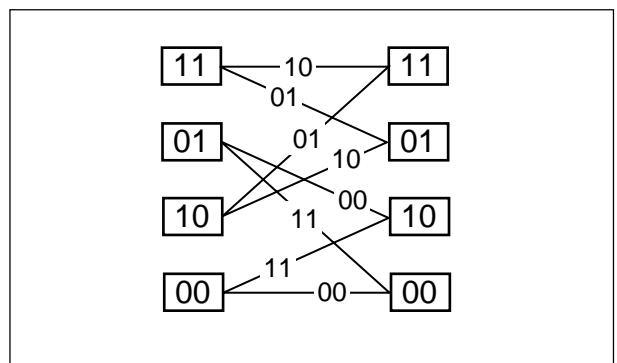
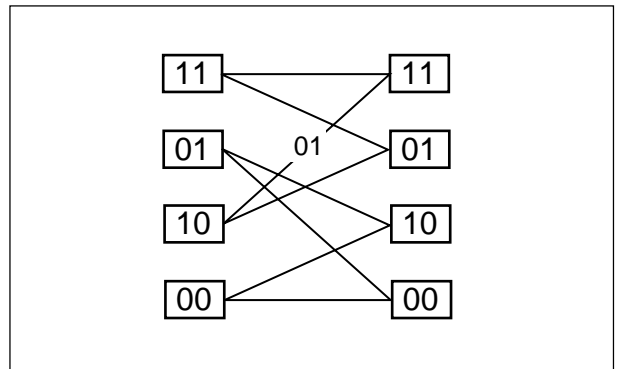
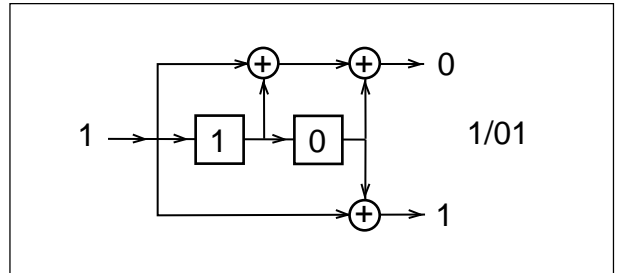
- $1+1=0$
- $1+0=1$
- $0+1=1$
- $0+0=0$

Detta ger den övre databiten = 0 och den undre databiten = 1, och vi kan skriva 1/01, vilket innebär att vi får ut 01 om vi matar in 1. Observera att detta bara gäller när tidigare informationsbitar varit 1 och 0.

Nästa bild visar samma sak i ett tillståndsdigram uppritat som en "spaljé" (trellis), trellisdiagram. I rutorna står tillståndet i minnescellerna. Om vi matar in "1" så följer vi den övre vägen. Tillståndet går från 10 till 11, och faltningskodaren lämnar databitarna 01.

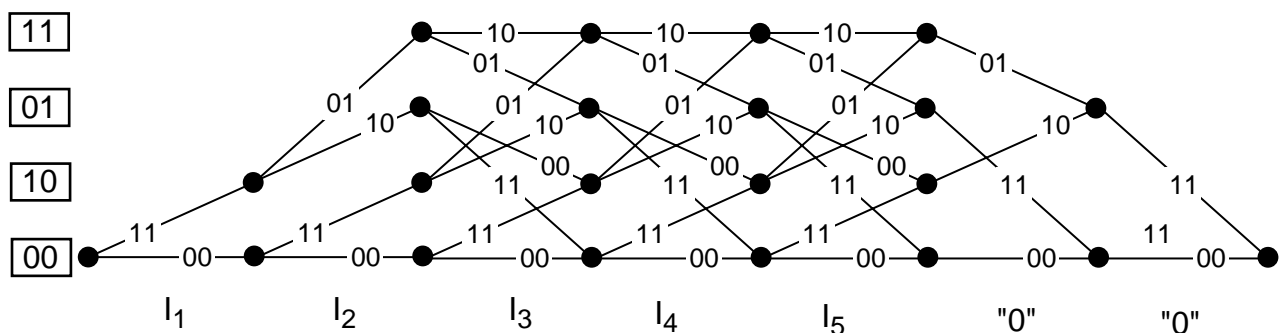
Tredje bilden visar trellisdiagrammet med databitarna inritade för samtliga möjliga tillståndsväxlingar. Man går från vänster till höger. Inmatad etta innebär att man väljer övre vägen, inmatad nolla att man väljer undre vägen.

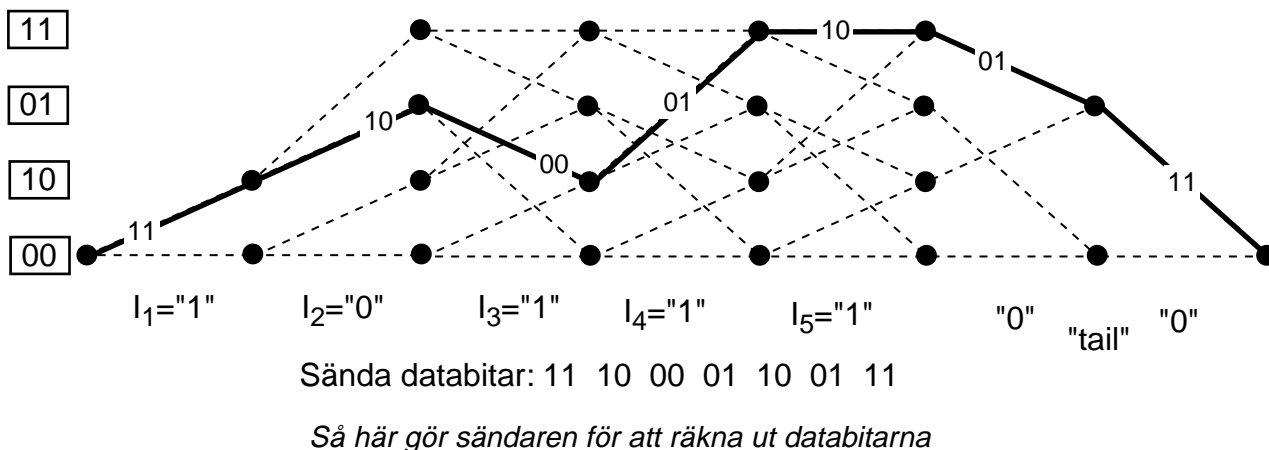
Nedre bilden visar ett komplett diagram som inleds med 00 i minnescellerna, och avslutas med två tailbits som båda är noll.



### 16 våningar högt

Med fyra minnesceller får vi 16 möjliga tillstånd. Trellisdiagrammet för den verkliga GSM faltningskodaren blir 16 våningar högt.





**Så här går det till**

Våra informationsbitar är 10111. Till dessa adderar vi en svans, tail, på två nollor, eftersom vår faltningskodare har två minnesceller.

Vi börjar i punkten 00 eftersom faltningskodaren börjar med dessa värden i minnet. Sedan följer vi övre vägen, undre vägen, övre, övre, övre, och avslutar med två undre vägar för att sluta i punkten 00.

Längs den markerade vägen kan vi avläsa databitarna: 11 10 00 01 10 01 11.

**Faltningsavkodning**

Nu tar vi emot de 14 databitarna, men vi har två bitfel.

För varje grupp av två mottagna databitar så går vi in i diagrammet och markerar, hur många databitar som skiljer, för alla möjliga vägar mellan punkterna.

Sedan gäller det att finna den väg genom trellisdiagrammet där summan av avvikande databitar blir lägst. Därefter omvandlas vägen till informationsbitar. Detta är den

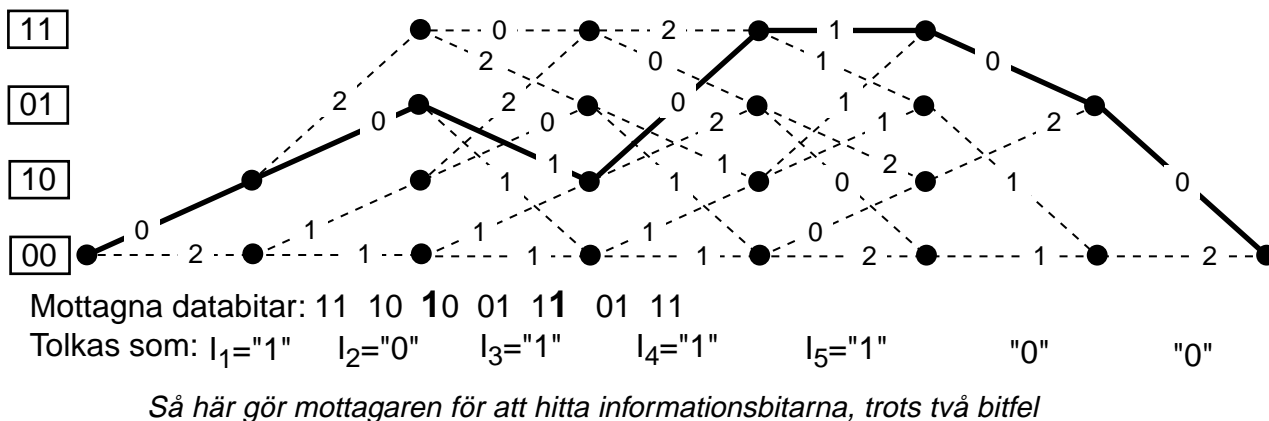
mest sannolika informationsbitsekvensen.

**Viterbiavkodning**

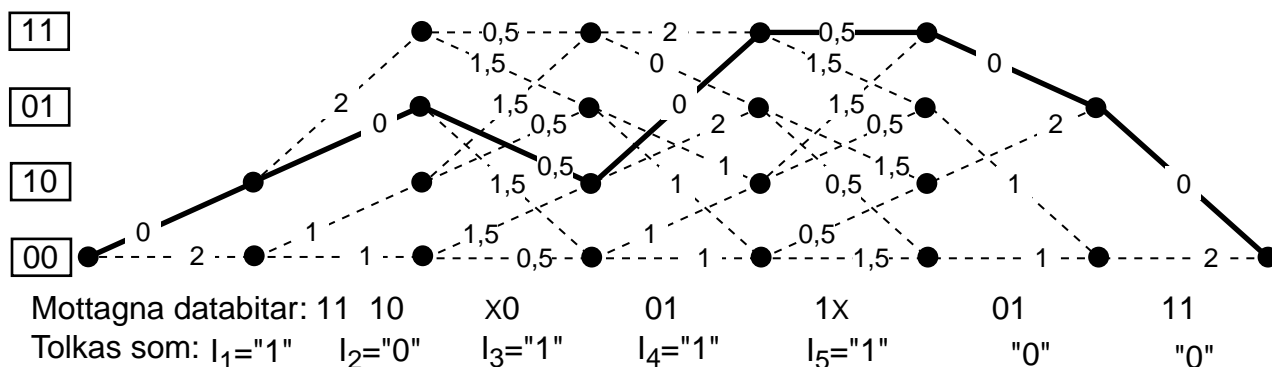
Det finns många kombinationer i trellisdiagrammet. Behöver man verkligen summera alla vägar?

Om du tittar ett stycke in i diagrammet så ser du att man kan ta sig flera vägar fram till varje punkt. Viterbialgoritmen innebär att vi bara behöver spara den väg som har minst bitfel. På detta sätt kan man bygga på med två databitar i taget och bara behöva hålla reda på fyra vägar, bästa vägen till respektive punkt.

Viterbiutjämnaren som tar hand om intersymbolinterferensen på radiosträckan arbetar på exakt samma sätt. Med hjälp av träningssekvensen konstrueras ett trellisdiagram för radiosträckan, ett nytt diagram för varje ny dataskur. Detta diagram producerar en symbol (inte två) för varje ny utsänd symbol. Med fördröjningar på upp till fyra symboltider får även detta diagram 16 våningar.







*Punkterad faltningskod innebär att vissa databitar inte sänds, för att minska symbolhastigheten. Vid mottagningen får dessa databitar (markerade med x) värdet 0,5 (vi vet inte om det är etta eller nolla).*

### MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation)

Faltningsavkodningen hittar de informationsbitar som är mest sannolika. Vi vet egentligen inte hur rätt eller fel de är, bara att de är de mest sannolika ur de uppgifter som går att få fram ur våra mottagna databitar.

### Punkterad faltningskodning

Våra fem informationsbitar i exemplet producerar 14 databitar. Låt oss anta att det bara finns plats för 12 databitar i dataskuren. Vad gör vi då?

En möjlighet är att låta bli att sända två databitar och låta mottagaren betrakta dessa databitar som bitfel. I detta fall vet mottagaren vilka databitar vi låter bli att sända. Vi har "punkterat" dessa båda databitar.

Om mottagaren vet vilka två databitar som saknas, så är det bara att låta mottagaren stoppa in egna databitar. Dessa skall betraktas som bitfel så det kvittar om mottagaren stoppar in ett eller nollor.

Men det finns faktiskt ett sätt att förbättra avkodningen. Mottagaren vet att dessa databitar är osäkra. Den vet att det kan vara etta eller nolla. Därför ger mottagaren dessa båda databitar värdet 0,5. Detta värde ligger mitt emellan ett och noll och speglar att mottagaren är osäker på värdet.

Nu stoppar vi in värdet 0,5 i trellisdiagrammet. Vi ser att summafelet på hela sträckan är mindre än vid bitfelen på föregående sida. Självklart skall det bli så. Att

veta att en databit är osäker är betydligt mer information än att tro att en databit är etta när den i själva verket är en nolla.

### Mjuk avkodning

Vid mjuk avkodning utnyttjas de verkliga spänningsvärdena  $e_i(n)$  från datadetektorns jämförelsekreter. Om spänningen hos en mottagen databit är 0,6 så tolkas detta med hård avkodning som "1". Rätta vägen i trellisdiagrammet får felet 0 medan andra vägen får felet 1.

Med mjuk avkodning får "rätta" vägen avvikelsen 0,4 (i stället för 0) och den andra vägen får avvikelsen 0,6 (i stället för 1).

Eftersom avkodningen bygger på att hitta den mest sannolika vägen genom trellisdiagrammet så minskas bitfelshalten hos informationsbitarna avsevärt med mjuk avkodning. Vi bygger ju upp den totala sannolikheten genom att mata in sannolikhetsvärden på varje enskild databit.

## 15.5 Interleaving och frekvenshopp

Den vanligaste typen av störning på radiosträckan är "skurfel", d.v.s. flera symboler i följd (en skur) drabbas av störning.

Vid faltningskodningen i GSM finns varje informationsbit i tio på varandra följande databitar. Därför är det olyckligt om det blir osäker demodulering av flera symboler i följd. Faltningskodning ger dåligt skydd mot skurfel.

### Block om 456 databitar

I GSM ordnas de kanalkodade databitarna i block om 456 databitar som delas upp i åtta mindre block med 57 databitar i varje.

Uppdelningen görs inte så att de 57 första databitarna läggs i första 57-bitsblocket. I stället fördelas databitarna på de åtta 57-bitsblocken i tur och ordning. Varje 57-bitsblock innehåller var åttonde databit från det ursprungliga 456-bitsblocket.

Därefter fördelas 57-bitsblocken på åtta dataskurar (bursts). Varje dataskur får sina två 57-bitsblock från olika 456-bitsblock.

Vid mottagningen sorteras databitarna tillbaka i rätt ordning. Om flera symboler i följd är störda i en dataskur så hamnar dessa som var åttonde databit när de sorterats tillbaka i rätt ordning. Skurfel omvandlas till spridda bitfel, något som faltningskodningen är bra på att hantera.

### Blanda om — interleaving

Att blanda om databitarna före transmissionssträckan och sedan sortera tillbaka efter mottagningen kallas interleaving.

Interleaving utnyttjas när man har transmission där bitfel kan uppträda i grupper, skurar, men har kanalkodning som är bra på att hantera enkelbitfel.

Även på cd-skivan används interleaving. Visserligen är RS-koder bra på att rätta skurfel, men inte så stora skurar som man får av en 2 mm bred rispa. Genom interleaving sorteras skurfelet till mindre grupper som placeras mellan rätt avlästa databitar.

### Frekvenshopp

Men om en dataskur drabbas av vågutbredningsstörning på grund av korta reflexer, kan inte nästa dataskur också drabbas?

GSM kan hantera förlorade dataskurar, men däremellan måste det finnas dataskurar som är korrekt mottagna. Förhållandena på radiosträckan (radiokanalen) måste variera. GSM är konstruerat för mobilitet, man måste vara i rörelse.

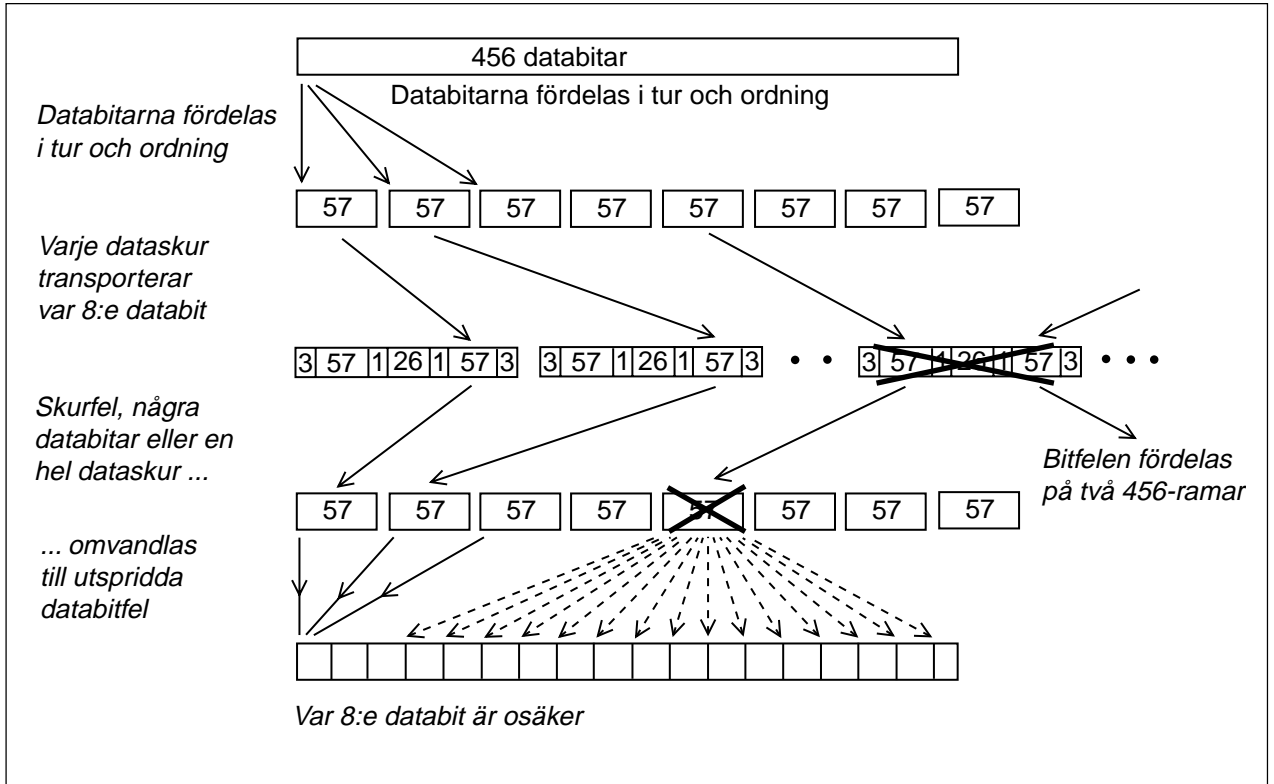
Om man inte är i rörelse så går det att skapa en föränderlig radiokanal genom att byta frekvens mellan varje dataskur. På så vis hamnar de korta reflexerna i olika faslägen för varje ny dataskur. Varje dataskur får sina egna vågutbredningsförhållanden. Helst skall man hoppa mellan minst 8 olika frekvenser.

### Faltningskodning — mjuk avkodning — interleaving — frekvenshopp

Det är faltningskodning med mjuk avkodning i kombination med interleaving och frekvenshopp som gör att GSM klarar att upprätthålla förbindelsen även vid extremt låga värden på C/I.

### Rör på dig

Jag fick höra av en person som befann sig i skogen och skulle ringa, men talkvalitén var dålig. Då rörde han på överkroppen, gungade häftigt fram och tillbaka, och ljudkvalitén blev genast bättre. GSM klarar att rätta alla bitfel om fem 57-bitsblock av åtta är felfritt mottagna.



## 15.6 Kanalkodning vid GSM tal (full rate)

### Från talkodaren

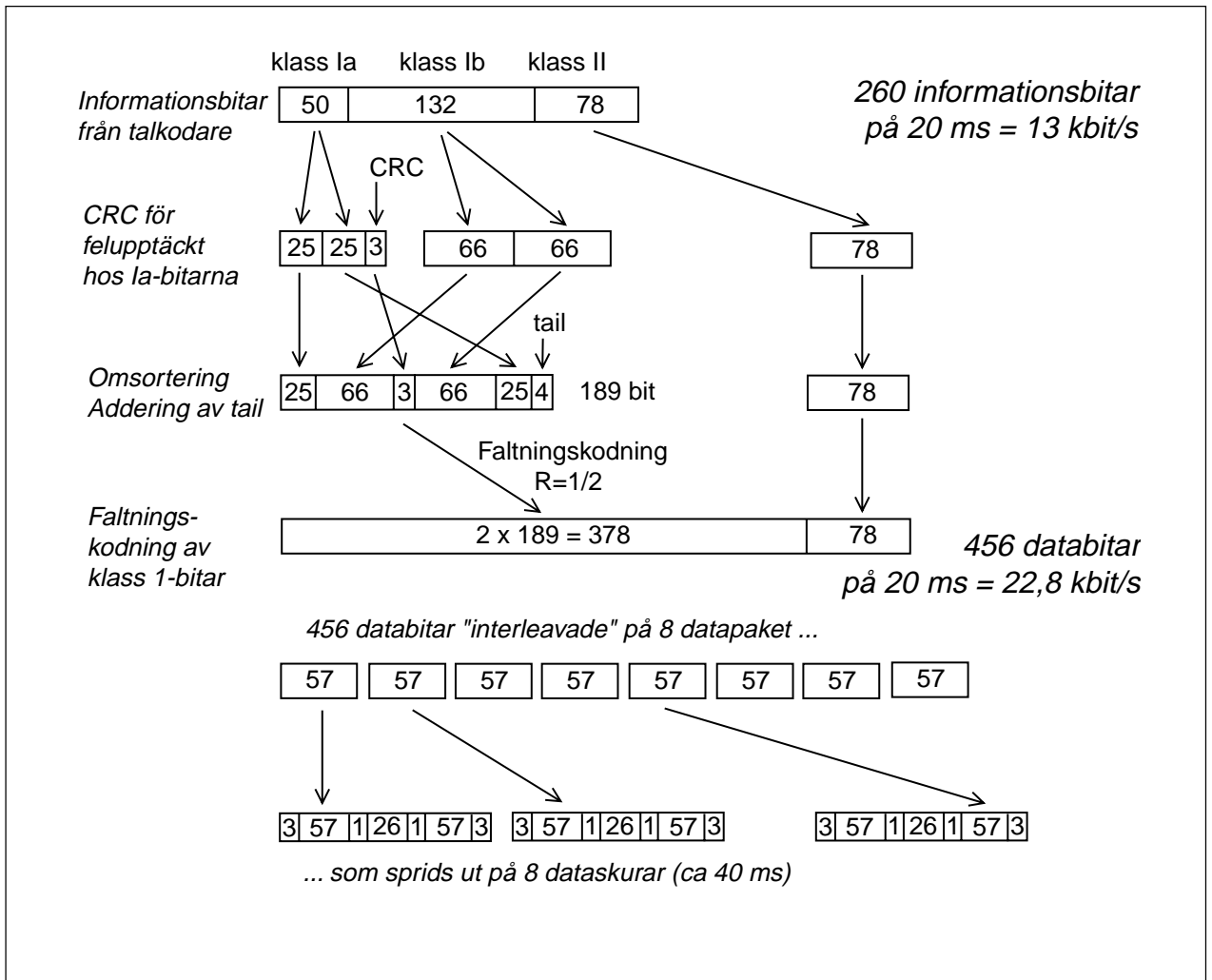
Från talkodaren kommer 50 ggr per sekund 20 ms tal (en talram) som består av 260 informationsbitar, uppdelade på 50 informationsbitar av *klass Ia*, 132 informationsbitar av *klass Ib* och 78 informationsbitar av *klass II*.

- *Ia*-bitarna är speciellt viktiga för att kunna återskapa ljudet. Dessa informationsbitar måste vara bitfelsfria.  
För att kunna kontrollera att *Ia*-bitarna är felfria så adderar man en CRC kontrollsumma på tre databitar. Om mottagaren upptäcker bitfel, CRC error, så kastas hela talramen på 260 informationsbitar (20 ms tal). I stället upprepar talkodaren föregående talram.
- Därefter skall *Ia*-bitarna och *Ib*-bitarna skyddas av en felminimerande faltningskod.  
Före faltningskodningen placerar man *Ia*-bitarna först och sist i det block som skall faltningskodas. Det är i början och slutet som faltningskodningen ger bästa skyddet mot bitfel. CRC kontrollsumman läggs i mitten och *Ib*-bitarna grupperas runt om. Faltningskodningen sker med 4 minnesceller. Därför avslutas med fyra tailbits, som alla har värdet noll.
- Faltningskodningen sker med  $R=1/2$ , vilket innebär att det skapas två databitar för varje inmatad bit. 189 bitar blir 378 databitar.
- Därefter adderas de 78 *klass II*-bitarna, som överförs utan bitfelsskydd.

### Totalt 456 databitar

Nu har vi totalt fått 456 databitar som skall skickas till mottagaren. Och var 20:e ms kommer 456 nya databitar, en bithastighet på 22,8 kbit/s.

- Återstår interleaving, som utförs så som beskrivits i föregående avsnitt.



## 15.7 GSM kanalkodning på andra kanaler

Tabellen på nästa sida visar en sammanställning av GSM kanalkodning på de olika trafik- och signaleringskanalerna.

### Full Rate (F) och Half Rate (H)

I GSM är TDMA-ramen indelad i åtta tidsluckor. Dessa kan användas för 8 samtidiga kanaler. Detta trafiksätt kallas Full Rate (F).

Men man kan även låta varje användare få en tidlucka i varannan TDMA-ram. På detta sätt får man in 16 samtidiga samtal. Detta trafiksätt kallas Half Rate (H).

Vid Full Rate utnyttjas de 26 TDMA-ramarna så att det i 24 TDMA-ramar finns TCH, i en TDMA-ram finns SACCH och i en TDMA-ram är ficktelefonen Idle (I). Vid Half Rate utnyttjas tidluckan i varannan TDMA-ram för en abonnent som får TCH i 12 TDMA-ramar och SACCH i en TDMA-ram. Den andra abonnenten får TCH i de övriga 12 TDMA-ramarna, och i den tidlucka där den förra abonnenten var Idle, där får denna abonnent sin SACCH-kanal.

### TCH

Kanalkodningen på en GSM trafikkanal vid Full Rate har redan behandlats. Half Rate i dess ursprungliga form har inte fått någon spridning.

### TCH/F9,6 och TCH/H4,8

TCH/F9,6 är en Full Rate kanal för datakommunikation. Informationsbithastigheten är 12 kbit/s. På 20 ms blir detta 240 informationsbitar, som faltningskodas. Men  $240 + 4$  multiplicerat med två blir 488 databitar. Det finns bara plats för 456 databitar. Därför "punkterar" man 32 databitar, man stryker var 15:e databit så som beskrivits vid punkterad faltningskodning.

TCH/H4,8 är samma som TCH/F9,6 fast hälften. På 40 ms blir det 240 informationsbitar som faltningskodas på motsvarande sätt.

Interleaving ger tidsfördröjning. Först måste "källan" prata färdigt (20 ms). Därefter skall detta kodas och kanalkodas och sedan spridas ut på TDMA-ramarna. Vid tal

sker interleaving över 8 TDMA-ramar som ger ytterligare 40 ms fördröjning (totalt 60 ms) som egentligen inte är önskvärt vid telefoni. Vid datakommunikation kan man oftast acceptera fördröjning. Därför sker interleaving över 22 TDMA-ramar, vilket ger längre fördröjning men bättre skydd mot bitfel.

### TCH/F4,8 — TCH/F2,4 — TCH/H2,4

Detta är datakanaler för lägre datahastigheter. Det är tveksamt om någon av dessa används, men kodningen är intressant. Eftersom de låga datahastigheterna ger förhållandevis få informationsbitar under 20 ms (i ett fall adderas 32 nollor bara för att fylla ut) så används faltningskoder som ger tre respektive sex databitar för varje inmatad informationsbit.

### Synkroniseringskanalen (SCH)

SCH skickas i en dataskur kallad S-burst, som innehåller två block om 39 databitar, totalt 78 databitar. SCH upprepas med ungefär 10 TDMA-ramars mellanrum. Det är ingen katastrof om mottagaren inte kan tyda informationen. Mottagaren väntar på nästa tillfälle.

Däremot är det viktigt att mottagaren vet om den tolkat informationen rätt. Därför skyddas 25 informationsbitar av en stark CRC kontrollsumma på hela 10 databitar. Till dessa 35 databitar adderas en tail på 4 nollor och alltihop faltningskodas till dubbelt så många databitar.

### Anropskanalen (RACH)

Access burst innehåller ett fält på 36 databitar. Informationen består av 8 informationsbitar (en "slumpkod" som adress) som skyddas av 6 bitar CRC kontrollsumma. Därefter adderas en tail på 4 nollor och allt faltningskodas till dubbelt så många databitar.

### Signaleringskanalerna

Samtliga signaleringskanaler har 184 informationsbitar, som skyddas av en skurfelsrättande och felkontrollerande Fire-kod som

GSM-kanal	Input rate kb/s	Input block bits	Kodning	Output block bits	Interleaving
TCH	la	50	CRC (3 bits), Faltning 1/2	456	8 halv-bursts
	lb	132	Faltning 1/2		
	ll	78	ingen		
TCH/F9,6 TCH/H4,8	12 6	240	Faltning 1/2 punkterad 1 bit av 15	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
TCH/F4,8	6	120	addera 32 null bits Faltning 1/3	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
TCH/F2,4	3,6	72	Faltning 1/6	456	8 halv-bursts
TCH/H2,4	3,6	144	Faltning 1/3	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
SCH		25	CRC (10 bits), Faltning 1/2	78	ingen (1 S-burst)
RACH		8	CRC (6 bits), Faltning 1/2	36	ingen (1 access burst)
FACCH (på TCH)		184	Fire-kod 224/184 Faltning 1/2	456	8 halv-bursts
SDCCH SACCH BCCH PCH, AGCH					4 hela bursts

lägger till 40 kontrollbitar (224/184). Sedan förses dessa 224 databitar med 4 bitar tail och allt faltningskodas till 456 databitar.

Signaleringskanalerna skyddas alltså både av en bitfelsminimerande faltningskod och en skurfelsrättande Fire-kod, eftersom man inte har interleaving över lika många tidluckor (FACCH som stjälar TCH undantagen). Fire-koden klarar dessutom att indikera om det finns återstående bitfel som inte går att rätta. Man har alltså ett starkt felskydd på signaleringskanalerna.

## 15.8 AMR (Adaptive Multi Rate)

### Hur låter talet när det är bitfel?

Vid vågformskodning innebär bitfel att det adderas brus och knaster till talsignalen. När bitfelen tilltar når man en gräns då det är svårt att uppfatta talet bland störningarna. Man får en gradvis tilltagande störnivå.

Vid vocoder- och hybridkodning finns ingen gradvis försämring. Talavkodaren klarar några enstaka bitfel, men inte bland de informationsbitar som tillhör *klass 1a*. Då ger avkodaren upp och repeterar det ljud som överfördes i föregående 20ms-block. Det behövs inte många bitfel innan det är omöjligt att uppfatta talet. De talkodare som används inom mobiltelefoni är därför beroende av så kraftfull kanalkodning att informationsbitarna i stort sett tolkas bitfelsfritt.

I bland är förhållandena på radiosträckan ypperliga. Signalstyrkan är hög och störnivån låg. Vi har högt C/I. Sannolikheten för bitfel är låg, och man behöver inte slösa databitar på kanalkodning. Färre databitar per informationsbit innebär att informationsbithastigheten kan göras högre.

Vid andra tillfällen är förhållandena urusla. Signalen drunknar i brus och störningar. C/I är lågt. Bitfelshalten är så hög att det behövs mycket kraftfull kanalkodning, d.v.s. många extra databitar för att få över informationsbitarna tillräckligt bitfelsfritt. I

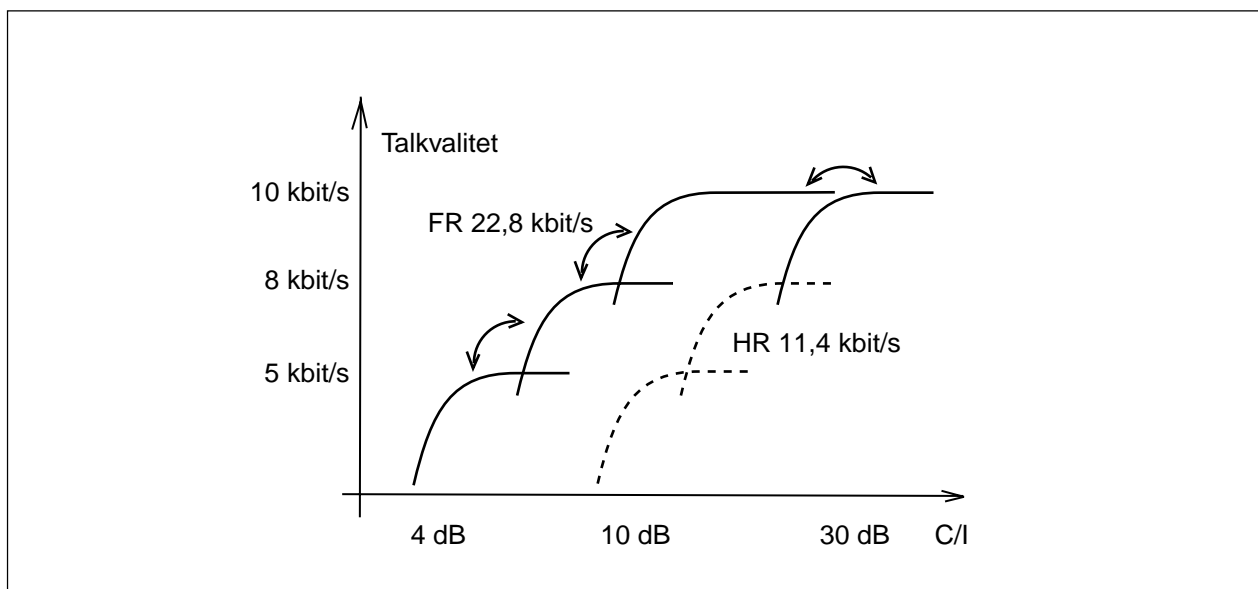
detta fall finns bara utrymme för en låg informationsbithastighet.

Det är här Adaptive Multi Rate kommer in i bilden. Man skapar kombinationer av talkodning och kanalkodning som håller sig inom 22,8 kbit/s, datahastigheten i en GSM FR-kanal (Full Rate), respektive 11,4 kbit/s, en GSM HR-kanal (Half Rate).

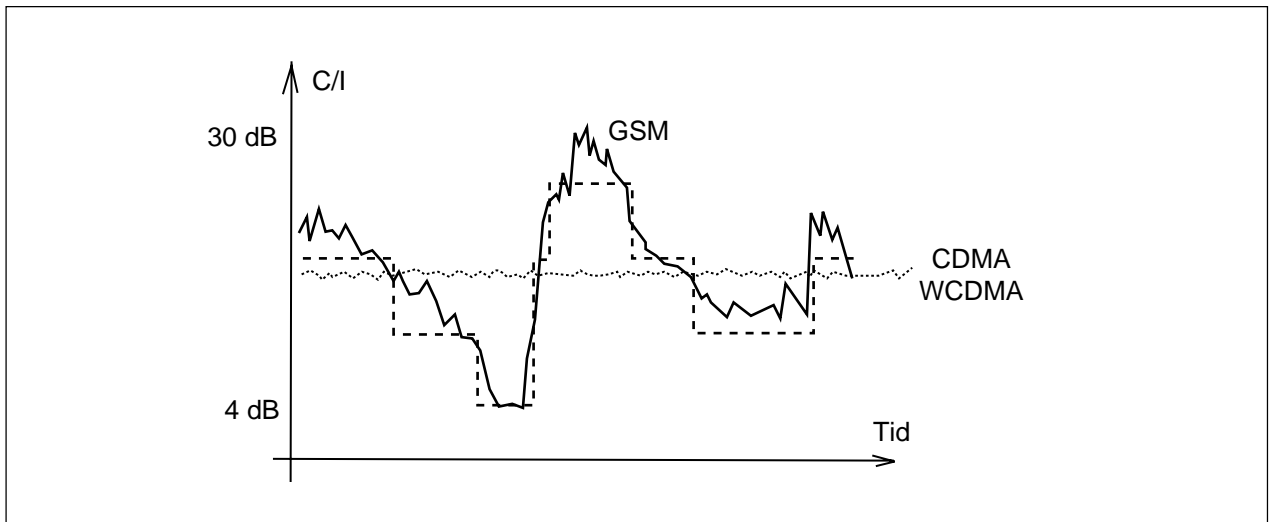
En talkodning på 5 kbit/s ger egentligen alldeles för dålig talkvalitet. Men om man kanalkodar denna låga informationsbithastighet till 22,8 kbit/s så blir kanalkodningen så kraftfull att den klarar en radiosträcka med extremt lågt C/I. Om alternativet är att samtalet bryts, så kanske vi kan acceptera den dåliga talkvaliteten.

Adaptive Multi Rate innebär att så snart som C/I blir högre så byter man till nästa tal-/kanalkodningsalternativ. På detta sätt överför vi hela tiden optimalt antal informationsbitar.

Om C/I blir mycket högt, t.ex. vid direkt sikt i närområdet runt basstationen, så kan man mycket väl byta till en GSM HR-kanal, för att öka antalet samtidiga samtal i nätet, utan att abonnenterna får sämre talkvalitet.







### Utnyttjas av GPRS och EDGE

Det är inte bara vid talförbindelser som det är effektivast att anpassa kanalkodningen till radiosträckans C/I.

Vid datakommunikation används alltid CRC i kombination med ARQ. Men många omfrågningar gör att den effektiva informationsbithastigheten sjunker. När man kommit upp i en viss mängd omfrågningar lönar det sig att i stället satsa på kraftigare kanalkodning.

### AMR behövs inte vid CDMA

Vid GSM varierar signalstyrkan när man rör sig, främst beroende på hinderdämpning, men även i viss mån korta reflexer. Därför kommer C/I att variera. Det är alltså fördelaktigt om kanalkodningen kan anpassas till dessa variationer.

CDMA-tekniken kräver att alla ficktelefoner har samma signalstyrka vid basstationsradiomottagaren. Därför skickar basen kontinuerligt effektregleringskommandon till ficktelefonen, 800 ggr per sekund vid cdmaOne, 1600 ggr per sekund vid WCDMA. Detta innebär att C/I i stort sett kommer att vara konstant, och det finns inget behov av att variera kanalkodningen i takt med C/I, som ju inte varierar.

## 15.9 ARQ (Automatic Retransmission reQuest)

Tal och bild kräver inte felfri överföring. Huvudsaken är att inte örat eller ögat märker något.

Om talet eller bilderna ingår i ett samtal mellan människor så får det inte vara alltför stor tidsfördröjning. Dessutom får talet eller bilderna inte komma ryckigt.

Om talet och bilderna är enkelriktad information, rundradio, så märker vi inte om tidsfördröjningen är lång. Däremot får talet eller bilderna inte komma ryckigt.

Vid datakommunikation är huvudkravet att överföringen skall vara helt bitfelsfri.

När det inte får uppstå alltför stor tidsfördröjning så finns ingen tid att begära omsändning vid bitfel. Enda skyddet är så kraftfull kanalkodning som möjligt. Det är detta som tillämpas vid mobiltelefoni, på talkanalen. Det tillämpas även vid rundradio, när det inte finns någon returkanal där man kan begära omsändning. Exempel är digital ljudradio och digital tv.

### ARQ

Om det finns en returkanal och det inte kommer bitfel alltför ofta så kan det effektivaste vara att satsa på en felupptäckande kodning, CRC kontrollsumma, och begära omsändning vid bitfel. Genom att ha ett stort buffertminne så hinner man få fram en omsändning utan att talet eller bildflödet påverkas. Exempel är Internet-radio.

Vid ren datakommunikation används alltid CRC kontrollsumma för bitfelskontroll, och vid bitfel begär man omsändning av felaktiga block.

### Hybrid ARQ

Vid datakommunikation i GSM används alltid CRC kontrollsumma för felkontroll och omsändningsbegäran. Så gör man när abonnenten sätter upp en dataförbindelse på trafikkanalen, och så gör man på signaleringskanalerna. Men dessutom finns, ovanpå, en bitfelsminimerande faltningskodning. Vi har alltså både bitfelsminime-

rande kodning och kodning för att styra omsändningsbegäran. Detta kallas hybrid ARQ.

### Typ I hybrid ARQ

Typ I innebär att man vid bitfel kastar det felaktiga blocket och begär samma block igen. Man gör helt enkelt ett nytt försök.

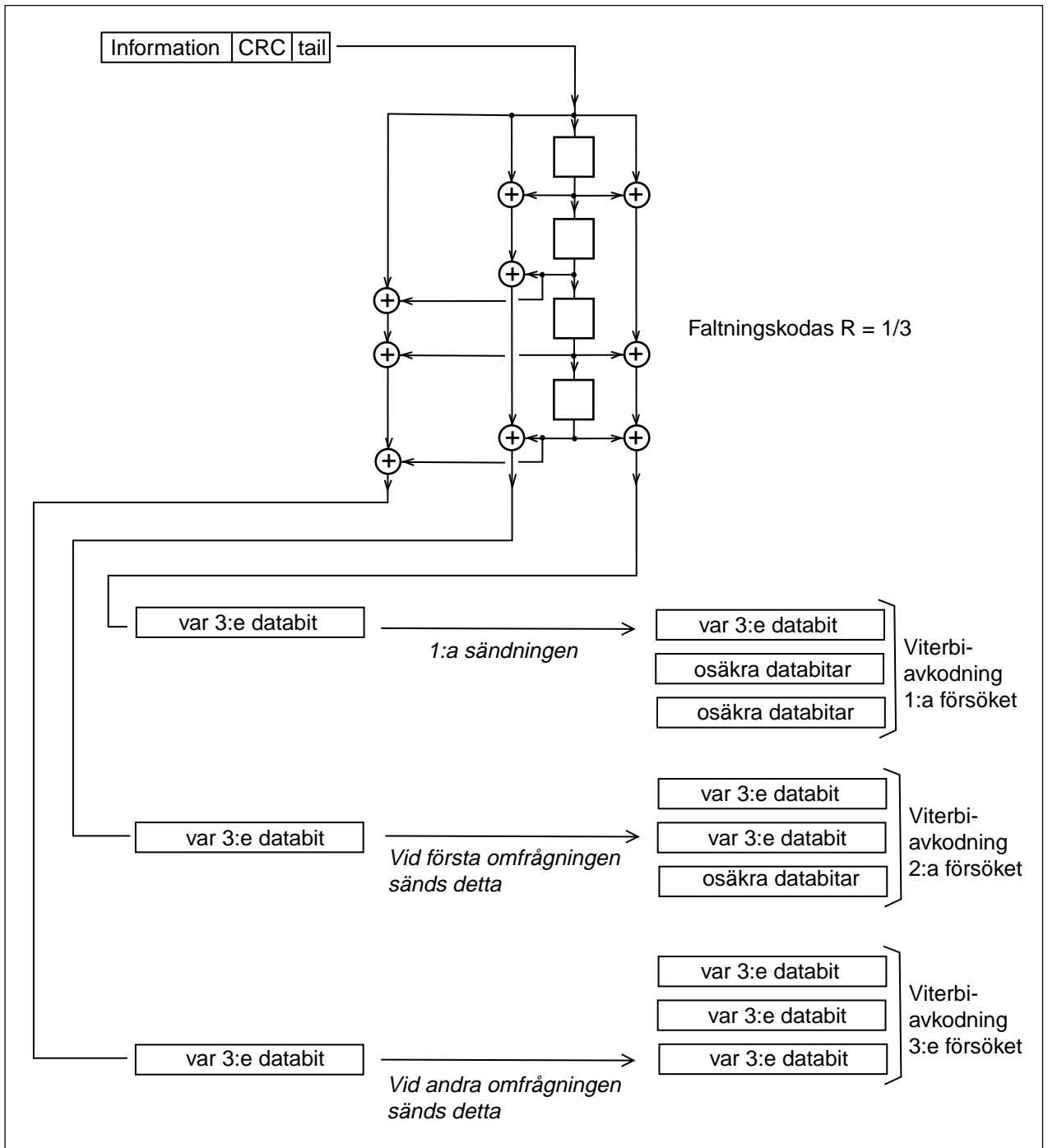
### Typ II hybrid ARQ

Vid typ II kastar vi inga mottagna databitar utan kompletterar med fler.

Vi tar våra informationsbitar och lägger till en CRC kontrollsumma. Nu skall detta block faltningskodas. Som exempel använder vi en faltningskod med  $R=1/3$ , d.v.s. vi får tre gånger så många databitar.

- Nu punkterar vi  $2/3$  av databitarna, d.v.s. i första försöket sänder vi bara en databit per informationsbit.
- Om det blir CRC error så sänder vi hälften av de punkterade databitarna nästa gång.
- Om det fortfarande är CRC error så sänder vi resten av de punkterade databitarna. Vi kastar alltså inga block utan kompletterar med en kraftfullare kanalkodning för varje nytt block som sänds.

Typ II hybrid ARQ innebär att informationsbit-hastigheten anpassas till radioförbindelsens störförhållande. Om C/I är lågt så ökas kanalkodningen. Fler databitar per informationsbit innebär förstås lägre informationsbit-hastighet.





## 16 — SMS-tjänsten

---

## 16.1 SMS — säker kommunikation

Kortmeddelandetjänsten SMS (Short Message Service) finns i GSM Phase 1, och är uppdelad i två tjänster:

- SMS abonnent till abonnent
- SMS Cell Broadcast

### SMS-PP (Point to Point), abonnent till abonnent

Som namnet anger är detta SMS som skickas till en enda GSM-abbonent, från en abonnent. Den abonnent som skickar SMS kan göra detta från en GSM-telefon eller via någon gateway som klarar att mata in SMS-meddelandet i det internationella signaleringsnätet. I dag finns betjäningssentraler dit man kan ringa och få SMS-meddelandet inmatat. Vanligare är att via Internet kontakta någon server som matar in SMS-meddelandet på signaleringsnätet.

### SMS-CB (Cell Broadcast)

I detta fall sänds SMS-meddelandet ut över en viss cell och når alla GSM-telefoner som ligger inloggade på denna BTS.

En av tankarna med SMS-CB var att tjänsten skulle kunna användas för trafikmeddelanden till GSM-abbonenter som befinner sig i ett visst geografiskt område. Sådan information av allmän karaktär vill man skall nå alla GSM-abbonenter i området. I Sverige måste ett sådant SMS-CB gå till tre GSM-operatörer (kan bli fler) som dessutom har olika cellmönster i sina nät. Hur hantear man detta?

I kapitel tre nämnde jag den italienska GSM-operatör som skickade ut namnet på järnvägsstationerna via SMS-CB. Detta är en service som riktar sig enbart till den operatörens abonnenter.

Ficktelefonen har begränsat minne för lagring av mottagna SMS och dessutom drar ficktelefonen mer ström vid mottagning av SMS-CB än vid normalt lyssningsläge (stand by). Om så inte vore fallet skulle SMS-CB säkerligen överöst oss med reklam.

### Kommunikation via CCITT #7, SS7

I avsnitt 2.6 beskrivs signaleringsnätet och signaleringspaketens storlek.

Signaleringspaketens maximala storlek sätter en övre gräns för hur mycket text som får plats i ett signaleringspaket. Denna övre gräns är 140 oktetter (8-bitsord). För att få plats med så många tecken som möjligt så används 7-bitsalfabet. Man får alltså plats med 160 stycken 7-bitstecken. Därför har man bestämt att SMS skall vara 160 tecken. Ett kortare SMS fylls ut med blanksteg så att även det blir 160 tecken långt.

Den som vill överföra längre meddelanden kan göra detta som flera SMS-meddelanden. Men då måste man själv ta ansvar för att meddelandena läses i rätt ordning. GSM-nätet kan inte garantera att SMS-meddelandena kommer fram i samma ordning som de sändes.

### Säker kommunikation

Kommunikationen i signaleringsnätet sker på ett sätt som nära överensstämmer med HDLC-protokollet. Detta innebär att varje signaleringspaket (ram) inleds och avslutas med flagga (0111 1110) och man utnyttjar "bit-stuffing" för att undvika att nyttobitarna tolkas som flagga. Efter flaggan kommer adressfältet och därefter kontrollfältet (UA-, I-, RR-ram o.s.v.). Sedan följer datafältet och på slutet två byte kontrollsumma (FCS).

Hela detta signaleringspaket skickas till/från ficktelefonen, med undantag för flaggorna och bit-stuffingen som inte behövs på radiosträckan. Uppdelningen i dataskurar ger byte-synkronisering.

På radiosträckan delas signaleringspaketet upp i mindre delar på 23 oktetter (184 bit) och skickas via SDCCH eller på 21 oktetter och skickas via SACCH, därför att 2 oktetter behövs av SACCH för att styra TA (Timing Advance) och effekttreglering. SACCH är ju samtidigt kontrollkanal för ett uppkopplat samtal, TCH. När signaleringspaketet går via SDCCH så har SDCCH en egen SACCH som styr TA och effekttregleringen.

Kommunikationen ända ut till/från ficktelefonen sker alltså med signaleringspaket som bär med sig sin egen kontrollsumma, som med HDLC-terminologi kallas FCS (Frame Check Sequence).

Den dator som skickar i väg ett signaleringspaket behåller en kopia i minnet, ända tills den mottagande datorn har svarat och accepterat paketet som rätt mottaget. Det kan aldrig förekomma att ett paket inte finns i någon dator, bara på väg mellan två datorer. På detta sätt finns garantier för att inga paket skall kunna "komma bort".

Om du får ett SMS till din ficktelefon men råkar gå in i radioskugga eller stänga av ficktelefonen när bara halva SMS-meddelandet är mottaget, vad händer? Din ficktelefon kommer inte att skicka acceptans på paketet till den dator som sände. Därför finns fortfarande en kopia av paketet.

Denna kopia kommer att skickas vid ett an-

nat tillfälle. På detta sätt fortsätter nätet att göra överföringsförsök ända tills mottagaren bekräftat med "rätt mottaget".

## 16.2 SMS från ficktelefonen, SMS-MO/PP

GSM skiljer mellan SMS från ficktelefonen, och SMS till ficktelefonen. Det går bra att göra så, eftersom SMS inte är en dubbelriktad informationsförbindelse. Text går i en riktning och bekräftelse i andra riktningen.

### SMS-MO/PP

SMS-MO/PP (Mobile Originating Short Message Service, Point to Point) är benämningen när man skickar SMS från ficktelefonen.

### Sänds troligtvis via SDCCH

Nu har du med stor möda skrivit ett SMS-meddelande och trycker på "sänd". Vad händer? Troligtvis ligger du inte uppkopplad i telefonsamtal samtidigt som du sänder SMS. Om du skulle ligga i telefonsamtal så delas SMS-ramen upp i 21 byte-block och samlas på SACCH tillsammans med TA och effektregeringen. Men detta är mindre troligt. Mer troligt är att du inte ligger i samtal och då delas SMS-ramen upp i 23 byte-block och sänds via SDCCH. Vart?

### Till SMS-IWMSC

Ficktelefonen skickar SMS-ramen via signaleringsförbindelsen till en speciell del av MSC, SMS-IWMSC (SMS Inter Working MSC), som är en del av MXE, se kapitel 5.

SMS-IWMSC skickar bekräftelse tillbaka till ficktelefonen när SMS-ramen är korrekt mottagen, och övertar ansvaret.

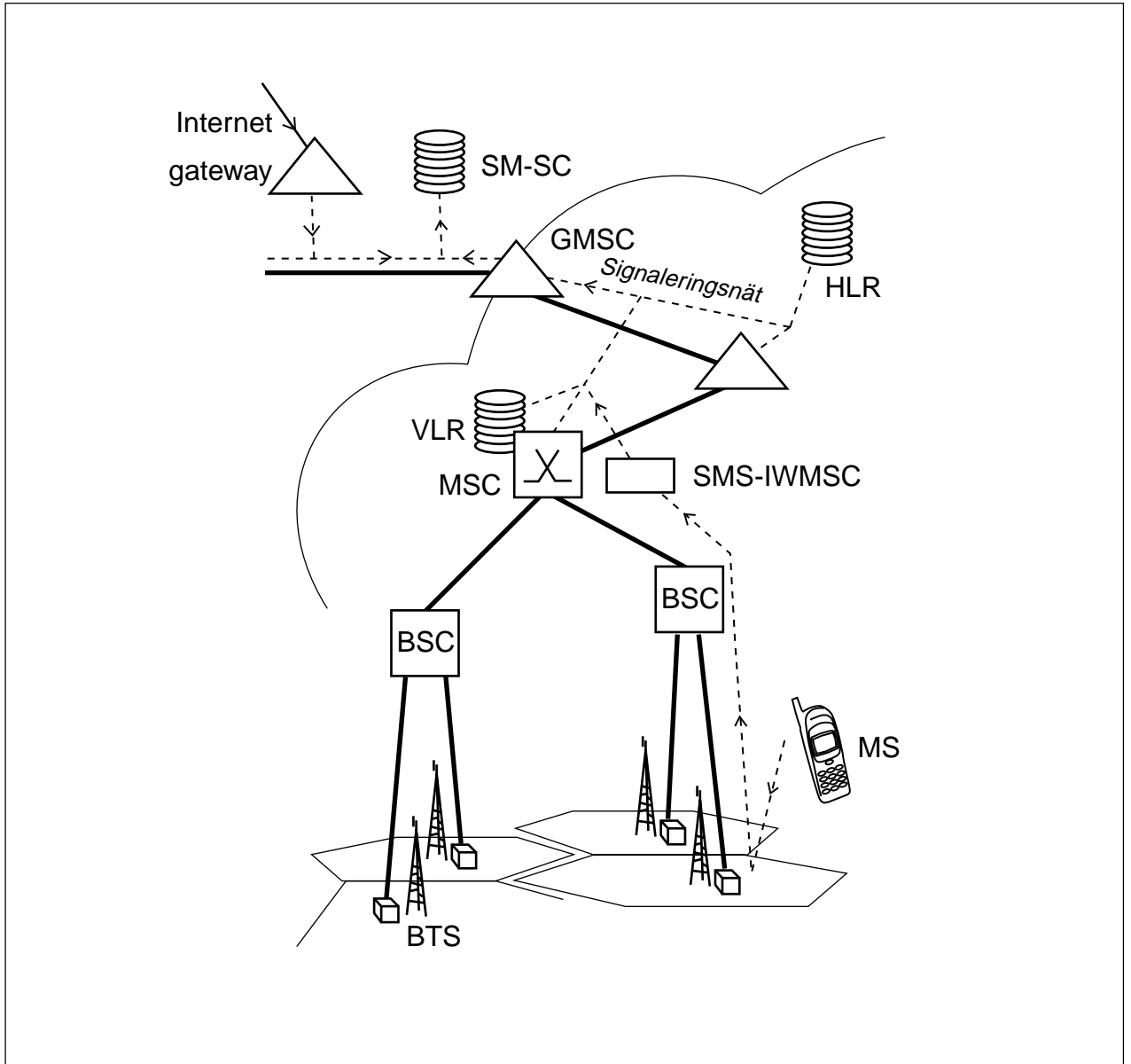
### Till SM-SC

Nästa steg är att SMS-IWMSC skickar SMS-ramen på det internationella signaleringsnätet till någon SM-SC (Short Message Service Centre). Nu ligger SMS-ramen på en server som ansvarar för att SMS-meddelandet levereras till rätt ficktelefon. Men detta tillhör nästa avsnitt.

### Till SM-SC från Internet

Det finns andra möjligheter att skicka SMS-ramar till SM-SC än från en ficktelefon. En gateway mellan Internet och SS7 kan se ut som en Web-server mot Internet, och som en SMS-IWMSC mot SS7. Då kan man anropa Web-servern från Internet, skriva in sitt SMS tillsammans med MSISDN, och få servern att skicka detta på SS7 till någon SM-SC, som skickar SMS-meddelandet vidare till rätt ficktelefon.





## 16.3 SMS till ficktelefonen, SMS-MT/PP

### SMS-MT/PP

SMS-MT/PP (Mobile Terminating Short Message Service, Point to Point) är benämningen när SMS-meddelandet skickas från SM-SC till ficktelefonen.

### SM-SC frågar SMS-GMSC

SM-SC skickar iväg SMS-ramen i riktning mot den SMS-GMSC (SMS gateway MSC), vanligtvis kallad SMS-gateway, som hanterar SMS till denna abonnent. Det kan finnas en eller flera SMS-GMSC per operatör, eller flera operatörer kan dela på en SMS-GMSC.

SMS-GMSC är inte mottagare av SMS-ramen utan bara router. SM-SC stryker alltså inte SMS-ramen ur minnet när ramen kommit fram till SMS-GMSC.

### Frågar HLR

Vad gör SMS-GMSC? Avläser mottagarens MSISDN och skickar en förfrågan via SS7 till mottagarens HLR. SMS-GMSC ställer alltså frågor direkt till HLR, men får inte ett MSRN-nummer som svar. Det behövs ingen trafikförbindelse, utan bara signaleringsnätadressen till den MSC där mottagaren befinner sig.

Därefter skickas SMS-ramen till rätt MSC som ställer upp en signaleringskanal ut till ficktelefonen, SACCH om samtal är uppkopplat, SDCCH om inget samtal är uppkopplat.

### Ficktelefonen kvitterar till SM-SC

När ficktelefonen tagit emot hela SMS-ramen och är nöjd med kontrollsumman FCS så går kvittens hela vägen tillbaka via MSC/VLR och SMS-GMSC till SM-SC som stryker SMS-ramen ur minnet.

### Om SMS-ramen inte kommer fram?

När SMS-ramen kommer fram till MSC så kan ficktelefonen vara avstängd (IMSI detach), eller ficktelefonen kan befinna sig i radiokugga, eller ficktelefonen kan gå in i radiokugga så att bara halva SMS-ramen kommer fram. I samtliga fall sätter VLR en flagga "SMS som inte kunnat levereras".

Samtidigt skickar MSC/VLR ett meddelande till SMS-GMSC att SMS-ramen inte kunde levereras.

Då skickar SMS-GMSC ett meddelande till HLR att det finns SMS som inte kunde levereras, och adressen till den SM-SC där de ligger lagrade.

HLR placerar adressen till SM-SC i en buffert som hör till denna abonnents area på HLR. Ingen bekräftelse går från SMS-GMSC till SM-SC utan SMS-ramen sparas ytterligare en tid.

### Om ytterligare SMS kommer

Om det i detta läge kommer ytterligare ett SMS, och någon SMS-GMSC frågar HLR om signaleringsnätadressen till MSC så svarar HLR att det inte är någon idé. Man kan inte nå ficktelefonen. Ge mig adressen till SM-SC så lägger jag den i bufferten. På detta sätt sparas SMS-ramar på de SM-SC som har hand om distributionen, och HLR lagrar adresserna till dessa SM-SC.

### VLR får kontakt med ficktelefonen

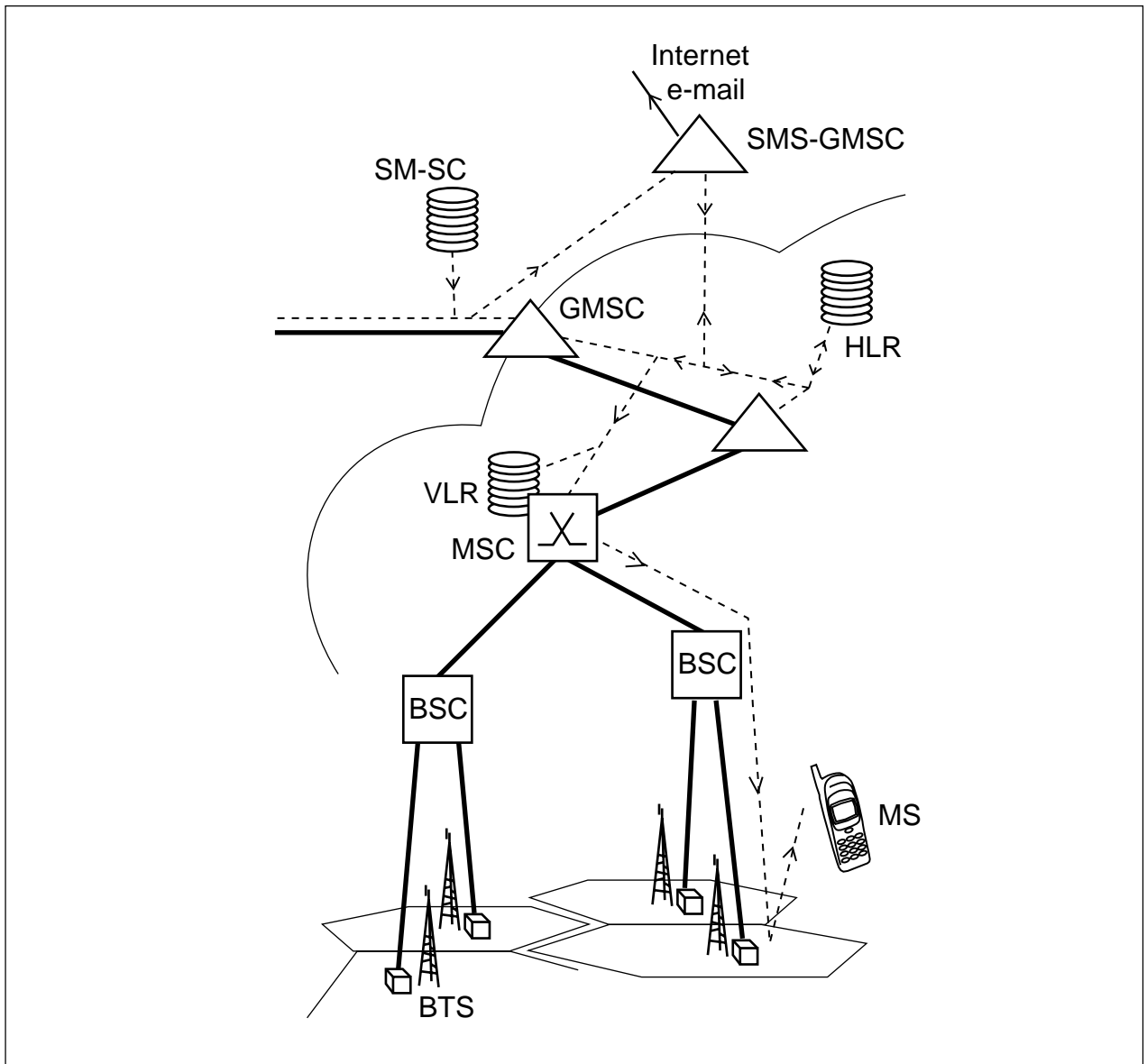
Nu märker VLR att den har kontakt med ficktelefonen. Ficktelefonen kan slås på (IMSI attach), eller komma fram ur radiokugga och byta LA. VLR märker att flaggan "ej levererade SMS" är aktiverad och kontaktar HLR. HLR går in i listan över SM-SC och skickar MSISDN till dessa SM-SC, som gör ett nytt försök att leverera SMS-ramarna, på samma sätt som tidigare.

### Ficktelefonen byter MSC

Om ficktelefonen stängts av och sätts på under en annan MSC/VLR, så hämtar denna VLR uppgifter från HLR. HLR märker att ficktelefonen är aktiv och går in i listan över SM-SC och skickar MSISDN till dessa SM-SC på samma sätt som ovan.

### Vet HLR om ficktelefonen går att nå?

Normalt vet inte HLR om det går att nå ficktelefonen. Inkommande samtal skickas till MSC, och först där märker man om det går att nå ficktelefonen eller inte. Men det finns



ett undantag.

Om det finns adresser till SM-SC i HLR så vet HLR att man inte kunnat nå ficktelefonen, och att ficktelefonen inte givit sig till känna efter detta SMS-försök. Men ficktelefonen kan ha befunnit sig i radioskugga när MSC försökte skicka SMS, men kommit fram ur radioskuggan utan att byta LA. I detta fall kan man nu nå ficktelefonen med ankommande samtal, men HLR vet inte detta.

**SMS kan levereras till andra terminaler**  
SMS-tjänsten är uppbyggd för att leverera textmeddelanden till GSM-telefonen. Men lika väl som att GSM-samtal kan vidarekopplas till fasta telenätet, så kan SMS-tjänsten vidarekopplas till andra nät.

Man kanske föredrar att få SMS-meddelandet utskrivet på en telefax i stället för att få det till ficktelefonen. Eller få det skickat som e-mail till en e-mailadress?



# 17 — Datakommunikation

---

## 17.1 Datakommunikation 9,6 kbit/s och 14,4 kbit/s

### Modemkommunikation i fasta telenätet

När man kopplar ihop två datorer med modem i fasta telenätet så händer följande:

Mellan datorn och modemmet finns sex ledningar plus jordförbindelse. Två av ledningarna är utgående och ankommande data, två av ledningarna är information från datorn till modemmet: DTR (Data Terminal Ready) och RTS (Ready To Send) och de övriga två är kommandon från modemmet till datorn: CD (Carrier Detect) och CTS (Clear To Send).

- DTR: Datorn talar om för modemmet att den är klar att ta emot data.
- CD: Modemet beordrar datorn att ta emot data.
- RTS: Datorn talar om för modemmet att den har data att sända.
- CTS: Modemet ger datorn klartecken att sända.

### Modemkommunikation med ficktelefon

Den dator som sitter i fasta telenätet är fortfarande ansluten på samma sätt, med modem. Frågan är hur datorn vid ficktelefonen skall anslutas?

Modemkvittret kommer som PCM-kodat 64 kbit/s-ljud via fasta telenätet in i GSM-nätet till MSC. Kvittret kan gå ända fram till BSC, men här slutar 64 kbit/s-kodningen och omkodas till 13 kbit/s GSM-talkodning som inte klarar att låta som ett modem. På något ställe före denna punkt måste det sitta ett mottagande modem.

Modemet sitter vid MSC i en enhet som i kapitel 5 kallas för GIWU (GSM Interworking Unit).

### Modemsladden skall förlängas ut till ficktelefonen

Det som kommer in och ut ur modemmet är digitala dataledningar och fyra kontrollledningar. Den kommunikationskanal som står till förfogande ut till ficktelefonen är 456 databitar var 20:e millisekund. Hur används databitarna?

### Data 9,6 kbit/s

Man vill att modemmet skall koppla upp sig med datahastigheten 9,6 kbit/s. Detta är 192 informationsbitar på 20 ms. Dessutom har vi kontrollledningarna. Datorn måste kunna prata med modemmet (DTR,CD,RTS,CTS). Därför lägger vi till 8 informationsbitar, totalt 200 informationsbitar.

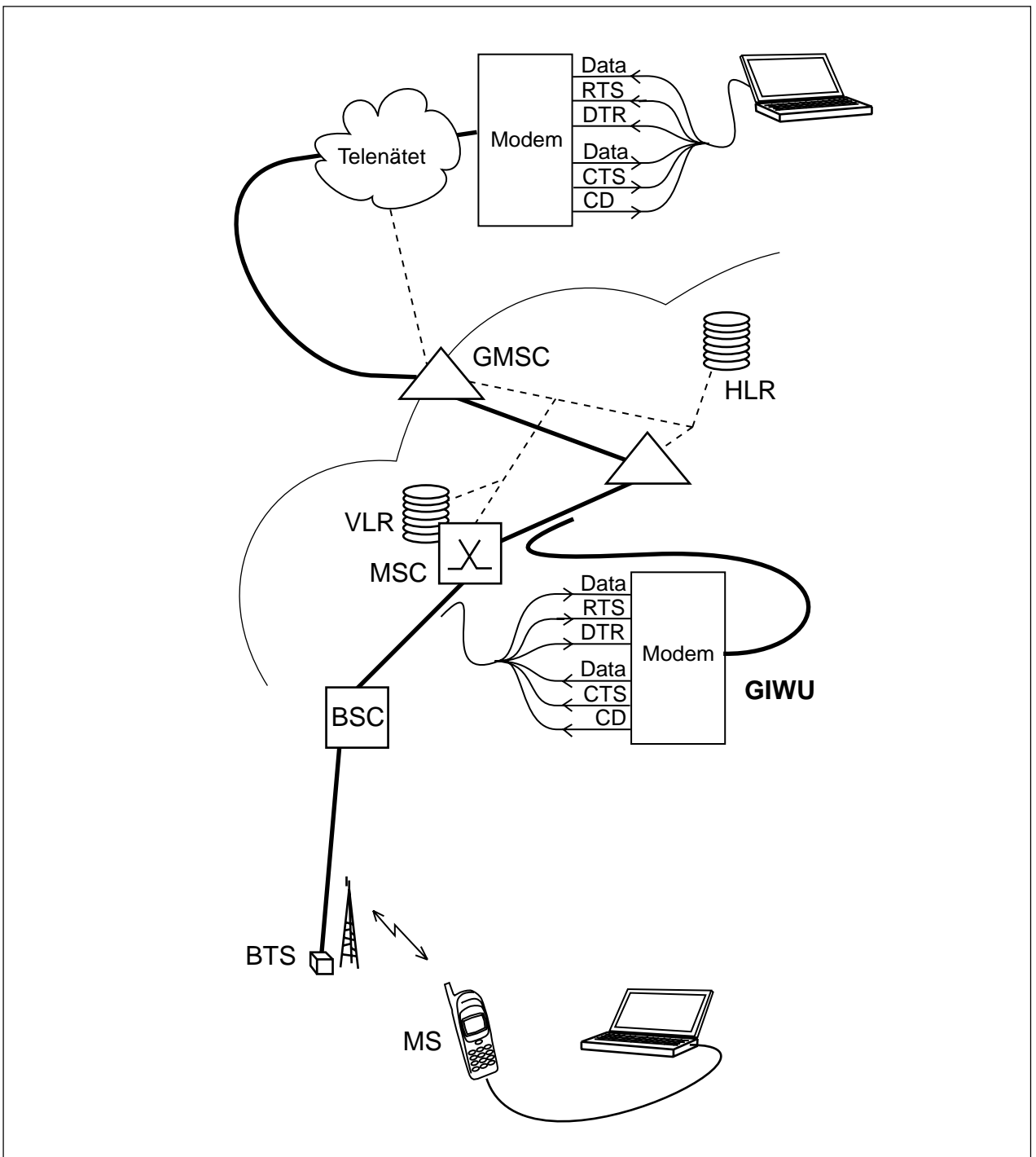
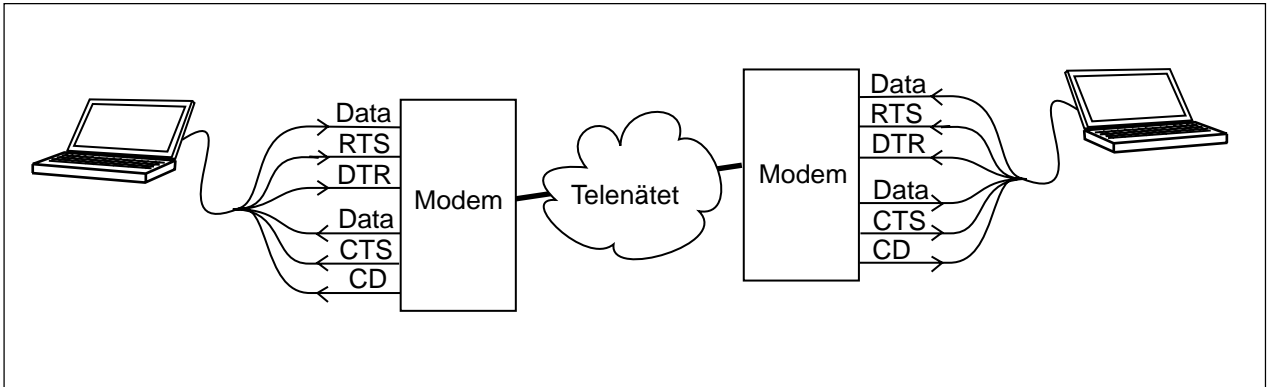
Men datakommunikation skall ske bitfelsfritt med hjälp av ARQ. Vi måste ha en kontrollsumma, CRC, och ett "paketnummer" så att vi kan identifiera vilket paket som skall repeteras. Därför adderar vi 40 databitar som utgör CRC och paketnummer, och får totalt 240 informationsbitar. Vi adderar 4 nollor som tail och faltningskodar till 488 databitar, där var 15:e databit punkteras så att vi totalt får 456 databitar.

### Data 14,4 kbit/s

I GSM Phase 2+ har tillkommit möjligheten att koppla upp datakommunikation med hastigheten 14,4 kbit/s. Detta innebär 288 informationsbitar på 20 ms. Vi adderar 8 databitar för modemkommunikation och 40 databitar för CRC och paketnummer, totalt 336 informationsbitar, som med 4 nollor tail blir 340 och med faltningskodning 680 databitar. Därefter sker en mycket kraftig punktering ner till 456 databitar, som nästan helt eliminerar faltningskodningens bitfelsminimerande förmåga.

### Omfrågningar sänker datahastigheten

Om vår ficktelefon kan kommunicera med 14,4 kbit/s men det blir omfrågningar på hälften av paketen, så sjunker effektiva datahastigheten till 2/3, d.v.s. 9,6 kbit/s. Blir det omfrågningar på ännu fler paket så är det effektivare att övergå till 9,6 kbit/s med kraftfullare kanalkodning så att antalet bitfel och omfrågningar minskar. En sådan övergång utförs automatiskt av utrustningen.



**GSM-modem**

Vad är detta för modem? Är det ett modem? Med modem menas modulator/demodulator, den enhet som omvandlar databitar till symboler genom att modulera en bärvåg. Något sådant sker inte vid ficktelefonen. Själva modemmet sitter vid MSC.

Vad som finns vid ficktelefonen är intelligens som hanterar CRC och omfrågningar, samt ser till att datorn får styr signaler till/från modemmet på samma sätt som om datorn varit ansluten med en lång kabel direkt till modemmet inne vid MSC.

Hantering av CRC, omfrågningar och styr signalerna kan skötas av ett PC-kort som ansluts med sladd till GSM-telefonen.

Detta kan även göras mjukvarumässigt av programvara i datorn, ett mjukvarumodem. Tredje möjligheten är att funktionaliteten är inbyggd i GSM-telefonen så att GSM-telefonen ansluts som ett vanligt modem till datorn.

**I GSM-nätet**

Att datasignalen och styrledningarna skall anslutas till modemmet inne vid MSC är klart. Men hanteringen av CRC och omfrågningar från GSM-nätets sida? Var hanteras detta? Av BSC.



## 17.2 HSCSD — High Speed Circuit Switched Data

Vid uppkoppling av GSM dataförbindelser med hastigheten 9,6 kbit/s eller 14,4 kbit/s används en trafikkanal, en tidlucka. Det finns möjlighet att koppla upp flera trafikkanaler, flera tidluckor, och på så sätt komma upp i högre datahastighet.

### Kretskopplat — circuit switched

I det vanliga telefonnätet, när vi ringer, så "hyr" vi en telekommunikationsförbindelse under hela samtalet. Ingen annan kan använda vår förbindelse, men vi måste också betala för hela samtalstiden oavsett om vi pratar eller är tysta. Att på detta sätt koppla upp förbindelser som reserveras för samtal mellan två abonnenter, kallas kretskopplad förbindelse.

GSM-telefonens radiokanal är uppdelad i 8 förbindelser. Varje förbindelse använder radiokanalen under 1/8 av tiden. Vi säger att radiokanalen är uppdelad i tidluckor, 8 tidluckor. När vi normalt ringer GSM-samtal eller kopplar upp kretskopplad data 9,6 kbit/s eller 14,4 kbit/s så får vi tillgång till en tidlucka. Men GSM-telefonen klarar att arbeta under flera tidluckor. Vi kan alltså koppla upp flera samtal, flera tidluckor efter varandra. Det finns inga tillämpningar där man gör så här vid talkommunikation, men däremot finns det vid data.

### Högre datahastighet genom fler förbindelser (tidluckor)

HSCSD är benämningen på den teknik som möjliggör uppkoppling av flera trafikkanaler för att uppnå högre datahastighet. Det finns i dag GSM-operatörer som erbjuder sina abonnenter tre trafikkanaler från basstationen ut mot ficktelefonen, och en trafikkanal i returriktningen. Om GSM-nätet klarar 9,6 kbit/s så ger detta 28,8 kbit/s i nedlänken och 9,6 kbit/s i upplänken. Om GSM-nätet klarar 14,4 kbit/s kommer man upp i 43,2 kbit/s i nedlänken och 14,4 kbit/s i upplänken.

Förbindelsen från telenätet till MSC och vidare till BSC klarar maximalt 64 kbit/s. Det är i BSC som tidluckorna hanteras. Det är där som dataströmmen fördelas på upp till tre tidluckor ut till ficktelefonen. Därför är 64 kbit/s den maximala datahastigheten vid kretskopplade tjänster såsom HSCSD.

Fördelen med HSCSD är högre datahastighet, upp till maximalt 64 kbit/s. Nackdelen är att man belägger flera trafikkanaler och troligtvis måste betala tredubbel mobilteletaxa. Vanligt är att GSM-operatören begränsar användningen av flera tidluckor till tider på dygnet med lågtrafik, då det finns ledig kapacitet i GSM-nätet. GSM-nätet klarar även att koppla ner någon av förbindelserna under pågående datauppkoppling, om det skulle bli brist på trafikkanaler.

### Högre datahastighet i upplänken?

Att sända från ficktelefonen med högre datahastighet, i flera tidluckor, skulle naturligtvis också vara möjligt. Man kan inte sända och ta emot samtidigt, men detta är ju inte nödvändigt vid datakommunikation som oftast är enkelriktad i varje enskilt ögonblick.

Ett problem med flera tidluckor är att ficktelefonens sändare levererar effekt under fler tidluckor. Medeleffekten blir högre. Ficktelefonen behöver en sändartransistor som klarar högre medeleffekt, som leder till mer värme, vilket kräver effektivare kylning.



## 18 — GPRS

---

## 18.1 Effektivt utnyttjande av tid och frekvens

### Nyttjandegraden är bara 50 %

Vid telefonsamtal kopplar man upp en trafikkanal som består av två förbindelser, en i vardera riktningen. Men vanligtvis används bara en förbindelse i taget. Antingen talar abonnent A och då lyssnar abonnent B. Tal går på förbindelsen från A till B, medan det är tyst på förbindelsen från B till A. Eller också tvärt om.

I dag finns ingen möjlighet att låta andra abonnenter utnyttja denna "dödtid" på förbindelserna. Båda förbindelserna är reserverade för telefonsamtalet mellan A och B oavsett om abonnenterna talar eller är tysta.

### Blixtsnabb upp- och nedkoppling

En möjlighet att utnyttja förbindelserna effektivare skulle kunna vara blixtsnabb upp- och nedkoppling av tidluckor. Varje trafikkanal får bara tidlucka när information skall överföras, och bara i den aktuella trafikriktningen.

- Jag ringer från min ficktelefon. Nummerinformationen överförs på signaleringskanalen, varefter signaleringskanalen kopplas ner.
- Nu får jag en trafikkanal, men inga tidluckor på radiosträckan. När B-abbonenten svarar får jag en tidlucka i nedlänken, men ingen i upplänken. Jag kan höra vad B-abbonenten säger.
- Nu tystnar B-abbonenten och jag förlorar tidluckan i nedlänken. I stället börjar jag tala och får blixtsnabbt en tidlucka i upplänken, som jag förlorar i samma ögonblick som jag blir tyst.

Även om en sådan överkoppling skulle kunna ske blixtsnabbt, så kan man inte garantera att det verkligen finns lediga tidluckor precis när någon börjar tala. Det kan bli köbildning som stör rytmen i samtalet. Men vid datakommunikation kan man många gånger acceptera om det tar någon sekund innan dataflödet kommer igång.

### Uppkoppling mot Internet

Anslut din PC till ficktelefonen och koppla upp mot Internet via GSM data 9,6 kbit/s eller 14,4 kbit/s, eller via HSCSD. Det går till på följande sätt:

Du slår telefonnumret till din ISP (Internet Service Provider, din Internetoperatör). Samtalet kopplas upp, din PC tilldelas ett IP-nummer, och du får en IP-förbindelse ut på Internet. Nu kan du surfa, och web-sidorna kommer med 9,6 kbit/s eller 14,4 kbit/s, aningen långsamt, eller via HSCSD där hastigheten är acceptabla 28,8 kbit/s eller 43,2 kbit/s.

Men GSM-samtalet måste vara uppkopplat hela tiden. Du belägger tidluckor, en tidlucka i upplänken och upp till tre tidluckor i nedlänken (HSCSD), under hela tiden du surfar. Eftersom dessa tidluckor lika väl kunde användas för vanliga GSM telefonsamtal så vill operatören att du betalar för alla tidluckor, oavsett om du laddar hem en ny sida eller bara sitter och läser.

Om du koppla ner samtalet när du sitter och läser, så tappar du ditt IP-nummer. När du vill ladda ner ytterligare en sida så måste du ringa upp och logga in på nytt, få nytt IP-nummer.

### GPRS

Vid GPRS kontaktas din ISP på liknande sätt som vid GSM data och din PC tilldelas ett IP-nummer. Därefter förlorar du tidluckorna men varken din ISP eller din PC märker detta. GPRS-nätet agerar på sådant sätt att din ISP tror att det fortfarande finns förbindelse med din PC. Och din PC tror att den har kontakt med din ISP. Båda parter tror att det finns förbindelse, men förbindelse finns bara när något finns att sända, och bara i just den riktningen.

Så snart som du inte har data att sända så tappar du tidluckan (tidluckorna) i upplänken. Och så snart som du inte laddar ner data från Internet så tappar du tidluckan (tidluckorna) i nedlänken. Men din PC märker inte detta utan tror att den hela tiden ligger uppkopplad mot Internet.

**Högre datahastighet**

Vid GSM 9,6 kbit/s och 14,4 kbit/s datauppkoppling eller HSCSD skickas datapaketerna från BSC till MSC och ut på tele-nätet, en uppkopplingsväg som maximalt klarar datahastigheter upp till 64 kbit/s.

Vid GPRS avlänkas GPRS-paketerna i BSC och skickas på ett separat IP-nät till GPRS-noder, SGSN (Serving GPRS Support Node) som motsvarar MSC, och GGSN (Gateway GPRS Support Node) som motsvarar GMSC, och vidare ut på Internet, eller andra datanät, beroende på hur jag väljer att koppla upp min GPRS-anslutning. Denna väg finns inget som begränsar datahastigheten.

**Som LAN anslutet till Internet via ISDN**

Vid GPRS kan datahastigheten uppgå till 60 – 115 kbit/s beroende på antalet tidluckor, jämförbart med de datahastigheter som man får vid Internetanslutning via ett ISDN-abonnemang.

Många mindre företag har sitt LAN anslutet till Internet via ett ISDN-abonnemang. Alla datorer på detta LAN kan samtidigt vara uppkopplade mot Internet. På samma sätt fungerar GPRS. Många GPRS-telefoner kan samtidigt vara anslutna till Internet via GPRS, men de delar på en och samma GPRS-kanal.

**IP-uppkopplingen hänger med även när du rör dig**

Du kan förflytta dig med din GPRS-telefon, från cell till cell. Fortfarande har du samma IP-uppkoppling mot Internet, samma IP-nummer.

**GPRS mot andra datanät än Internet**

GPRS kan utnyttjas för uppkoppling mot andra datanät än publika Internet. Operatören kan t.ex. erbjuda uppkoppling mot ditt företags interna LAN. Då kan du kommunicera från en PC ansluten till din GPRS-telefon från vilken plats som helst i hela världen, på en krypterad och skyddad förbindelse.

## 18.2 Nätstrukturen i GPRS

### MS = MT + TE

I GPRS kallas datorn TE (Terminal Equipment), medan själva GPRS-radion kallas MT (Mobile Terminal). Tillsammans kallas dessa MS (MT + TE = MS, Mobile Station).

MT innehåller SIM-kortet. Det finns ingen anledning att ha en särskild beteckning på "MT utan SIM", eftersom MT inte fungerar utan SIM. I GSM kan ME (MS utan SIM) användas som nödtelefon. Något motsvarande finns inte i GPRS-tjänsten.

### BTS

Basstationen BTS (Base Tranceiver Station) har behållit sin tidigare beteckning. BTS erhåller 20 ms-block utan kanalkodning från BSC och sköter kanalkodning (det finns fyra olika sätt att kanalkoda i GPRS) och formering av dataskurar (lägger till tailbits och träningssekvens). Dessutom utförs krypteringen av GSM-samtal i BTS. Vid GPRS hanteras krypteringen i SGSN.

### BSC + PCU

BSC (Base Station Controller) kontrollerar "hand over" och hanterar de olika cellernas indelning i LA (Location Area). Vid GPRS har man en indelning i mindre områden som kallas RA (Routing Area). Vid GPRS genereras fler men kortare uppkopplingar. Därför måste paging-området minskas för att inte signaleringstrafiken skall bli alltför omfattande.

Nytt för GPRS är att MS tar initiativet till att byta cell under pågående "samtal" (GPRS kallar detta "cell-reselection", inte handover), till skillnad från GSM där MS skickar mätdata och BSC initierar handover.

BSC har kompletterats med PCU (Packet Control Unit) som fördelar kretskopplad trafik (CS, Circuit Switched Services) till MSC och paketförmedlad data (PS, Packet Switched Services) till SGSN.

### SGSN

Vi hoppar över GSM-delen och följer undre vägen i bilden och kommer till SGSN (Serving GPRS Support Node). SGSN är GPRS motsvarighet till MSC/VLR. Det finns ingen

VLR utritad, men SGSN består egentligen av SGSN/VLR på samma sätt som MSC/VLR. MSC/VLR är i dag en integrerad enhet. Därför har man inte ansett det nödvändigt att speciellt utpeka VLR, men den finns i SGSN.

SGSN hämtar abonnentdata från HLR, tripletter från AUC och uppgifter om spårade utrustningar från EIR via signaleringsnätet.

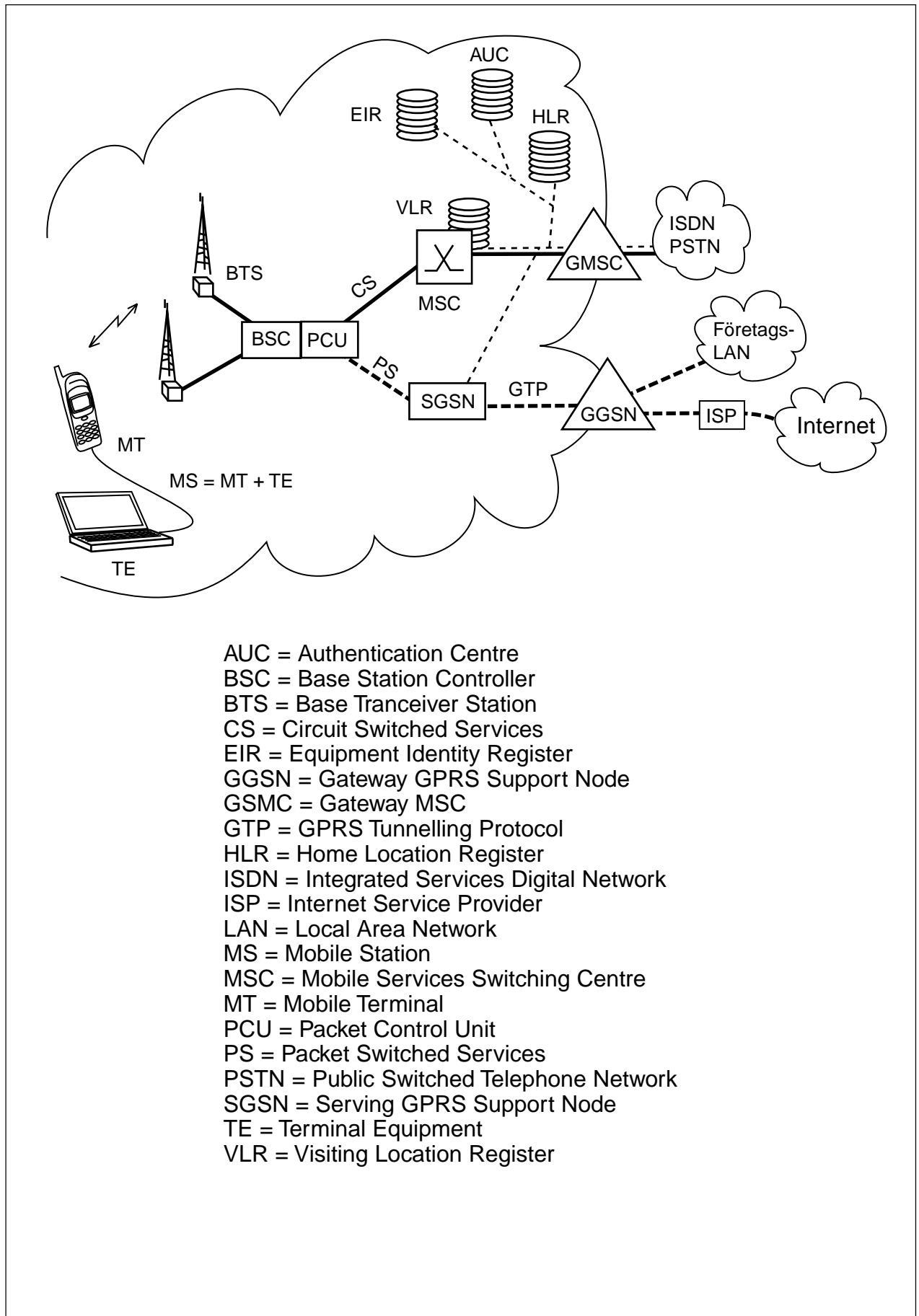
SGSN hanterar autentisering med hjälp av tripletterna, och dessutom sker själva krypteringen av datapaketet i SGSN, till skillnad från GSM där krypteringen sker i BTS.

### GGSN

GGSN (Gateway GPRS Support Node) är porten mot yttvärlden. Kommunikationen mellan SGSN och GGSN sker på ett internt IP-nät som kapslar in nyttoinformationen i ett säkert protokoll som fungerar som tunnel genom detta interna IP-nät, GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Fördelen med detta tillvägagångssätt blir uppenbart om det interna IP-nätet ansluts till Internet. Då kan nämligen SGSN i andra GPRS-nät ansluta sig till min GGSN via Internet, när jag loggar in utomlands.

GGSN är porten mot yttvärlden. Här finns anslutningar till en eller flera ISP:er (Internet Service Provider) som ger mig ett IP-nummer (dynamisk tilldelning) eller hanterar mitt fasta IP-nummer, när jag vill ut på Internet.

Men det kan även finnas anslutning, antingen direkt eller tunnlad genom Internet, till olika företags-LAN. På detta sätt åstadkommer man en maximalt säker inloggning på företagsnätet från GPRS-terminaler.



## 18.3 Inloggning utomlands

När jag befinner mig utomlands så loggar jag in på ett besöksnät (V-PLMN, visiting Public Land Mobile Network) med GPRS-uppkoppling på samma sätt som med vanlig GSM-telefon.

Besöks-SGSN (V-SGSN) behöver uppgifter från mitt HLR, bl.a. tripletter från min AUC och övriga abonnentuppgifter. Dessutom måste HLR veta var jag befinner mig, för inkommande trafik. Om GPRS-telefonen dessutom klarar vanlig GSM så görs en kombinerad inloggning GSM/GPRS. Dessa uppgifter överförs via signaleringsnätet CCITT #7 på samma sätt som vid vanlig GSM-inloggning.

### Två vägar ut på Internet

När jag anslutit mig till besöksnätet finns två möjligheter:

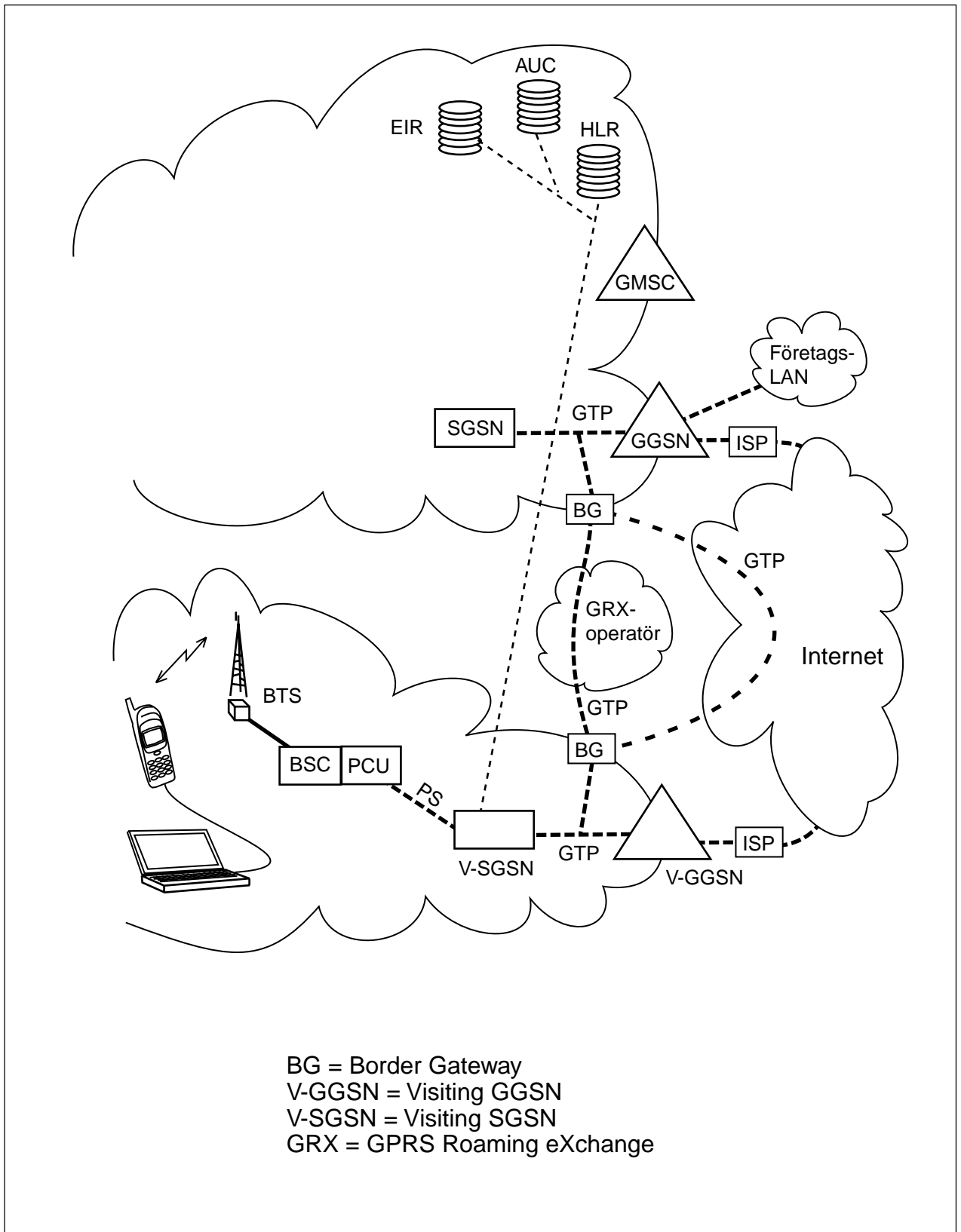
- Antingen begär jag att få komma närmaste vägen ut på Internet, via besöksnätets GGSN. I så fall kommer besöksnätets ISP att ta betalt av besöksnätet som fakturerar min operatör, som fakturerar mig.
- Andra möjligheten är att V-SGSN ansuter sig till min hemma-GGSN genom att gå via en Border Gateway (BG) till min operatörs nät. Detta liknar GSM-uppkoppling där inkommande samtal kopplas via min operatörs GMSC.

Fördelen att ansluta mig till min operatörs GGSN är att jag får en säker förbindelse direkt in i mitt företags-LAN oavsett var i världen jag befinner mig (förutsätter att mitt företag har en säker anslutning till min operatör). All transport på IP-nät sker tunnlat genom GTP (GPRS Tunnelling Protocol).

### GRX-operatörer

GPRS-specifikationen är skriven så att GPRS-trafiken mellan GSM-operatörerna skall kunna flyta på Internet. Men GSM-operatörerna vill ha säkra förbindelser med garanterad framkomlighet. Därför håller GSM Association, GSM-operatörernas samsamarbetsorganisation, på att teckna avtal med långdistansoperatörer om att tillhandahålla reserverade IP-förbindelser mellan GSM-operatörerna. Den operatör som tillhandahåller sådant IP-nät mellan GSM-operatörer kallas GRX-operatör (GPRS Roaming eXchange).





## 18.4 Paketerna i GPRS

### 1. Host till GGSN

När man kopplat upp en GPRS-förbindelse och får IP-paket från någon dator på Internet eller i annat nät, så skickas detta IP-paket till GGSN. L1-skiktet är någon kabel, i dag oftast optokabel. L2-skiktet är ett protokoll som klarar att kommunicera på denna typ av kabel, t.ex. ATM eller Ethernet. Numera kan man även transportera ett utökat IP-protokoll direkt på opto.

### 2. GGSN till SGSN

På denna sträcka kapslas IP-paketet in i GTP (GPRS Tunnelling Protokoll) som krypterar abonnentens IP-paket för säker kommunikation via ett IP-nät till SGSN. Denna sträcka kan gå via Internet eller via en GRX-operatör när jag loggar in på besöksnät utomlands.

### 3. SGSN till BSC

SGSN plockar ut abonnentens IP-paket och delar upp det på LLC-ramar (Logical Link Control, max 1,5 kbyte), som skickas via BSSGP (BSS GPRS Protocol) och NS (Network Service) på någon förbindelse ut till BSC.

Abonnenten kan kommunicera med flera olika hosts samtidigt, flera IP-förbindelser kan vara öppna samtidigt. Detta hantearas av SNDCP (SubNetwork Dependent Convergence Protokoll).

Även signaleringstrafiken stoppas in i LLC-ramar och skickas till BSC. GMM (GPRS Mobility Management) är signalering vid mobilstationens inloggning, roaming och cell-reselection när MS byter BSC-område.

### Även SMS skickas via GPRS

Även SMS skickas på en signaleringskanal. Om mobilstationen är GPRS-uppkopplad så skickas SMS som signaleringspaket via GPRS-kanalen för att avlasta signaleringskanalerna i GSM.

### 4. BSC till BTS

När LLC-ramarna kommer fram till BSC så delar BSC upp LLC-ramarna i mindre RLC-block (Radio Link Control) som är från 22

oktetter (176 bit) till 52 oktetter (416 bit) beroende på vilken kanalkodning som utnyttjas.

### Radio Block

RLC-blocket kompletteras med en MAC-header (Medium Access Control) på 8 bit som bl.a. innehåller 2 bit som talar om vilken typ av last som RLC-blocket innehåller, d.v.s. om det är ett data- eller ett signaleringspaket (PT, Payload Type).

### USF (Uplink State Flag)

I nedlänken, från BTS till MS, finns i MAC-headern 3 bit som talar om vilken MS som får sända nästa gång i upplänken.

### BCS (Block Check Sequence)

Radioblocket avslutas med en kontrollsumma som vid en av kanalkodningstyperna (CS-1) utgörs av 40 bit Fire-kodning, medan de tre övriga kanalkodningstyperna har vanlig 16 bit CRC.

### Data- och signaleringspaket kan blandas

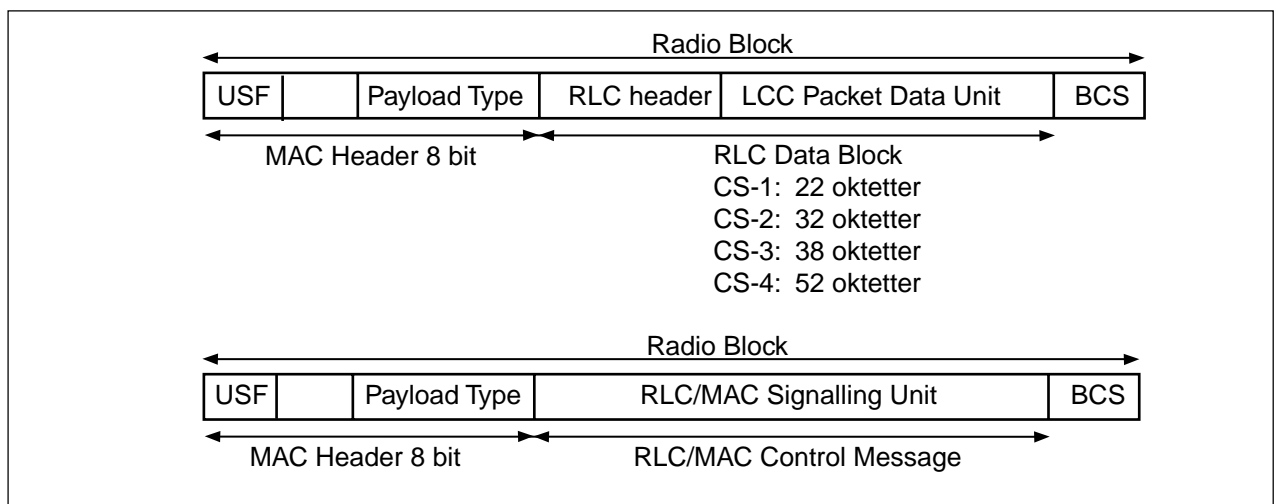
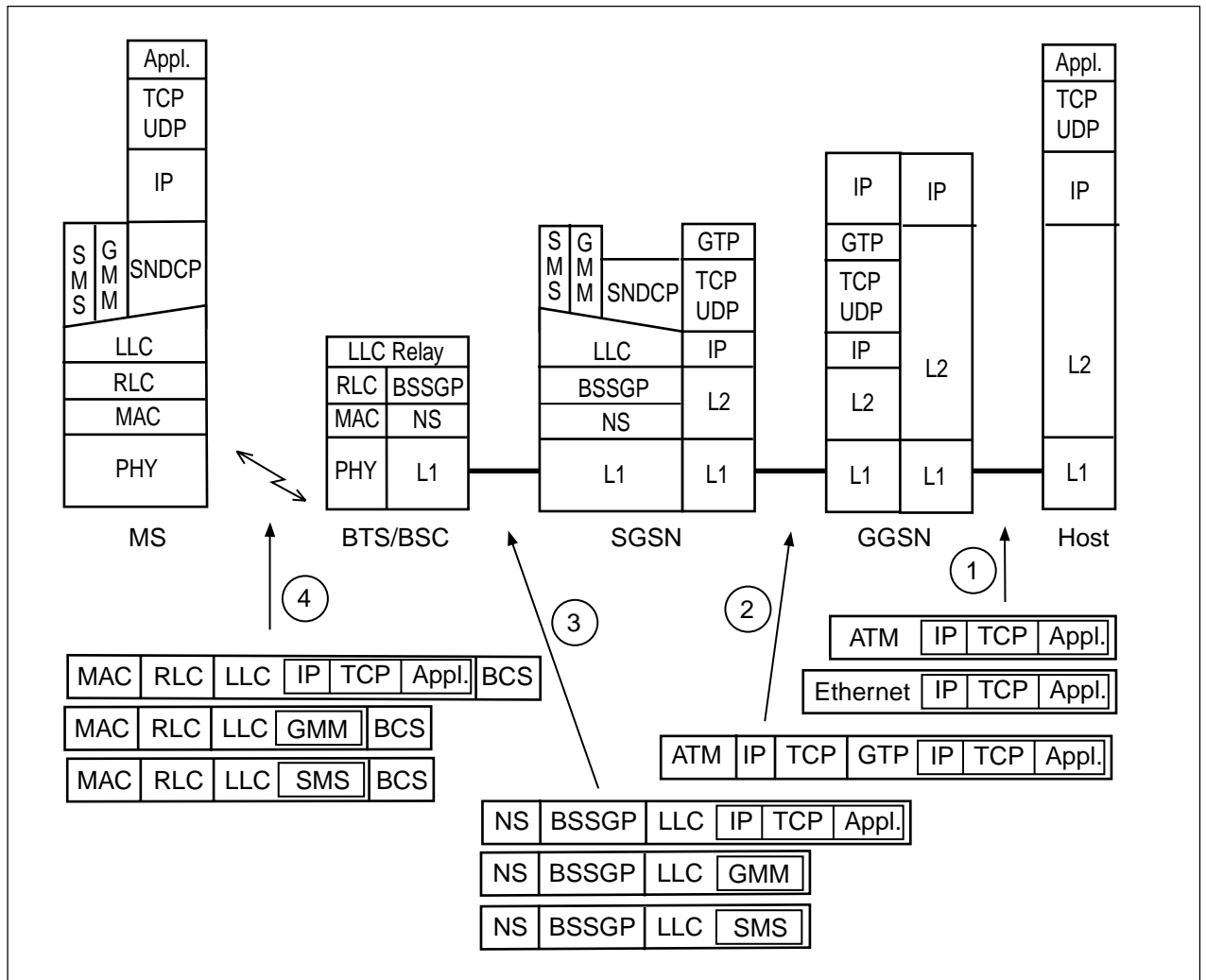
I MAC-headern finns PT-flaggan (Payload Type) som visar vad radioblocket innehåller, om det är data- eller signaleringskanalen. Därför behövs inga speciella tidluckor för signaleringstrafiken.

### Styrning av trafiken i upp- och nedlänk

Nätet styr vem som skall ha radioblocken i nedlänk med hjälp av adressfältet i RLC-headern.

Med USF-flaggan styr nätets vem av åtta olika mobilstationer som får sända nästa gång i upplänken. När mobilstationen får sända så avgör den själv om den vill skicka datapaket eller signaleringspaket.

På en av tidluckorna, den första av de som reserverats för GPRS, så används sju adresser på USF-flaggan för mobilstationer i trafik, medan den åttonde adressen betyder att upplänktidluckan nästa gång är PRACH-kanalen, anropskanal för GPRS-telefoner som vill få kontakt med nätets.



**Upp till 8 mobilstationer samtidigt**

På samma grupp av tidluckor kan upp till 8 mobilstationer få LLC-ramar samtidigt, d.v.s. LLC-ramarna fördelas i tur och ordning på radioblocken. Först får en MS 1,5 kB, sedan får nästa 1,5 kB o.s.v. Denna blandning av LLC-ramar till olika MS gör att effektiva

informationsbithastigheten till respektive MS minskar, men det blir ingen fördröjning när flera mobilstationer behöver tidluckor samtidigt.

## 18.5 Kanalkodning i GPRS

På en god radioförbindelse med få bitfel kan man utnyttja större del av de 456 databitarna för informationsbitar. När bitfel uppstår så frågar man om. Omfrågning innebär att den effektiva datahastigheten sjunker, men om bitfelen kommer sällan så betyder detta inte så mycket.

På en radioförbindelse med tätt mellan bitfelen är omfrågning ingen bra metod. Om det finns återstående bitfel i vartenda block så kommer systemet att bara stå och fråga om. Det blir ju bitfel även i omsändningarna. Vid dåliga radioförbindelser är det bättre att satsa på en kraftfullare bitfelsminimerande kanalkodning.

### Fyra olika nivåer på kanalkodningen

GPRS har definierat fyra olika informationsbithastigheter, fyra olika nivåer på kanalkodningen (CS, Coding Scheme) som systemet automatiskt anpassar sig till, beroende på bitfelhalten på radioförbindelsen.

### Radioblock

Till BTS kommer ett block bestående av MAC-header och RLC-block. Detta block kan kanalkodas på fyra olika sätt, CS-1 – CS-4.

#### CS-1

USF och övriga 5 bit i MAC-headern adderas till 22 oktetter (tillsammans 184 bit). Allt Fire-kodas 224/184, d.v.s. man lägger till 40 bit BCS som används både för felrättning och felkontroll. Därefter adderas 4 bit tail och alltihop faltningskodas med  $R=1/2$  till 456 bit. Detta sätt att koda är identiskt med signaleringskanalen i GSM.

CS-1 har ingen specialkodning av USF. Fire-kodningen ger ett tillräckligt starkt fel-skydd.

#### CS-2

Först specialkodas USF till 6 bit för att ge ett starkare felskydd på USF-flaggan. Därefter adderas övriga 5 bit i MAC-headern och 32 oktetter + 7 reservbit (tillsammans 268 bit) och 16 bit BCS (vanlig CRC kontroll-

summa) samt 4 bit tail, varefter allt faltningskodas med  $R=1/2$ . Därefter punkteras 132 bit så att 456 bit återstår.

#### CS-3

Först specialkodas USF till 6 bit för att ge ett starkare felskydd på USF-flaggan. Därefter adderas övriga 5 bit i MAC-headern och 38 oktetter + 3 reservbit (tillsammans 312 bit) och 16 bit BCS samt 4 bit tail, varefter allt faltningskodas med  $R=1/2$ . Därefter punkteras 220 bit så att det återstår 456 bit.

#### CS-4

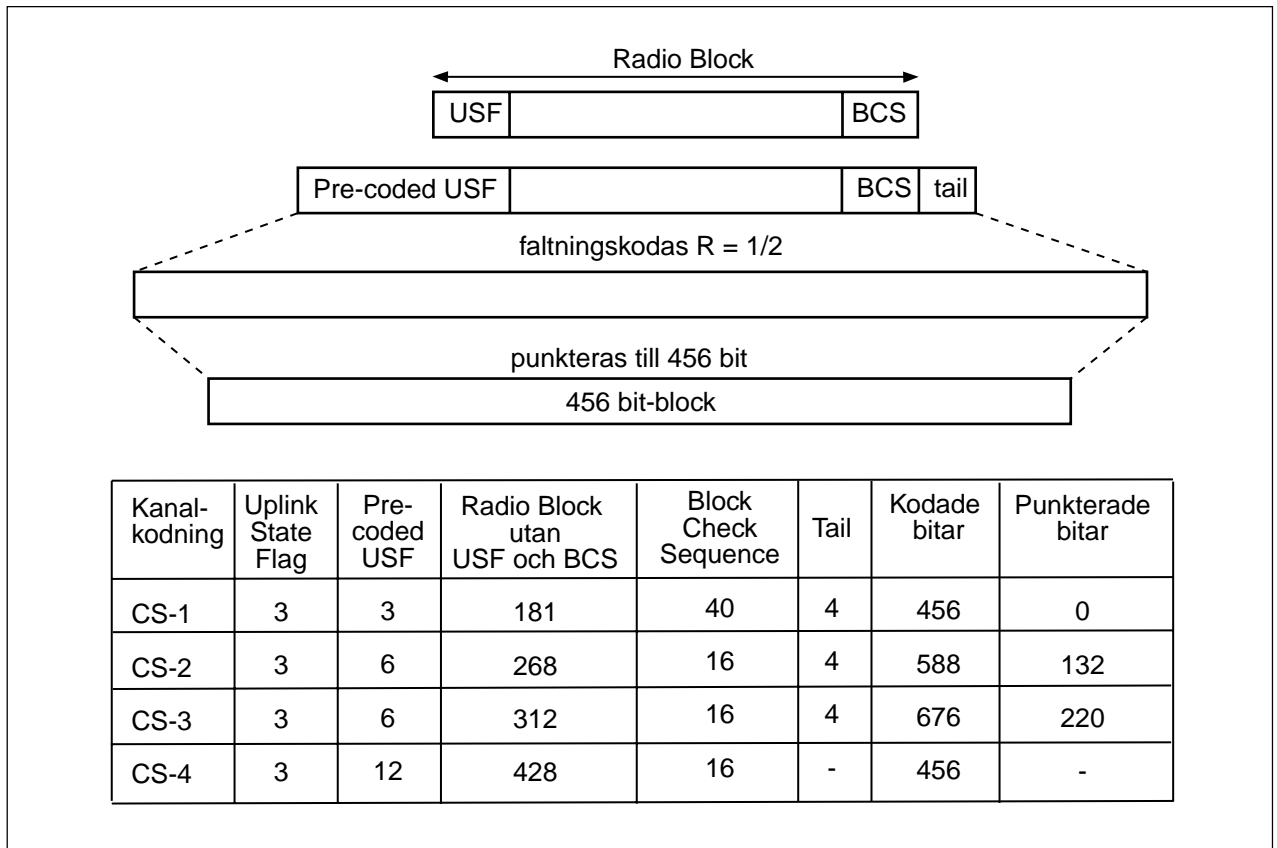
Först specialkodas USF till 12 bit för att ge ett starkare felskydd på USF-flaggan. Därefter adderas övriga 5 bit i MAC-headern och 52 oktetter + 7 reservbit (tillsammans 428 bit) och 16 bit BCS till 456 bit. CS-4 har ingen faltningskodning. Därför har USF utökats till 12 bit för att ge motsvarande skydd mot bitfel som vid faltningskodning.

### Datahastighet i GPRS

GPRS kan utnyttja valfritt antal tidluckor (1 – 8) på en radiokanal. Vissa tidluckor kan reserveras för GPRS, medan andra tidluckor kan delas av GSM och GPRS, men med prioritet för GSM tal.

Operatören har stor frihet att välja kapacitet för GPRS-tjänsten. Det är fullt möjligt att bara ha delade tidluckor. Då kommer all datakommunikation via GPRS att stanna upp om så många abonnenter ringer att alla tidluckor behövs för GSM tal. Men när någon lägger på luren så tas tidluckan av GPRS tills den behövs för nästa telefonsamtal. Detta kan ge en "ryckig" GPRS-tjänst men GPRS-tjänsten stjälar ingen kapacitet från taltjänsten.

Datahastigheten för RLC-blocken ligger i intervallet 8,8 – 166,4 kbit/s beroende på antal tidluckor och kanalkodningsschema. För att få överföringshastigheten för IP-paketen så måste man räkna bort både RLC-headern och LLC-headern, samt ta hänsyn



Kanal-kodning	antal tidluckor							
	1 TS kbit/s	2 TS kbit/s	3 TS kbit/s	4 TS kbit/s	5 TS kbit/s	6 TS kbit/s	7 TS kbit/s	8 TS kbit/s
CS-1 (22 oktetter)	8,8	17,6	26,4	35,2	44	52,8	61,6	70,4
CS-2 (32 oktetter)	12,8	25,6	38,4	51,2	64	76,8	89,6	102,4
CS-3 (38 oktetter)	15,2	30,4	45,6	60,8	76	91,2	106,4	121,6
CS-4 (52 oktetter)	20,8	41,6	62,4	83,2	104	124,8	145,6	166,4

*RLC Data Block bithastighet (RLC header + LLC Packet Data Unit)*

till att vissa radioblock är signaleringsblock.

### Mobilstationen skall klara alla fyra

En GPRS-telefon skall klara att hantera alla fyra kodningsschemorna. För nätet gäller däremot att bara CS-1 är obligatoriskt.

Förbindelserna mellan BSC ut till BTS är vid GSM-tjänsten 16 kb/s (fyra tidluckor matas via en 64 kb/s-förbindelse). Denna förbindelse skall klara all information via tidluckan,

såväl TCH som SACCH vid GSM tal.

Vid GPRS skall förbindelsen klara PDTCH-kanalen och PTCCH-kanalen (som sänds i idle-tidluckor). Vid CS-3 och CS-4 uppgår detta till mer än 16 kbit/s. Därför kan man inte utnyttja CS-3 och CS-4 såvida inte förbindelserna från BSC till BTS uppgraderas till högre förbindelsekapacitet.

GSM/GPRS tidluckor								
	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
TRX1	C1	C2	T	T	T	T	T	T
TRX2	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	D1	D2	D3
TRX3	C3	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D
TRX4	T	T	T	T	T	T	T	T
TRX5	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D

C1 = BCH (FCCH, SCH, BCCH) + CCCH (PCH, RACH, AGCH)  
 C2, C3 = DCCH (SDCCH, SACCH)  
 T = TCH, SACCH, FACCH  
 D1, D2, D3 = fasta GPRS-tidluckor  
 T/D = dynamiska GPRS-kanaler

## 18.6 Tidluckor i GPRS

### Tidluckor för GSM

En basstation har i sitt grundutförande tidluckorna avdelade för GSM-tjänsterna. Där finns den allmänna signaleringskanalen C1 och de speciella signaleringskanalerna C2, C3 o.s.v. Dessutom finns tidluckor låsta för GSM-trafik, märkta T i bilden.

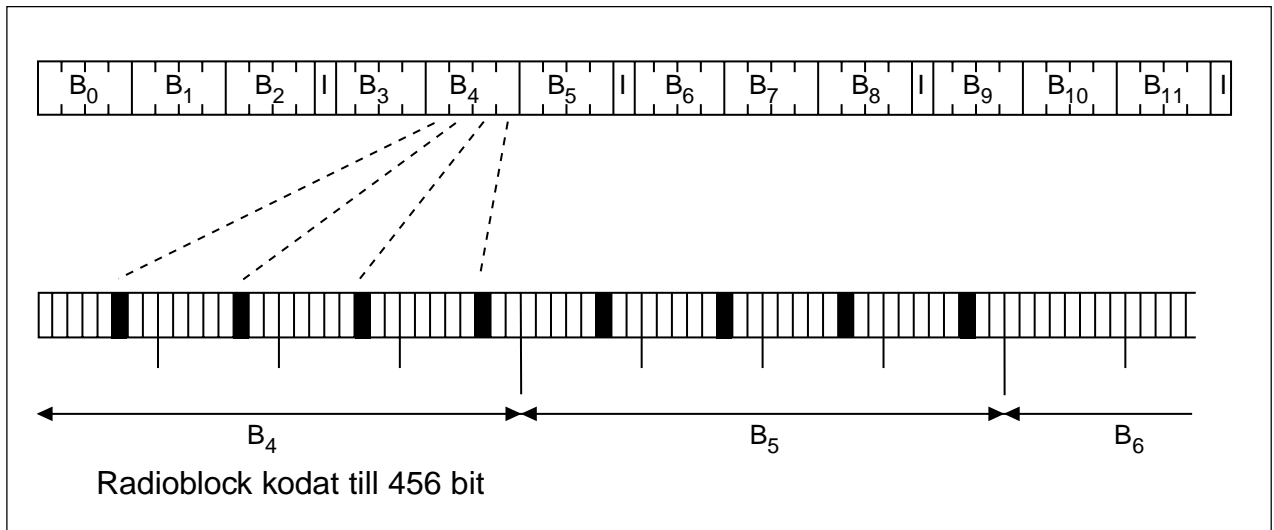
### Tidluckor för GPRS

På någon eller några TRX:er kan operatören låsa vissa tidluckor för GPRS-trafik. I bilden är dessa märkta D1, D2 och D3. Maximalt kan operatören låsa 8 tidluckor på en cell (inte en TRX utan fördelat bland alla TRX:er). På den första tidluckan som låsts för GPRS ligger de speciella GPRS-signaleringskanalerna.

### Tidluckor delade mellan GPRS och GSM

De tidluckor som i bilden är märkta T/D kan antingen användas av GPRS-tjänsten eller av GSM-tjänsten.

GSM-tjänsten har alltid företräde. En dynamisk tidlucka som används av GPRS-tjänsten kan tas av GSM-tjänsten om det är brist på tidluckor. Däremot kan GPRS-tjänsten aldrig koppla ner ett GSM-samtal för att ta tidluckan till GPRS-tjänsten.



## 18.7 52-multiframe i GPRS

### GPRS PDCH 52-multiframe

Vid GSM-tjänster är trafikkanalerna (TCH) inplacerade i ett mönster som upprepas med 26 TDMA-ramar. Vid GPRS har man dubblerat detta och bildat en multiframe som upprepas med 52 TDMA-ramar.

All trafik vid GPRS består av 456-bitsblock som fördelas på 4 hela bursts, till skillnad från GSM där TCH sprids på 8 halv-bursts.

52-multiframe delas in i grupper om 4 bursts som benämns B<sub>0</sub> – B<sub>11</sub>. Mellan var tredje grupp finns en tidlucka som markerats idle (I).

Tidluckan som markerats idle (I) används av mobilstationen dels för att mäta på andra basstationer, men även för de speciella dataskurarna som används för Timing Advance-inställningen.

## 18.8 Logiska kanaler i GPRS

### Kanaler på C1

TS0 på TRX1 innehåller FCCH och SCH för synkronisering till GSM-nätet, och informationen om GSM-operatör.

BCCH innehåller allmän information om var man kan hitta C2 och C3 (DCCH). Vid GPRS finns även information om GPRS-tidluckorna. Om all GPRS-information inte får plats hänvisas till PBCCH (Packet BCCH) som ligger på den första fast tilldelade GPRS-tidluckan (D1, i B<sub>0</sub>). PBCCH behövs inte om all information får plats i BCCH.

PCH är paging-kanalen och RACH är anropskanalen i GSM. Dessa kanaler kan även användas av GPRS-tjänsten om kapaciteten räcker. I annat fall finns motsvarande paketkanaler PPCH och PRACH på samma GPRS-tidlucka som PBCCH (tidlucka D1, utspridda över TDMA-ramarna B<sub>1</sub> – B<sub>11</sub>).

En GPRS-telefon som även loggat in som GSM-telefon kommer att få sökningar för båda tjänsterna på PPCH-kanalen om denna kanal finns.

Om telefonen ligger uppkopplad i GPRS-samtal och det kommer GSM-samtal så skickas paging via GPRS-kanalen (PACCH), respektive tvärt om (SACCH) om den är uppkopplad i GSM-samtal.

### Kanaler på C2

De speciella signaleringskanalerna DCCH vid GSM som bl.a. används för uppkopplingsinformation (telefonnummer) motsvaras vid GPRS av PACCH och kan läggas i vilken GPRS-tidlucka som helst (D eller T/D).

### Trafikkanaler

Vid GSM går trafiken på TCH, och med jämna mellanrum skjuter man in SACCH för signalering.

Vid GPRS går trafiken på PDTCH (Packet Data TCH) men man begär tidluckor i varje riktning för sig, PDTCH/U (up-link) eller PDTCH/D (down-link). MS kan få tidluckor i båda riktningarna samtidigt.

Signaleringskanalen PACCH skjuts in i

GPRS-kanal (PDCH)	GSM-kanal
PDTCH/U PDTCH/D	TCH
PBCCH (BCCH)	BCH: FCCH SCH BCCH
PCCCH: PPCH PRACH PAGCH	CCCH: PCH RACH AGCH
PACCH	DCCH: SDCCH SACCH FACCH
PTCCH/U PTCCH/D	

tidluckemönstret när så behövs och identifieras av PT-flaggan (Payload Type) i MAC-headern.

### Timing Advance

Vid GPRS skickar MS med jämna mellanrum speciella Timing Advance-skurar PTCCH/U (Packet Timing advance Control Channel/ Uplink) i en av tidluckorna märkt I (idle).

Basen svarar med en dataram fördelad på fyra I-tidluckor. Denna dataram, PTCCH/D (Downlink) innehåller Timing Advance-information till flera MS samtidigt.



## 18.9 MS (Mobile Station) för GPRS-tjänster

### **GSM-tjänster, CS (Circuit Switched services)**

En terminal för GSM-tjänster, kretskopplade tjänster (CS, Circuit Switched) består av MS (Mobile Station), som i sin tur består av ME (Mobile Equipment) och SIM-kortet.

### **GPRS-tjänster, PS (Packet Switched services)**

En terminal för GPRS-tjänster, paketförmedlade tjänster (PS, Packet Switched) består av MT (Mobile Terminal som innehåller SIM) och TE (Terminal Equipment) som utgör datordelen med presentationsenhet. Tillsammans kallas MT + TE för MS (Mobile Station).

### **GPRS-telefon, klass A:**

En GPRS-telefon av klass A skall klara att vara uppkopplad mot både PS-tjänster och CS-tjänster samtidigt. Man skall alltså kunna ligga i ett GSM-samtal och samtidigt sända eller ta emot data via GPRS-nätet.

GSM-samtalet kommer att utnyttja en tidlucka med TCH-kanal medan GPRS-tjänsten utnyttjar en eller flera tidluckor avdelade för PDCH.

Dessa tidluckor får inte kollidera. Telefonen klarar t.ex. inte att sända GSM-samtalet på TS3 (upplänk) och lyssna på TS6 (nedlänk), eftersom detta är samtidigt. Sändnings- och lyssningstidluckorna är ju förskjutna 3 tidluckor.

### **GPRS-telefon, klass B:**

En GPRS-telefon av klass B skall kunna hantera både PS- och CS-tjänster, men inte samtidigt.

Om telefonen tar emot data via GPRS-nätet så skall den klara att uppfatta paging-anrop, göra paus i GPRS-överföringen och koppla upp ett GSM-samtal, för att när GSM-samtalet avslutats kunna återgå till GPRS-överföringen.

Klass B-telefonen klarar alltså inte att hantera tidluckor för GSM- och GPRS-tjänster i samma TDMA-ram.

### **GPRS-telefon, klass C:**

En GPRS-telefon av klass C klarar enbart GPRS-tjänster.

En GPRS-telefon av klass C kan vara inbyggd i ett PC-kort som skjuts in i en bärbar dator.

Det kan även vara en telefon som är manuellt omkopplingsbar mellan GSM-tjänster och GPRS-tjänster. När en sådan telefon är inloggad mot GPRS-tjänsten så är GSM-delen helt avstängd (IMSI Detach). Man får inga meddelanden om inkommande GSM-samtal ("abonnetten går ej att nå").

## 18.10 Så ringer man med GPRS-telefon

### Idle

När man slår på GPRS-telefonen så hamnar den i idle-tillståndet. GPRS-telefonen hör nätet och kan ta emot vissa former av broadcast-meddelanden, t.ex. SMS-broadcast.

När GPRS-telefonen ligger i idle-tillståndet så vet inte nätet att telefonen är påslagen. Det finns inget liknande tillstånd i GSM-tjänsten.

### Stand by

Nästa steg är att GPRS-telefonen gör GPRS Attach, på samma sätt som GSM gör IMSI Attach.

GPRS-telefonen anropar nätet och meddelar sin identitet som antingen är IMSI-numret, eller den temporära identiteten P-TMSI (Packet TMSI) som även innehåller uppgift om RAI (Routeing Area Identity).

GPRS-telefonen hamnar i Stand by-läge och har nu kontakt med SGSN, som får reda på var GPRS-telefonen befinner sig (MM, Mobility Management). GPRS-telefonen kan nås av paging-anrop och SMS-tjänsten via GPRS fungerar.

Om GPRS-telefonen är av klass A eller B, d.v.s. om den klarar att samtidigt hantera GSM-tjänsten, så kan telefonen göra en kombinerad GPRS Attach och GSM IMSI Attach. Telefonen är i så fall klar att använda GSM-tjänsten.

### PDP context activation

För att kunna skicka data till eller från GPRS-telefonen krävs kontakt med något datanät. Därför stannar GPRS-telefonen inte i Stand by-läget, utan begär IP-förbindelse (PDP context, Packet Data Protocol, IP eller X.25 "sammanfogning") till GGSN och vidare ut i något IP-nät. GPRS-telefonens begäran av PDP context innehåller uppgifter om vart den vill koppla upp sig.

GPRS-telefonen aktiverar sitt IP-nummer, eller får sig tilldelad en dynamisk IP-adress, varefter förbindelsen är klar för överföring av data, d.v.s. IP-paket.

### Ready

När PDP context är aktiverad hamnar GPRS-telefonen i Ready-tillståndet.

### Om vi jämför med GSM

När man slår på GSM-telefonen så loggar den in och hamnar i Stand by-läget, d.v.s. MM-funktionerna fungerar, Mobile Management, telefonen meddelar när den byter LA så att den kan bli nådd av paging-anrop. Så snart det kommer ett samtal, eller man vill ringa ett samtal, så kopplar nätet upp tidluckor och trafikkanaler i fasta telenätet.

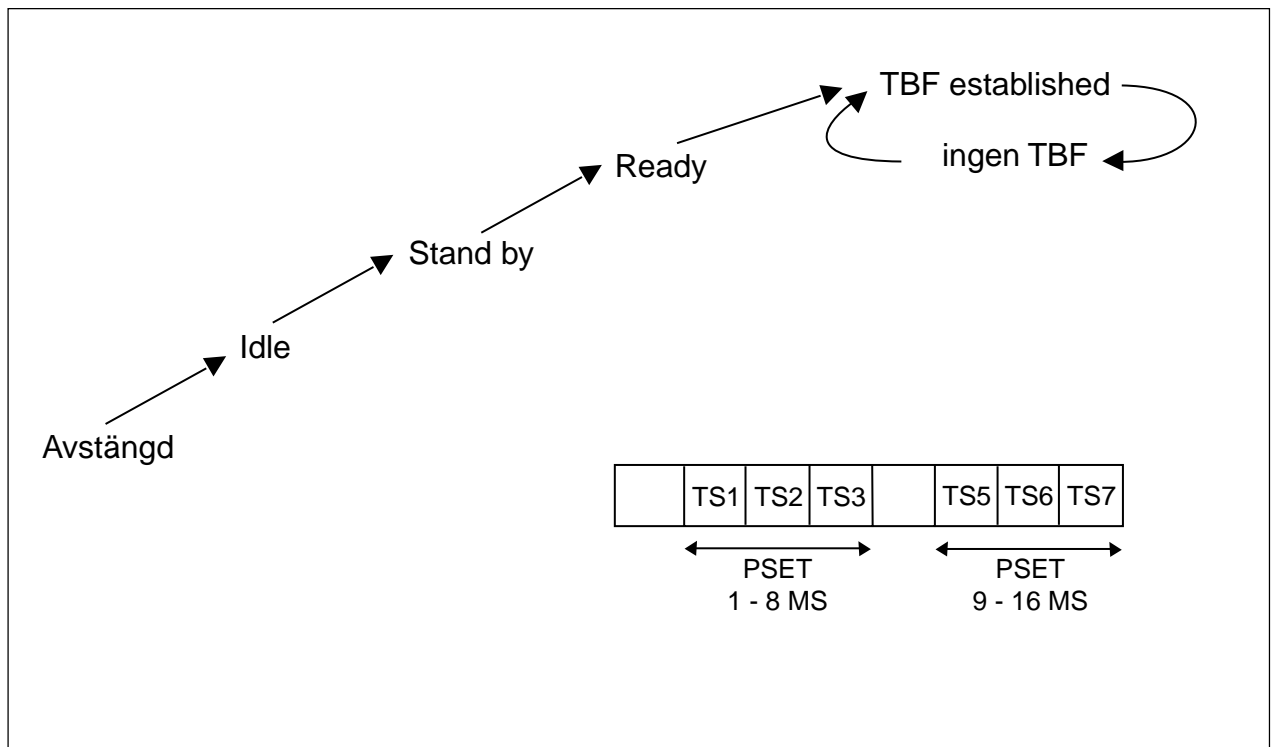
När GPRS-telefonen hamnat i Stand by-läget så är detta fullt jämförbart med GSM-telefonens Stand by-läge, d.v.s. GPRS-telefonen meddelar nätet i vilken RA (Routeing Area) den befinner sig. Däremot finns inget snabbt sätt att koppla upp "trafikförbindelse" till något datanät om man skulle vilja sända eller ta emot data. Därför går GPRS-telefonen ett steg längre, till Ready-tillståndet, och kopplar upp trafikförbindelse, en IP-förbindelse. Denna trafikförbindelse, denna IP-förbindelse, får ligga uppkopplad hela tiden eftersom den inte utnyttjar transmissionskapacitet så länge som inga IP-paket skickas.

### Ready — Packet Idle Mode

När GPRS-telefonen befinner sig i Ready-tillståndet finns två lägen. Antingen har GPRS-telefonen inget behov av att skicka eller ta emot data eller signalering just nu. Då befinner den sig i vila (Packet Idle Mode).

### Ready — Packet Transfer Mode

Andra möjligheten är att GPRS-telefonen vill sända eller ta emot data eller signalering och behöver tidluckor. GPRS-telefonen begär TBF (Temporary Block Flow) i upp- eller nedlänk. Nätet tilldelar GPRS-telefonen en temporär identitet TFI (Temporary Flow Identity) som blir GPRS-telefonens identitet i RLC-headern.



### GPRS-telefonen tilldelas ett PSET

GPRS-telefonen tilldelas en eller flera tidluckor, upp till åtta tidluckor, ett så kallat PSET. Ett PSET kan vara D1 + D2 + D3, alltså tre tidluckor per TDMA-ram, eller TS0 – TS7 d.v.s. alla tidluckorna i en TDMA-ram, helt beroende på vilka tidluckor som för tillfället är fria att användas av GPRS-tjänsten. Alla tidluckor i ett PSET måste tillhöra samma TRX.

### Nätet styr trafiken

I nedlänken avläser GPRS-telefonen TFI (adressfältet) i radioblockens RLC-header för att se om radioblocket skall till min GPRS-telefon.

I upplänken styr nätet genom USF-flaggan (Uplink State Flag) vem som får sända på nästa tidlucka/dataram i upplänken tillhörande ett PSET.

På den tidlucka där PCCCH finns så betyder en av USF-adresserna att det är fritt att göra anrop (PRACH). Vilken GPRS-telefon som helst kan då skicka en anropsburst i någon av de fyra tidluckorna som hör till denna dataram, utpekad av USF.

### Alla uppkopplingar görs från GPRS-telefonen

Vi ser att alla uppkopplingar begärs av mobilstationen, såväl i upplänken som i nedlänken. Nätet ber mobilstationen begära uppkoppling genom paginganrop (PCH eller PPCH). Detta gäller även för GSM-tjänsten.

### Trafik- och signaleringskanaler blandas

GPRS-telefonen kan blanda trafikkanaler (PDTCH) och signaleringskanaler (PACCH) efter behov genom att ange i radioblockets huvud vilken typ av paket den skickar (PT-flaggan).

På samma sätt sker en blandning av de olika kanalerna i nedlänken.

Enda kanalerna som ligger i speciella tidluckor är Timing Advance-burstarna som alltid ligger i tidluckor märkta I (idle). Här sänder GPRS-telefonen en enda accessburst (PTCCH/U), en tidlucka, medan nätet svarar med ett radioblock om fyra burstar (PTCCH/D), som innehåller Timing Advance-information till de sju eller åtta GPRS-telefoner som samtidigt har USF-adress.



## 19 — EDGE

---

## 19.1 EDGE — Enhanced Data rates for GSM and TDMA/136 Evolution

### GSM

GSM specificerades för att ge så fullständig radiotäckning som möjligt för en telefoni-tjänst med tillräckligt god talkvalitet. Av totalt 456 bit i ett radioblock om 20 ms (22,8 kbit/s) så valde man att använda 260 bit för talkodningen (13 kbit/s) vilket gav tillräckligt god talkvalitet. Då fick man 196 bit att användas till kanalkodning, varför det räckte med en radioförbindelse med en bitfelshalt på  $10^{-4}$  (BER, Bit Error Rate). Dessa bitfel klarar kanalkodningen att korrigera.

För att få en bitfelshalt på  $10^{-4}$  vid modulering med en databit per radiosymbol så krävs ett signal/störförhållande (C/I, Carrier to Interference) på ca 8 dB.

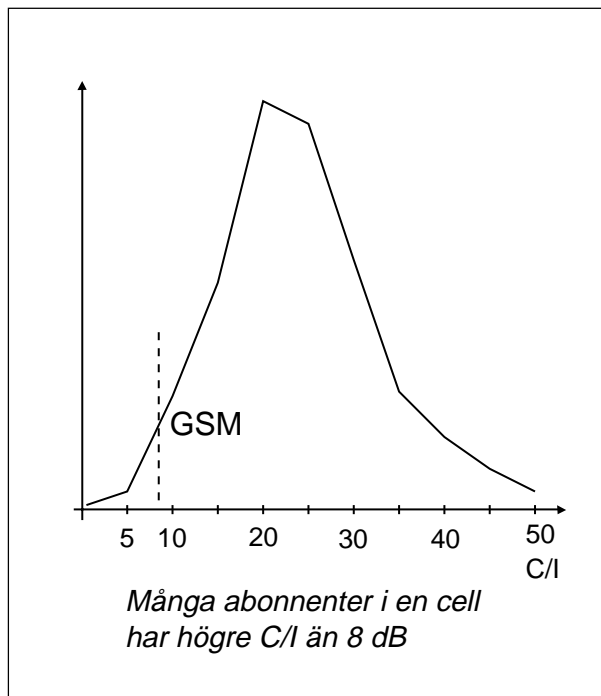
### Utvecklingen av GPRS

På många platser inom en radiocell kan man få betydligt bättre C/I än 8 dB. Detta utnyttjas av GPRS som har fyra olika kanalkodningar. Man utgår från kanalkodningen i GSM signaleringskanal med 184 bit per radioblock och 272 bit kanalkodning för att klara datakommunikation vid C/I = 8 dB. Vid bättre C/I övergår man till 271/185 i nyttobitar respektive kanalkodning, 315/141 och slutligen 431/25 vid riktigt högt C/I.

### Ny radioteknik i EDGE

Vid högt C/I kan man minska kanalkodningen. Men det finns en annan möjlighet. Det går att överföra flera databitar per radiosymbol om man har högt C/I.

EDGE har ett radiomodem som moduleras med 8PSK (Phase Shift Keying), d.v.s. radiosymbolen kan se ut på 8 olika sätt, ha 8 olika fasvinklar. På detta sätt klarar man att överföra 3 databitar per radiosymbol, och alltså tre gånger så många databitar per radioskur. I stället för 456 bit på 20 ms (22,8 kbit/s) så får vi 464 (vi behöver ingen stealing flag vid datakommunikation) multiplicerat med tre vilket blir 1392 bit på 20 ms (69,6 kbit/s), som skall fördelas på nyttobitar och kanalkodning.



### För GSM och TDMA/136

EDGE-tekniken gör det möjligt för en GSM-operatör att komma upp i bithastigheter på 384 kbit/s, det som minst krävs vid kommunikation utomhus i ITU-specifikationen av IMT-2000, tredje generationens mobiltelesystem, utan att behöva frekvensband med frekvenskanaler för bredbandig WCDMA-teknik.

Eftersom många TDMA/136-operatörer befinner sig i samma dilemma, de har ej frekvensband där WCDMA-teknik kan utnyttjas, så har operatörerna av GSM-nät och TDMA/136-nät enats om att utnyttja GSM utbyggd med EDGE-funktionalitet när de uppgraderar sina nät för tredje generationens mobiltelefoni.

## 19.2 EGPRS — Enhanced GPRS

Med hjälp av EDGE-tekniken skapar man en paketförmedlande GPRS-tjänst, en förbättrad (Enhanced) GPRS-tjänst. Bitfelsfri datakommunikation vid högsta möjliga bithastighet erhålles genom två funktioner: Link Adaptation (LA) och Incremental Redundancy (IR).

- **Link Adaptation (LA)**

EGPRS utnyttjar 9 olika kanalkodningar där 5 av kanalkodningarna använder 8PSK, d.v.s. tre databitar per radiosymbol, medan de övriga 4 kanalkodningarna är GSM:s vanliga GPRS-tjänst.

Link Adaptation, att anpassa sig till förhållandena på radiolänken, innebär att hela tiden (inom 100 ms) växla till den kanalkodning som ger högsta möjliga nyttobithastighet vid det C/I som råder för tillfället.

- **Incremental Redundancy (IR)**

Vid GPRS sker faltningskodning som ger dubbelt så många databitar, men sedan punkterar vi när vi vill minska på kanalkodningsskyddet.

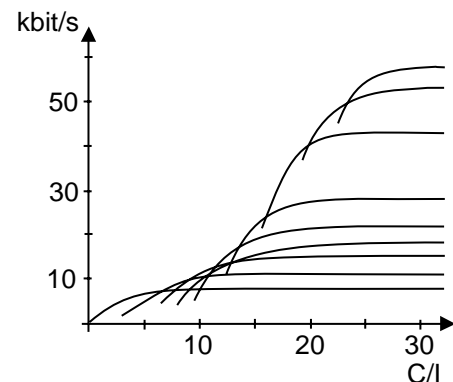
Vid EGPRS sker faltningskodning till tre gånger så många databitar,  $R=1/3$ . Vid första sändningstillfället punkteras  $2/3$  av databitarna. Detta är samma sak som att sända utan faltningskodning. Men man sänder naturligtvis CRC så att mottagaren kan kontrollera om det finns bitfel. Om det finns bitfel och mottagaren begär omsändning (ARQ) så skickas hälften av de punkterade bitarna. Detta innebär att mottagaren fått databitar som motsvarar faltningskodning med  $R=1/2$ . Om det fortfarande finns bitfel, mottagaren begär ny omsändning, skickas återstående punkterade databitar. Att stegvis öka kanalkodningen (Incremental Redundancy) i stället för att mottagaren kastar felaktigt block och börjar från början kallas hybrid ARQ.

### Upp till 8 tidluckor

På samma sätt som GPRS kan EGPRS utnyttja flera tidluckor i en TDMA-ram och på så sätt komma upp i bithastigheter på minst 384 kbit/s.

Kodnings-schema	Modulation	Max bithastighet kbit/s
MCS-9	8PSK	59,2
MCS-8		54,4
MCS-7		44,8
MCS-6		29,6
MCS-5		22,4
MCS-4	GMSK	16,8
MCS-3		14,8
MCS-2		11,2
MCS-1		8,4

*MCS-1 – MCS-4 är kanalkodningsschemorna i GPRS*



*Bithastighet på en tidlucka*

## 19.3 ECSD — Enhanced Circuit Switched Data

EDGE-tekniken utnyttjas även för en kretskopplad datatjänst, en EDGE-variant av HSCSD.

På samma sätt som vid HSCSD är bithastigheten maximerad till 64 kbit/s, på grund av begränsningar i det kretskopplade nätet, men vid ECSD uppnår man denna bithastighet med färre tidluckor.

### Transparent (T) eller Not Transparent (NT)

De kretskopplade tjänsterna finns som

- transparent tjänst (T), d.v.s. utan omfrågning vid bitfel, och är alltid symmetrisk d.v.s. samma bithastighet i nedlänk som i upplänk.
- icke-transparent tjänst (NT), med ARQ för omfrågning vid bitfel. NT-tjänsten kan vara asymmetrisk d.v.s. ha olika bithastighet i upplänk och nedlänk.

### Kanalkodning

För att kunna erbjuda en transparent tjänst, ingen varierande tidsfördröjning på grund av omfrågning, så har man utökat kanalkodningen. Först blockkodas radioblocket med en Reed Solomon-kod (RS-kod), varefter man lägger på ytterligare faltungs-kodning av samma typ som vid EGPRS ( $R=1/2$ , Constraint length 7 d.v.s. 6 minnesceller).

### ECSD Link Quality Control

Man mäter förbindelsens C/I med 480 eller 960 ms mellanrum. Med ledning av mätresultaten gör man förändringar om så är nödvändigt.

En transparent tjänst med garanterad bithastighet av t.ex. 29 kbit/s kan ligga i en tidlucka men kopplas över till två tidluckor med 14,5 kbit/s om C/I sjunker, d.v.s. om bitfelshalten stiger.

De icke-transparenta tjänsterna kan vara av typ "bäst möjliga bithastighet" i visst antal tidluckor, eller upprätthålla bithastigheten och koppla om mellan antal tidluckor på samma sätt som vid transparenta tjänster.

Kodnings-schema	Modulation	Max bithastighet kbit/s	Tjänst
ECSD TSC-1	8PSK	29,0	NT/T
ECSD TSC-2		32,0	T
ECSD TSC-3		43,5	NT
TCH/F2.4	GMSK	3,6	NT/T
TCH/F4.8		6,0	NT/T
TCH/F9.6		12,0	NT/T
TCH/F14.4		14,5	NT/T

*TCH/F2.4 – TCH/F14.4 är de vanliga datatjänsterna i GSM*

### ECSD Fast Power Control

Ett sätt att undvika variationer i C/I är att variera sändareffekten så att mottagen signalstyrka hålls konstant.

Både mobilstationen och basstationen mäter mottagen signalstyrka och skickar mätvärden till varandra var 20 ms. Med ledning av dessa värden ändrar såväl basstationen som mobilstationen sin uteffekt var 20 ms och följer med i variationerna på radiosträckan. Detta ger i stort sett konstant C/I, d.v.s. man kan hålla en bitfelshalt som är anpassad till den kanalkodning som används.



**En taltjänst vid extremt lågt C/I**

GPRS och EDGE utnyttjar de möjligheter som finns att erbjuda högre bithastighet när C/I är större än de 8 – 9 dB som var gräns för att taltjänsten i GSM skall fungera. Men på samma sätt som man kan minska kanalkodningen vid högt C/I, så kan man öka kanalkodningen för att klara att upprätthålla kommunikationen vid C/I som är lägre än 8 dB.

Man har utvecklat en ny talkodare för GSM, GSM AMR (Adaptive Multi Rate), som även kodar talet med så låg bithastighet som 4 kbit/s. Detta ger visserligen otillfredsställande ljudkvalitet, men ger möjlighet till så kraftig kanalkodning att talförbindelsen fungerar ända ner till C/I på ungefär 4 dB. Sämre ljudkvalitet är säkerligen att föredra framför att samtalet bryts.

GSM AMR tillhör inte EDGE-specifikationen, utan finns som ny separat talkodare. EDGE utvidgar möjligheterna för abonnenter med bättre C/I. Det finns alltså även teknik som gör det möjligt att plocka in abonnenter som har sämre C/I.

## 19.4 Radiotekniken i EDGE

### Många abonnenter har högt C/I

Ett GSM-samtal behöver C/I som är ungefär 8 dB, d.v.s. mottagna signalstyrkan skall vara minst 8 dB starkare än störningarna. Värdet beror på typen av störningar samt om man är i rörelse, och hur fort man rör sig. Kanalkodningen fungerar effektivare om man rör sig, så det är faktiskt bättre att röra sig än att stå still. Men rör man sig riktigt fort kan även detta ställa till problem.

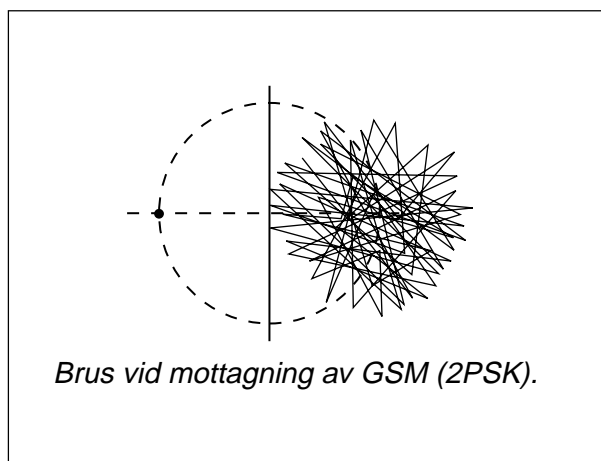
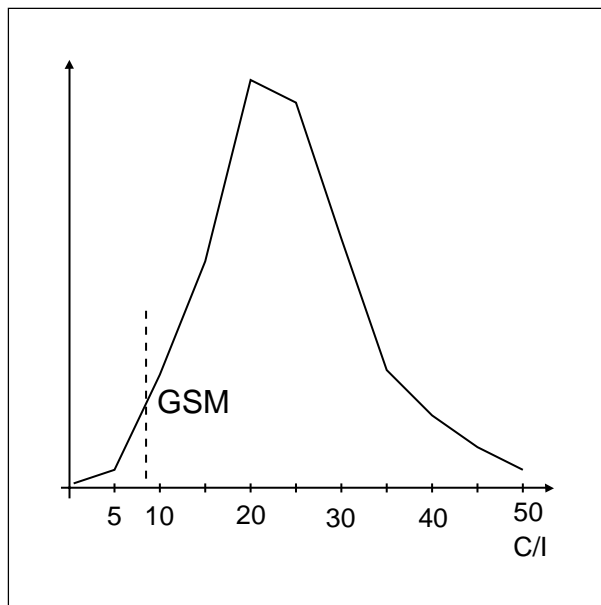
Många samtal utväxlas från sådan plats inom en cell att man får betydligt bättre C/I är 8 dB. Avståndet kanske är kort till basstationen, eller det kan vara fri sikt. GSM-nätet utnyttjar detta genom att kommandera ner ficktelefonen till lägre effekt så att C/I inte blir högre än nödvändigt. På detta sätt håller man nere störnivån i närliggande celler som använder samma frekvenskanal.

Symbolhastigheten vid GSM är låst till 271 ksymb/s för att få plats i en 200 kHz bred frekvenskanal. Vi kan alltså inte öka symbolhastigheten. Men med högre C/I kan flera databitar överföras per symbol.

Vid 4 olika symboler överför man två databitar per symbol, vid 8 symboler tre databitar per symbol, vid 16 symboler överför man fyra databitar per symbol. Låt oss se hur högt C/I som krävs för att man skall kunna utnyttja 4, 8 eller 16 olika symboler.

Ett ungefärligt mått på C/I får man genom att jämföra hur nära varandra symbolerna ligger i ett fas-amplituddiagram. Som referens tar vi GSM-moduleringen som utnyttjar två faspunkter. Visserligen har vi fyra faspunkter, men utnyttjar bara två i taget. Mottagaren skall välja mellan två diametralt motsatta punkter.

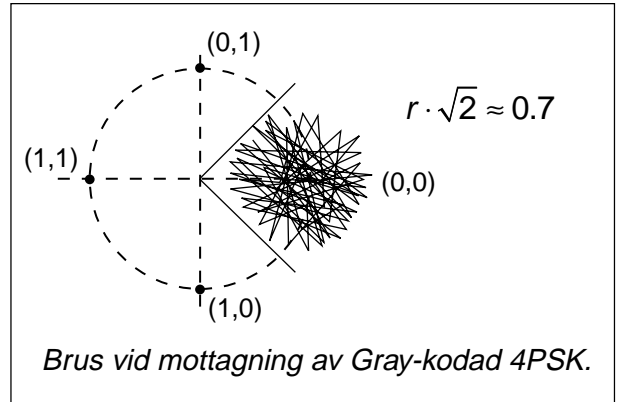
När brustopparna kommer över i andra halvplanet så tolkar vi fel. Brusspänningen kan i detta fall ha ett värde som är proportionellt mot signalstyrkan. Detta motsvarar C/I ca 8 dB och ger BER (Bit Error Rate) ungefär  $10^{-4}$ .



**4PSK med Gray-kodning**

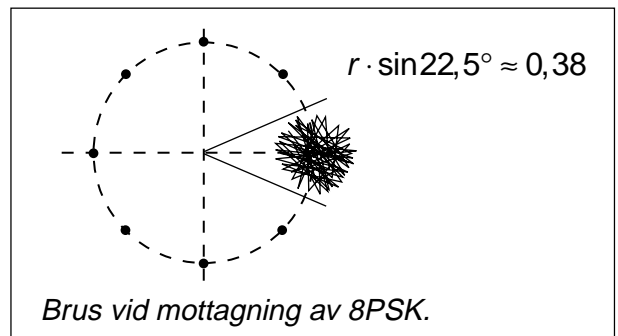
Vid 4 faspunkter finns två sidor där det kan bli bitfel, men genom att utnyttja Gray-kodning som innebär att bara en databit ändras från en symbol till närliggande, så blir bara en databit fel av två vid feltolkning. En databit av två men dubbelt så ofta, ger samma BER.

Avståndet till beslutsgränsen är 0,7 av signalamplituden, vilket innebär att det krävs 3 dB högre C/I, alltså 11 dB, för att detektera med samma BER.



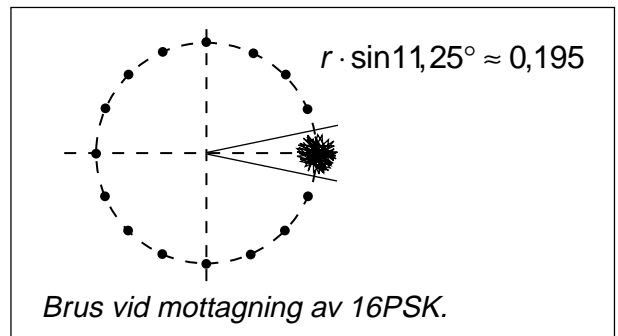
**8PSK**

Vid 8 faspunkter är avståndet 0,38 vilket innebär att det krävs 8,34 dB högre C/I, alltså 16,34 dB. Med Gray-kodning blir BER bara  $\frac{2}{3} \cdot 10^{-4}$ , men detta innebär bara en marginell förändring av C/I.



**16PSK**

Vid 16 faspunkter är avståndet 0,195 vilket innebär att det krävs 14,2 dB högre C/I, alltså 22,2 dB, eller möjligen någon tiondels dB lägre på grund av den vinst man kan göra med Gray-kodning.

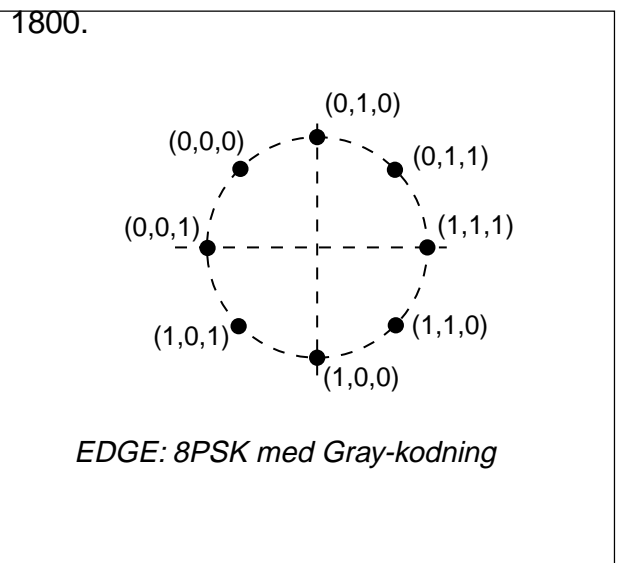
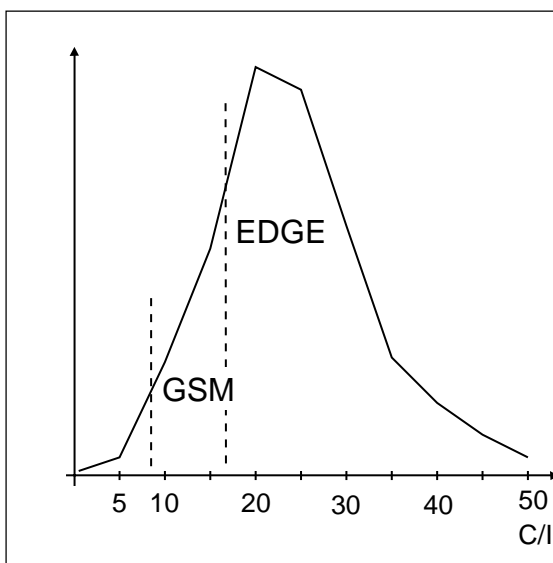


**Man valde 8PSK för EDGE**

Vid utveckling av teknik för högre datahastighet i GSM valde man 8PSK som en kompromiss mellan bithastighet och C/I.

En förhållandevis hög andel av alla GSM-samtal utväxlas från platser där man kan få tillräckligt högt C/I för att kunna ut-

nyttja EDGE-tekniken utan att behöva överskrida de effektgränser som finns i dag, max 2 W vid GSM 900 och max 1 W vid GSM 1800.



## 19.5 Radiosymbolerna i EDGE

### EDGE utnyttjar 8PSK

Medan GSM moduleras med GMSK som innebär två radiosymboler, antingen vridning  $+90$  grader, eller vridning  $-90$  grader, så utnyttjar EDGE åtta olika utseenden på radiosymbolerna, med konstant amplitud, d.v.s. punkterna ligger på cirkeln i fas-amplituddiagrammet.

EDGE kan flytta sig från vilken punkt som helst till vilken annan punkt som helst i fas-amplituddiagrammet. Detta innebär att vi har åtta olika utseenden på radiosymbolerna, och kan överföra tre databitar per radiosymbol.

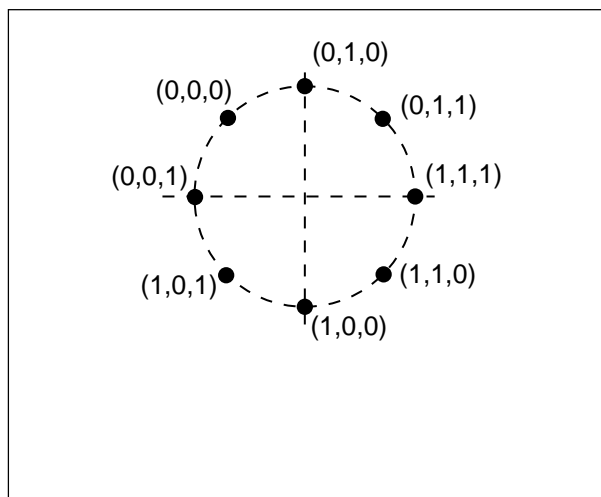
### Förflyttas närmaste vägen

Förflyttning från en faspunkt till en annan kan ske antingen längs cirkeln som i GSM, eller raka vägen genom cirkeln.

Antag att vi skall förflytta oss från en faspunkt t.ex.  $(1,1,1)$  till en punkt på motsatta sidan  $(0,0,1)$ . Detta innebär att bärvågen måste öka i frekvens om vi snurrar motsols, eller minska i frekvens om vi snurrar medsols, och frekvensändringen skall vara så stor att signalens fas hinner ändras  $180$  grader under en symboltid  $T_s$ .

Förflyttningen kan ske längs cirkeln eller raka vägen genom cirkeln. Förenklat kan man säga att om förflyttningen går genom cirkeln så delas bärvågen i två hälften så stora signaler som vrider sig åt vardera hållet. Detta ger lägre amplitud på frekvenskomponenterna som ligger långt från nominell kanalfrekvens, alltså ett något smalare spektrum.

Vid EDGE har man valt att gå genom cirkeln för att signalens spektrum skall bli så smalt att det får plats i en  $200$  kHz frekvenslucka.



### Linjärt effektsteg

GSM-moduleringen GMSK innebär att signalen bara är frekvensmodulerad, amplituden är i stort sett konstant. Då kan man använda ett effektsteg i ficktelefonen som går i klass C med hög verkningsgrad.

Att flytta sig närmaste vägen genom cirkeln innebär att signalen blir såväl frekvens- som amplitudmodulerad. Då är det viktigt att ficktelefonens effektsteg klarar att förstärka signalen utan distorsion. Det krävs ett linjärt effektsteg.

*PERANT AB*

**Vridning 67,5 grader**

Svårast att bygga är ett effektsteg som klarar amplituder ända ner till noll. För att undvika att signalen går genom cirkelns mittpunkt så har man infört en vridning av hela diagrammet. Cirkeln vrider sig 67,5 grader motsols under en symboltid  $T_s$ .

Vi ser hur den symbol som börjar på (1,1,1) och skall till (0,0,1) kommer att följa en båge och sluta vid 247,5 grader. På så vis missar den cirkelns mitt och amplituden faller aldrig till noll.

En symbol som börjar på (1,1,1) och skall till (0,0,0) kommer att vika av och sluta vid 202,5 grader. Även denna symbol missar cirkelns mittpunkt.

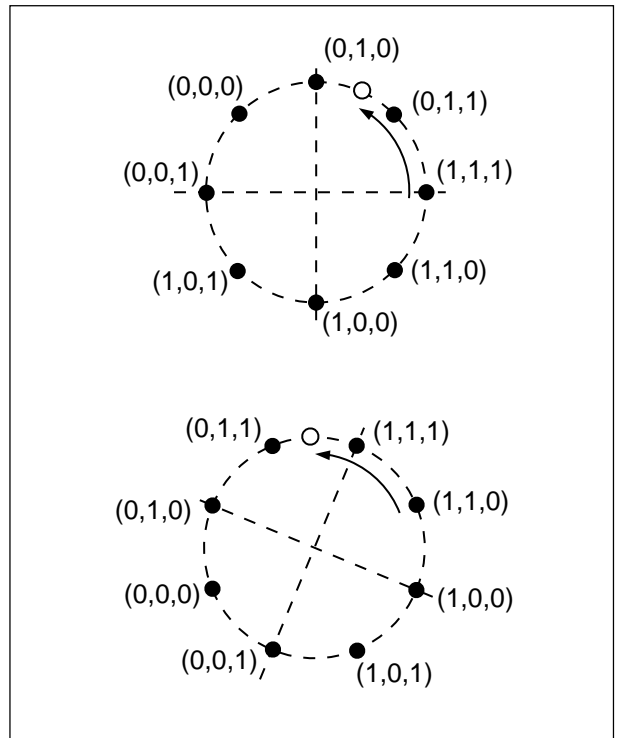
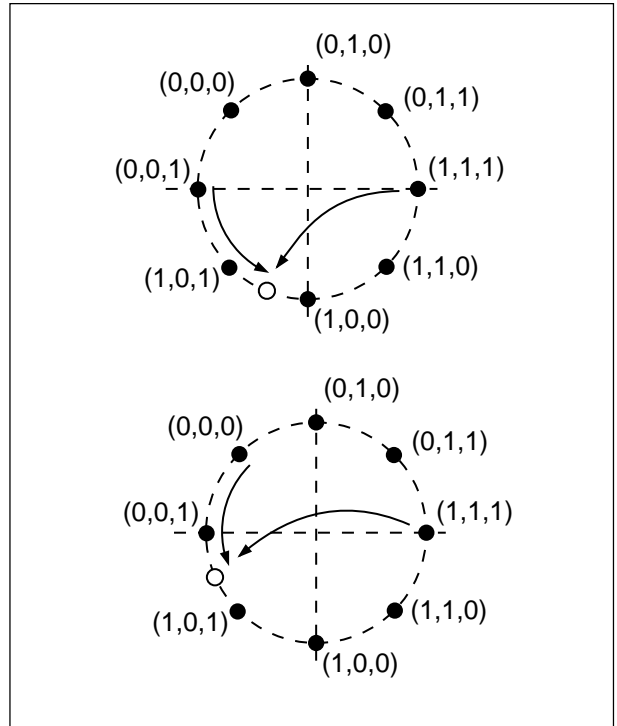
**EDGE har nio tail bits**

Dataskuren består av 148 symboler på samma sätt som vid GMSK. De tre inledande symbolerna och de tre avslutande symbolerna är tail symboler. Men varje symbol beskrivs med tre databitar. Därför får EDGE nio tail bits.

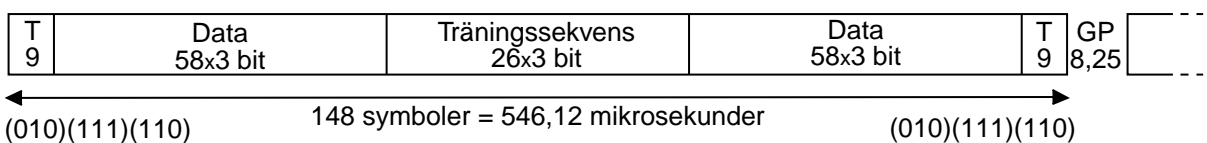
Tail bits består av (0,1,0) (1,1,1) (1,1,0). Vad händer när vi går från (0,1,0) till (1,1,1)? Detta innebär en vridning -90 grader. Men samtidigt vrider sig hela cirkeldiagrammet +67,5 grader. Resultatet blir att bärvågen ändrar sin fas -22,5 grader under en symboltid  $T_s$ , en ytterst liten frekvensändring.

Nästa ändring går från det nya läge som (1,1,1) har till (1,1,0). Detta innebär en vridning -45 grader. Men även nu vrider sig hela cirkeldiagrammet +67,5 grader, varför resultatet blir att bärvågen ändrar sin fas +22,5 grader under denna symboltid  $T_s$ . Bärsvågen flyttar tillbaka i fas.

Vi ser hur man lyckas hålla bärvågen i stort sett på konstant frekvens när ficktelefonen startar respektive stoppar sin sändare.



**EDGE: Normal burst**





## 20 — CDMA-system

---

## 20.1 Standardiseringsorganen går samman i 3GPP

### Europa — ETSI

I slutet av 1980-talet höll ETSI på med standardiseringen av GSM-systemet. Samtidigt startades ett forskningsprojekt inom EU som skulle utveckla teknik för högre bithastighet, RACE I (R&D in advanced communications technologies in Europe).

År 1991 resulterade RACE I i att man inom ETSI bildade en undergrupp för att studera tredje generationens mobiltelefoni, som fick arbetsnamnet UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).

RACE I följdes av RACE II, uppdelat i undergrupper, bl.a. ATDMA för TDMA-teknik samt CODIT för WCDMA-teknik.

RACE II följdes 1995 av FRAMES där ATDMA-arbetet fortsattes i FMA1 och CODIT i FMA2.

Arbetet inom FMA1 stöddes bl.a. av Siemens och resulterade i TD-CDMA, ett CDMA-system där man sänder och tar emot på samma frekvenskanal, i skilda tidluckor.

Arbetet inom FMA2, stött av bl.a. Ericsson och Nokia, resulterade i WCDMA, ett CDMA-system med FDD-teknik, d.v.s. man sänder och tar emot samtidigt, i skilda tidluckor.

År 1998 antog ETSI båda systemen som europeisk standard för UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), WCDMA när det

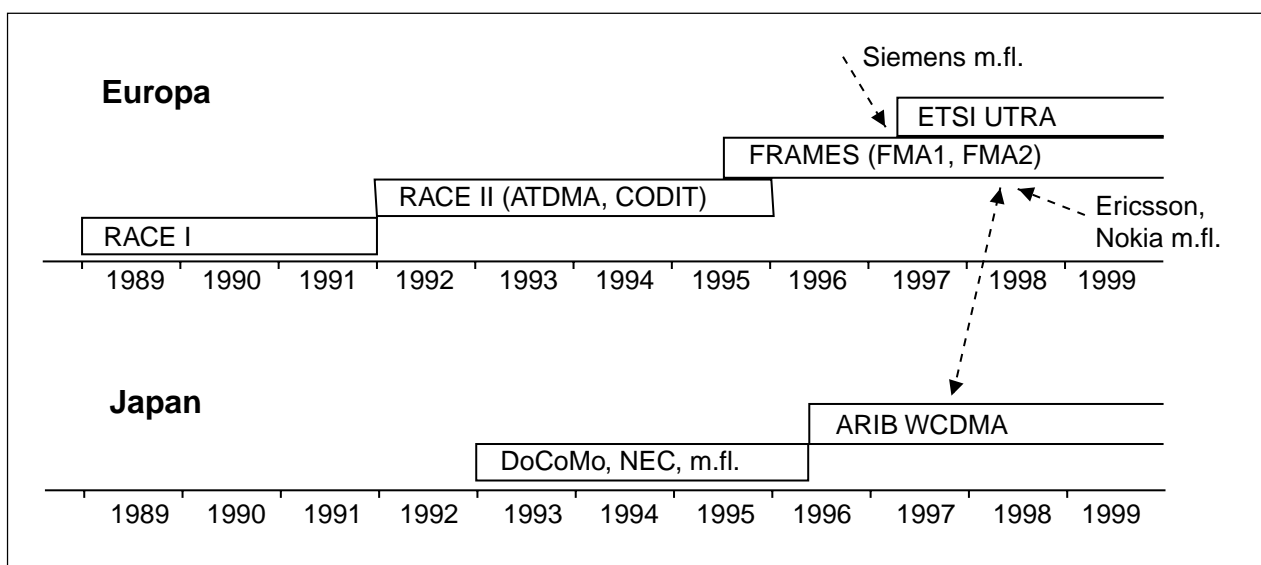
finns dubbla frekvensband att tillgå, samt UTRA/TD-CDMA för tidsdelning i ett frekvensband.

### Japan — ARIB/TTC

Sedan 1993 hade japanska företag (bl.a. DoCoMo och NEC) arbetat för att få fram radioteknik för högre bithastigheter. Under 1996 påbörjade japanska standardiseringsorganet ARIB standardisering av ett WCDMA-system som hade så stora likheter med WCDMA-utvecklingen i Europa, båda systemen skulle dessutom anslutas till befintlig GSM-struktur, att man enades om ett gemensamt WCDMA-förslag.

### USA — T1P1/TR46.1 och Korea — TTA

Även i USA och Korea arbetade man med standardisering av tredje generationens mobiltelesystem. I dessa båda länder finns redan CDMA-system i form av andra generationens cdmaOne, med 1,25 MHz frekvenskanalbredd. Därför ville man i dessa båda länder skapa ett bredbandigt CDMA-system med 4 MHz frekvenskanalbredd genom att kombinera tre cdmaOne-system till ett "multicarrier" CDMA. Detta skulle underlätta för de operatörer som i dag har cdmaOne-system.





**Kina — CATT**

Även Kina engagerar sig i utvecklingen av tredje generationens mobiltelefoni. Där pågick standardiseringen av ett TDD-system, alltså för en enda frekvenskanal, TD-SCDMA.

**ITU-R — IMT-2000**

ITU-R fastslog att som radioteknik för tredje generationens mobiltelesystem, IMT-2000, måste man acceptera tre olika tekniska lösningar:

- Direct-spread CDMA (DS-CDMA), i dagligt tal WCDMA.
- Multicarrier CDMA (MC-CDMA)
- Time-division duplex (TD-CDMA)

Dessa tre tekniska lösningar skall fungera i mobilnät som bygger på:

- GSM-baserad nätuppbyggnad, inkluderande kretskopplad GSM- och paketförmedlande GPRS-nätteknik.
- ANSI-41-baserad nätuppbyggnad för såväl kretskopplad som paketförmedlande trafik.

**3GPP (3rd Generation Partnership Project)**

Samtliga ovan nämnda standardiseringsorgan har gått samman i 3GPP för att gemensamt utarbeta standarder som uppfyller önskemålen från ITU-R.

**Fördelar och nackdelar?**

Varför standardisera tre olika radiolösningar? Är WCDMA bäst? Finns MC-CDMA bara för att tillgodose önskemål från nuvarande cdmaOne-operatörer, och TD-CDMA därför att det finns frekvensområden som inte lämpar sig att delas upp i två frekvensband? Både ja och nej.

**• WCDMA**

Vid CDMA är mobilens radiomottagare slyssad hela tiden. Det finns inga tidluckor för att lyssna på andra frekvenskanaler vid handover. Detta har man löst genom att då och då införa en tidlucka (slotted mode) där mobilen får chans att byta frekvens och mäta.

**• MC-CDMA**

Basstationen för cdma2000 sänder på tre

frekvenskanaler om 1,25 MHz där två kan innehålla cdmaOne och den tredje ett cdmaOne-liknande system för styrning av cdma2000-specifika funktioner. De tre frekvenskanalerna har tillsammans en bandbredd på 3,75 Mhz.

Terminalerna kan antingen vara cdmaOne-ficktelefoner som sänder med bandbredden 1,25 MHz, eller också cdma2000-terminaler som sänder en bredbandig signal med bandbredden 3,75 MHz.

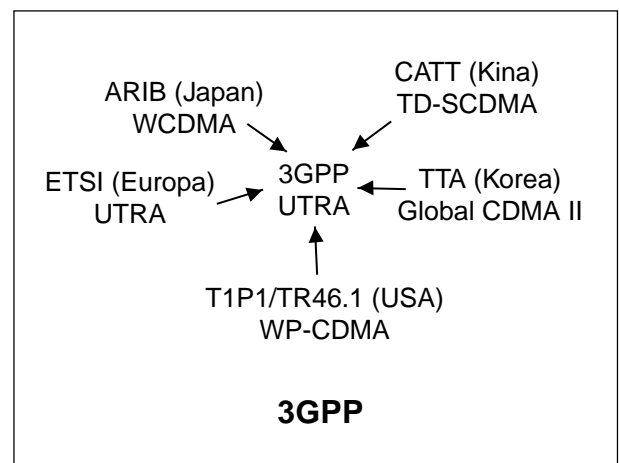
**• TD-CDMA**

I detta fall delas tiden i åtta tidluckor. Basstationen sänder på varannan tidlucka och terminalen på varannan.

Om trafikmönstret är osymmetriskt så att mer data skickas i nedlänken än i upplänken kan operatören avdela t.ex. sex av tidluckorna i nedlänken och bara två i upplänken. Observera att detta inte gäller för en enskild abonnent utan för alla som samtidigt har samtal uppkopplade mot basstationen.

En ännu intressantare möjlighet är att ha trafik direkt mellan terminaler utan att gå via en basstation. Eftersom både sändare och mottagare ligger på samma frekvens, så kan en av terminalerna agera "basstation" genom att förskjuta sitt tidluckemönster.

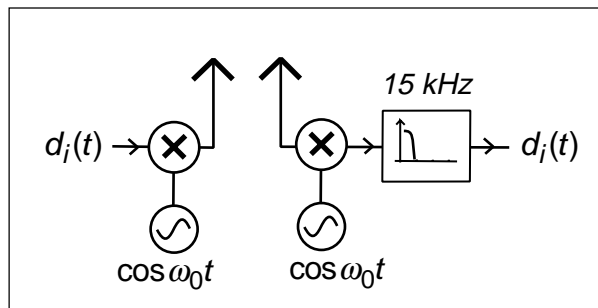
Om man kan ha trafik mellan terminaler så kan även terminaler agera relästationer åt andra terminaler som befinner sig för långt bort för egen direktkontakt med basstationen. En sådan relästation utnyttjar fyra tidluckor i riktning mot basstationen, och de övriga fyra tidluckorna i andra riktningen.



## 20.2 cdmaOne

Vi utgår från en smalbandig digital radiosändare för t.ex. 28,8 kbit/s.

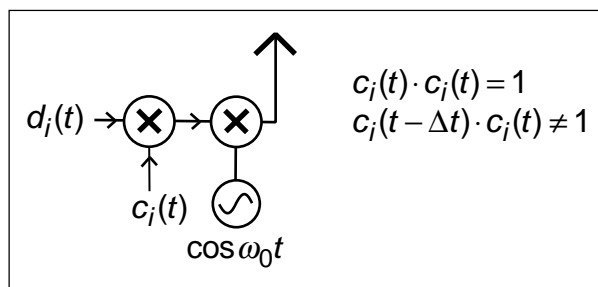
Från talkodaren kommer 9,6 kbit/s som faltningskodas med  $R=1/3$  och vi får  $d_i(t) = 28,8$  kbit/s. För att överföra  $d_i(t)$  behövs en radiokanal med ca 30 kHz bandbredd. Vid datadetektorn sitter därför ett lågpasfilter som dämpar signaler över 15 kHz (två sidband blandas till basband).



### Kasta om med spridningskod

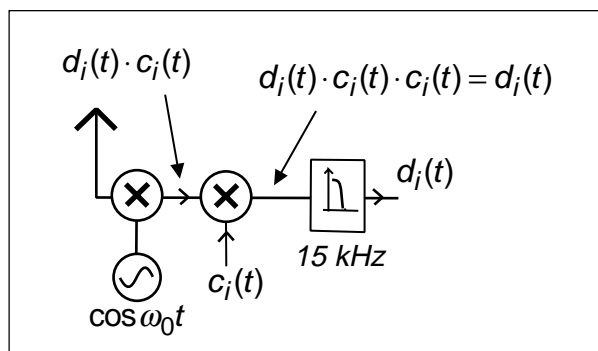
Om vi vänder databitarna upp och ner i takt med en spridningskod  $c_i(t)$  som har data-takten 1,2288 Mbit/s så sprids sändarsignalen över en 1,25 MHz bred radiokanal.

Spridningskoden varierar mellan +1 och -1 och har sådana egenskaper att om den multipliceras med sig själv blir resultatet ett, medan om den tidsförskjuts blir resultatet en annan spridningskod, fortfarande med data-takten 1,2288 Mbit/s.



### ”Kasta tillbaka” i mottagaren

I radiomottagaren vänder vi tillbaka databitarna med samma spridningskod  $c_i(t)$ . Då får vi tillbaka den ursprungliga 28,8 kbit/s-bitströmmen  $d_i(t)$  som kan passera 15 kHz lågpasfiltret.

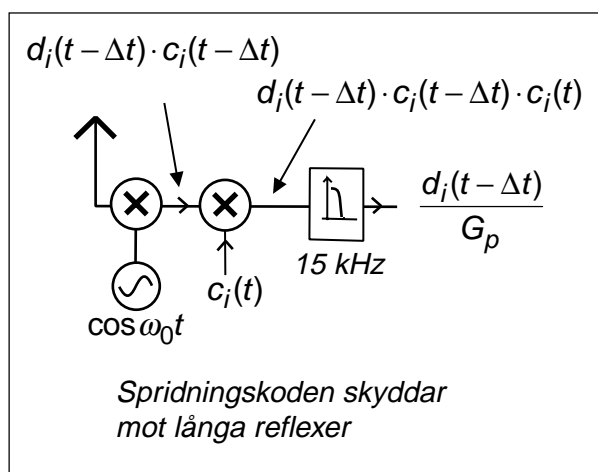


### Spridningskoden skyddar mot korta reflexer

Spridningskoden sprider ut varje databit över en 1,25 MHz bred radiokanal. Vi har alltså en form av frekvenshopp, frekvensdiversitet, på varje databit. Detta ger skydd mot korta reflexer.

### Spridningskoden skyddar mot långa reflexer

En lång reflex kommer fram senare. När den långa reflexen skall vändas tillbaka i mottagaren så ligger spridningskoden fel i tid. Efter vändningen har reflexen fortfarande hög bithastighet och bara en liten del av reflexen kan passera 15 kHz lågpasfiltret.



### RAKE-mottagare

Vi kan bygga flera radiomottagare som justerar sina spridningskoder i tiden så att den ena mottagaren tar emot huvudsignalen medan de andra mottagarna tar emot långa reflexer. Dessutom behöver amplitud och fasvinkel för den koherenta detekteringen justeras.

"Rake" betyder kratta. I cdmaOne finns tre mottagare, tre "fingrar", i ficktelefonen, och fyra fingrar i basstationen.

### Spridningskoden skyddar mot störande signaler

Om det finns störande signaler inom radio-kanalen så vänds dessa av mottagarens spridningskod så att de blir bredbandiga varför bara en mindre del av störningen kan passera 15 kHz lågpasfiltret.

### Processing gain

En liten del av långa reflexer och störande signaler kan passera lågpasfiltret. Störningen sprids över 1,25 MHz, och så mycket som ryms inom 30 kHz passerar 15 kHz lågpasfiltret. Detta förhållande: 1250 kHz dividerat med 30 kHz kallas systemets "processing gain"  $G_p$  och blir i detta exempel 41,7 ggr eller 16,2 dB. Långa reflexer och störande signaler dämpas 16,2 ggr, CDMA-systemets processing gain.

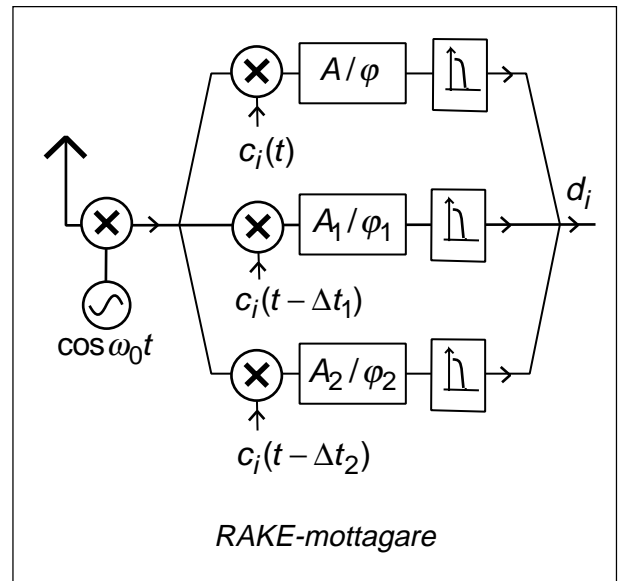
### Ficktelefonerna har olika spridningskoder

Alla ficktelefoner använder samma frekvens. Basstationen skiljer dem åt genom att varje ficktelefon har sin unika spridningskod.

Om man behöver 10 dB signal/brus-förhållande så blir det 6,2 dB över av processing gain. Man kan alltså ha 4 samtidiga telefonsamtal i denna cell. Fast normalt pratar varje abonnent bara under 50 % av tiden, och då kan vi ha 8 samtidiga samtal.

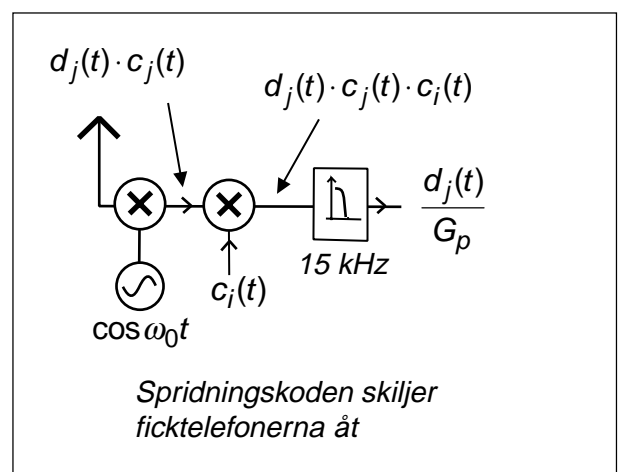
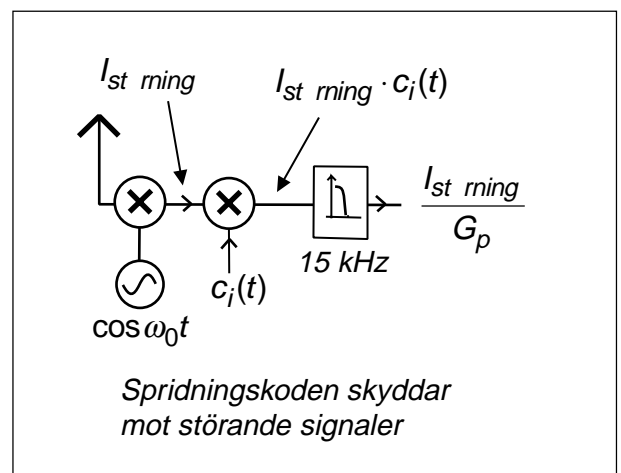
### Förutsätter samma signalstyrka

För att få in 20 samtal på denna upplänk så måste alla ficktelefoner alstra lika starka signaler vid basstationen. Därför utnyttjas effektreglering i CDMA. I cdmaOne skickar basstationen effektregleringskommandon 800 ggr per sekund till varje ficktelefon, och i WCDMA kommer man att skicka effekt-



$$G_p = \frac{c_i}{d_i}$$

$G_p$  = processing gain  
 $c_i$  = spridningskodhastighet  
 $d_i$  = datahastighet



regleringskommandon 1600 ggr per sekund.

**Walsh-modulering ökar  $G_p$**

För att få in många samtidiga förbindelser på en CDMA-kanal så behövs högt processing gain, d.v.s. smal bandbredd på lågpasfiltret.

Det finns en grupp ortogonala spridningskodord som kallas Walsh-koder. Ortogonala innebär att de inte påverkar varandra alls.

Ficktelefonen har 64 sådana Walsh-kodord. Varje Walsh-kodord betyder 6 databitar. Genom att översätta 28,8 kbit/s till Walsh-kodord så skickar ficktelefonen 4800 sådana kodord per sekund.

Basstationen vänder inte bara tillbaka signalen med ficktelefonens spridningskodord, utan basstationen prövar även med de 64 olika Walsh-kodorden för att se vilket som passar. I princip har basstationen 64 olika mottagare och prövar vilken mottagare som lämnar ifrån sig signal. Och denna information, Walshkodorden, kommer med hastigheten 4800 st per sekund, d.v.s. vi kan ha ett lågpasfilter som bara släpper igenom frekvenser under 2,4 kHz. På detta sätt har processing gain ökat till 1250 kHz dividerat med 4,8 kHz, d.v.s. 260 ggr, och med 10 dB signal/brusförhållande (10 ggr) så får vi in 26 samtidiga samtal, eller 52 samtal om abonnenterna bara talar under 50 % av tiden.

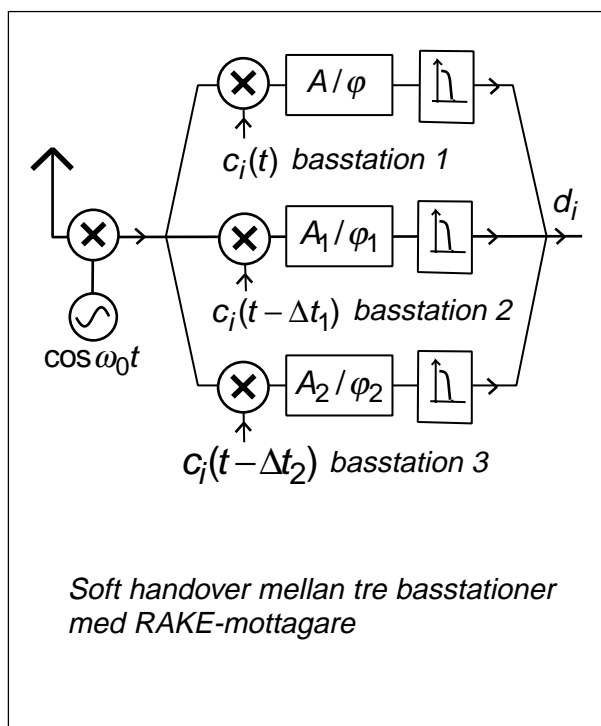
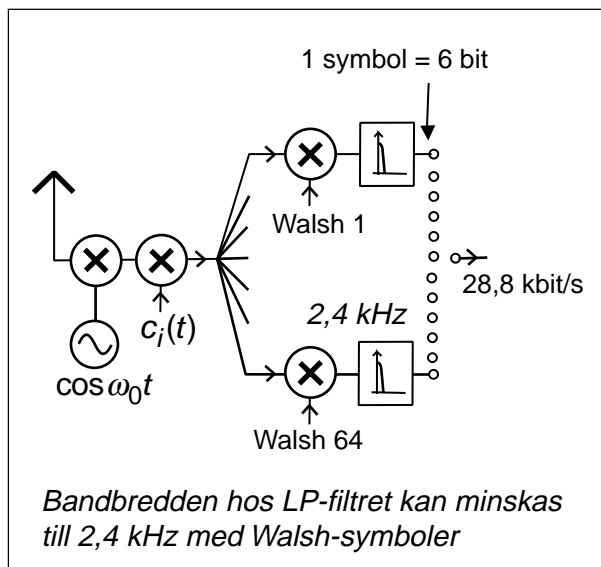
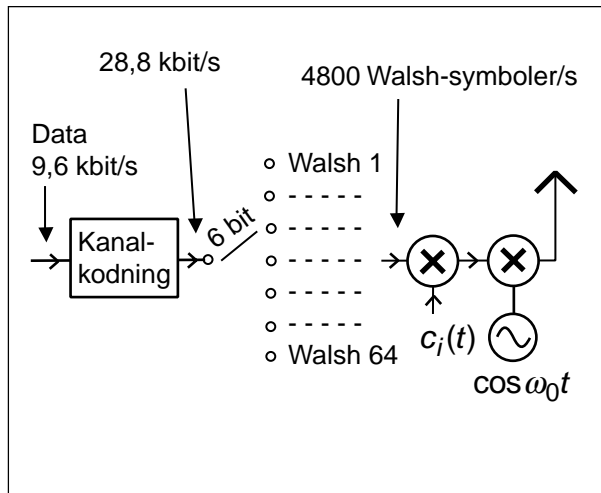
**Antal abonnenter är lägre i verkligheten**

Det är inte bara ficktelefoner i den egna cellen som skall dämpas av systemets processing gain, utan även egna långa reflexer och ficktelefoner i alla celler runt omkring, eftersom alla celler använder samma frekvens. Fast dessa ficktelefoner befinner sig längre bort och är normalt svagare.

**Soft handover**

När ficktelefonen närmar sig gränsen för en cell så utnyttjar den de tre fingrarna i RAKE-mottagaren för att kommunicera med två eller tre basstationer samtidigt.

CDMA ger möjlighet till soft handover, mjuk överkoppling. Den släpper inte en basstation innan den går över till nästa, som GSM, utan kommunicerar samtidigt via båda



basstationerna i övergångsskedet, mjuk överkoppling.

Man räknar med att 30 % av ficktelefonerna befinner sig i soft handover mellan två basstationer, medan 10 % befinner sig i soft handover mellan tre basstationer. Detta reducerar naturligtvis antalet samtidigt uppkopplade verkliga samtal i varje cell.

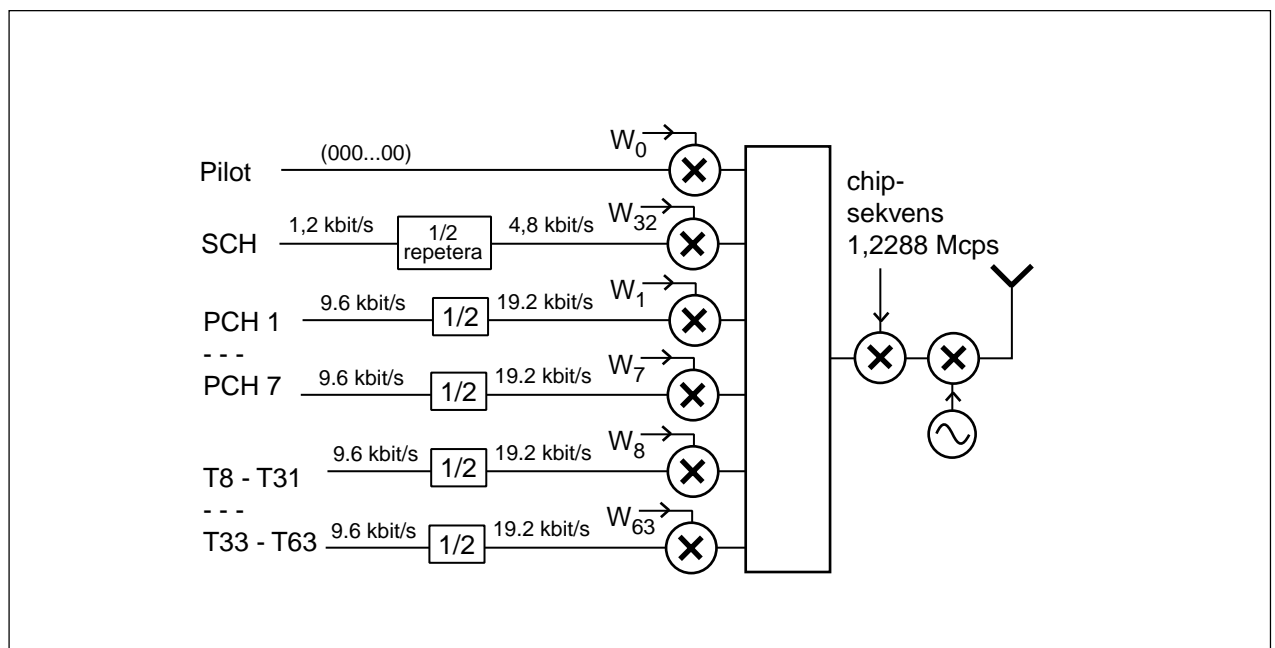
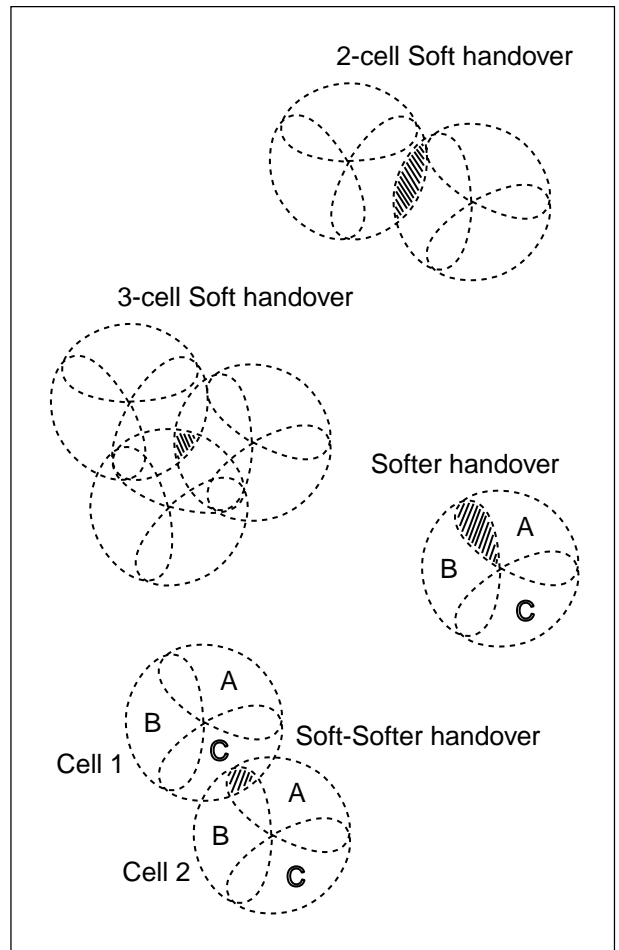
**Softer handover**

Basstationen kan ha sektorantennor så att varje antenn täcker 120 grader. I varje sektor sänder basstationen på samma frekvens, men med olika spridningskoder. Ficktelefonen kan alltså även göra handover mellan två sektorer på samma basstation. Detta kallas "softer handover".

**Basstationen skiljer abonnenterna med Walsh-koder**

På nedlänken sprider cdmaOne-basstationen samtalen till varje abonnent med Walsh-koder. Den utnyttjar 64 Walsh-koder (W0 – W63), där W0 är en pilotkanal som sänds ut med 20 % av basstationseffekten. Denna pilot utnyttjas av ficktelefonerna för tids-synkronisering av spridningskoden och fas-låsning av ficktelefonmottagarens koherenta detektor.

W32 är SCH-kanalen och W1 – W7 kan användas som paging-kanaler, medan resterande kanaler är trafikkanaler.



### Walsh-koderna ger inget skydd mot störningar

Walsh-koderna ger perfekt separering av de olika kanalernas dataströmmar när alla del-signaler ligger perfekt i tid. Om jag däremot tidsförskjuter en Walsh-kod så får jag en annan Walsh-kod. Jag kommer in på en annan kanal. Walsh-koderna ger alltså inget som helst skydd vid långa reflexer.

För att klara långa reflexer så utnyttjas spridningskodordet. Men de långa reflexerna elimineras inte, de dämpas bara med systemets processing gain.

I cdmaOne kommer 9,6 kbit/s från tal-kodaren som faltningskodas med  $R=1/2$  till 19,2 kbit/s. Lågpasfiltret i ficktelefon-mottagaren måste släppa igenom frekvenser upp till 9,6 kHz. Processing gain blir 1250 kHz dividerat med 19,2 kHz, d.v.s. 65 ggr eller 18 dB.

Denna processing gain om 18 dB skall dämpa inte bara långa reflexer, utan även signalerna från basstationens övriga två sektorer samt basstationerna i grann-cellerna. Alla basstationer sänder ju på samma frekvens.

### CDMA-celler "andas"

När många ficktelefoner är uppkopplade samtidigt ökar störnivån som skall undertryckas med processing gain. Enda möjligheten att minska störnivån är att befinna sig i mitten av en cell, så långt från övriga celler (störningar) som möjligt. Därför "andas" cellerna. Vid lågtrafik når varje basstation långt in i granncellerna. Man har stor överlappning. Vid högtrafik däremot kan det vara problem att klara trafiken i gränssonen mellan två celler.

### Räckvidden är inte avståndsberoende

Observera att räckvidden inte är beroende av avståndet till basstationen. Eftersom sändareffekten regleras med effektregleringskommandon (upp till maximal sändareffekt) så ändras inte den mottagna effekten  $P_m$  med avståndet.

**QPSK-modulering**

Två BPSK-sändare på samma frekvens men 90 grader fasförskjutna ger dubbla överföringskapaciteten på samma bandbredd. Man får två överföringskanaler, I-kanalen (i fas) och Q-kanalen (i kvadratur).

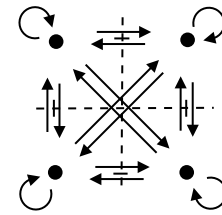
QPSK-modulering (Quad-BPSK, BPSK i kvadratur) utnyttjas av basstationen i cdmaOne. Det ger ingen kapacitetshöjning på CDMA-kanalen, men kan ge vissa fördelar vid sändar- och mottagarkonstruktionen, bl.a. vid återskapande av sändarbärvågen i ficktelefonmottagaren (koherent detektering).

**OQPSK i ficktelefonen**

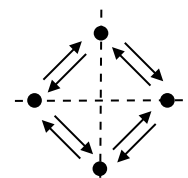
Ficktelefonen sänder med OQPSK (offset QPSK) vilket innebär att man fördröjer bitströmmen till Q-kanalen med en halv bittid. Man sänder alltså inte på I- och Q-kanalerna parallellt utan växlar mellan I- och Q-kanalerna. På detta sätt kommer ficktelefonens sändare aldrig att gå ner till noll i amplitud. Effektsteget behöver inte vara linjärt över hela amplitudområdet.

**Identifieras med egna spridningskoder**

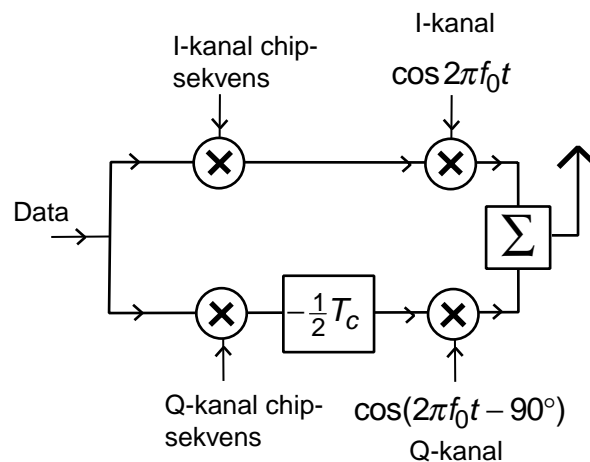
I- och Q-kanalerna har egna spridningskoder vilket gör att mottagaren inte har några problem med att identifiera vilken kanal som är vilken.



Vid QPSK kan signalen flytta sig mellan vilken punkt som helst i fas-amplitud-diagrammet.



Vid OQPSK är amplitudvariationerna minimala



Offset QPSK (OQPSK)

## 20.3 Kapacitetsberäkning för cdmaOne

Vi utgår från det signal/störförhållande  $C/I$  som behövs för att detektera den önskade signalen med viss bitfelshalt.

På upplänken har vi  $M$  ficktelefoner som var och en ger mottagen signalstyrka  $C$  i basstationen. En av dessa  $M$  ficktelefoner är den önskade, medan  $M-1$  ger störning.

Störningen kommer att undertryckas av systemets processing gain,  $G_p$ .

### C/I

Vid GSM räknade vi med  $C/I = 9$  dB. Det är lämpligt att utgå från samma siffra vid dessa beräkningar, men jag ökar värdet till 10 dB eftersom basstationen har problem att åstadkomma en perfekt synkroniserad koherent detektering. Ficktelefonen sänder inte någon pilotsignal.

### Processing gain $G_p$

Vid denna beräkning utgår vi från de fysikaliska värdena 1,25 MHz spridningsbandbredd och 4,8 kHz brusbandbredd i mottagaren på grund av Walsh-moduleringen. Detta ger  $G_p = 260$  ggr.

### Störningar från andra celler $G_F$

Även ficktelefoner i närliggande celler kommer att bidra till störsignalen på basstationen. Man räknar med att faktorn  $G_F$  kan ligga i intervallet 0,4 – 0,55.

### Effektregleringsfel $G_E$

CDMA bygger på att alla ficktelefoner producerar exakt lika stark signal i basstationsantennen. Effektreglering sker 800 ggr per sekund, i steg om 1 dB. Alla ficktelefoner producerar inte exakt lika stark signal. Vi får en spridning som påverkar den totala störnivån. Detta ger en korrektionsfaktor  $G_E$  som är 0,5 – 0,9.

### Voice activity factor $G_V$

När du inte pratar utan bara lyssnar minskar talkodaren sin bithastighet från 9,6 kbit/s i steg ner till 0,8 kbit/s. Ficktelefonen minskar datahastigheten genom att låta bli att sända symboler som inte innehåller data, den är tyst. Detta minskar störningarna.

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{(M-1) \cdot C \cdot \frac{1}{G_p}} = \frac{G_p}{(M-1)}$$

$$\Rightarrow M \approx \frac{G_p}{\frac{C}{I}}$$

*Störningar från egna cellen (sektorn)*

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{(M-1) \cdot C \cdot \frac{1}{G_p} \cdot (1+G_F)}$$

$$M \approx \frac{G_p}{\frac{C}{I} (1+G_F)}$$

*Vi tar med störningar från omkringliggande celler*

$$M \approx \frac{G_p \cdot G_E \cdot G_V}{\frac{C}{I} (1+G_F)}$$

*Ficktelefonerna har inte perfekt effektreglering, och alla talar inte samtidigt*

Eftersom bara en i taget pratar och det dessutom kan bli pauser däremellan så räknar cdmaOne optimistiskt med 40 % taltid. Faktorn  $G_V$  får värdet 2,5 ggr.

### Sektorantenner, $G_A$

Området runt basstationen kan delas i tre sektorer med hjälp av riktantenner som var och en täcker en 120 grader bred sektor. På detta sätt får man tre celler, där dämpningen mellan cellerna bestäms av sektorantennernas strålningsdiagram.

Vid GSM betraktas detta som tre separata celler, medan cdmaOne ser detta som en cell med kapacitetshöjning med hjälp av sektorantenner. Den vinst man kan uppnå är maximalt  $G_A = 3$ , men man brukar räkna med  $G_A = 2,5$  (4 dB).

Vi tar hänsyn till sektorindelningen men



dividerar med 3, eftersom vi vill ha samtal per sektor.

### Soft handover

Många ficktelefoner kommer att befinna sig så att de får stark signal från två av sektorantennerna. De kopplar upp sig mot båda sändarna (softer handover) och belägger trafikkanaler i båda sektorerna. Antalet samtidiga samtal minskar till ungefär 60 % av totala antalet trafikkanaler, men transmissionskvaliteten ökar.

### GSM kontra cdmaOne

I avsnitt 13.2 beräknade vi antalet samtidiga tidluckor i en cell till 32 för en GSM-operatör som har två frekvensband om vardera 8 MHz. Detta motsvarar 5 samtidiga samtal på 1,25 MHz, en cdmaOne-kanal. I cdmaOne kan man få in 10 – 21 samtidiga samtal på 1,25 MHz. Varför denna skillnad?

### GSM-operatören kan få in lika många samtal

GSM-operatören kan få in lika många samtal i sitt mobiltelefonnät som cdmaOne-operatören. Skillnaden ligger i att GSM-operatören behöver mindre celler, fler basstationsplatser.

### Fysikaliska skillnader

Vilken fysikalisk skillnad finns mellan GSM och cdmaOne?

- GSM kodar talet till 13 kbit/s medan cdmaOne kodar talet till 8,55 kbit/s. Siffrorna ger därför inte en rättvis bild av de verkliga skillnaderna mellan TDMA-teknik och CDMA-teknik.

$$M \approx \frac{G_p \cdot G_E \cdot G_V \cdot G_A}{\frac{C}{I}(1+G_F)} \cdot \frac{G_A}{3}$$

*Sektorantennerna ökar kapaciteten runt "siten" men vi räknar på en sektor*

$$M \approx \frac{G_p \cdot G_E \cdot G_V \cdot G_A}{\frac{C}{I}(1+G_F)} \cdot \frac{G_A}{3} \cdot 0,6$$

*Många av ficktelefonerna belägger trafikkanaler i fler än en sektor*

- I cdmaOne utnyttjar man mycket verkingsfull effektreglering. Ingen sändare använder högre sändareffekt än absolut nödvändigt, och sändareffekten följer Rayleigh-fädningen.

GSM har effektreglering men inte så snabb att den klarar att följa Rayleigh-fädningen. GSM måste lägga till fädningsmarginal. Detta påverkar upprepningsavståndet.

- I cdmaOne utnyttjas Walsh-modulering som ger extremt smal brusbandbredd i förhållande till bithastigheten. Ficktelefonen kodar 9,6 kbit/s med  $R=1/3$  till 28,8 kbit/s som Walsh-kodas till 4,8 ksymb/s. Om vi inte utnyttjar Walsh-symboler utan kodar talet med  $R=1/2$  till 19,2 kbit/s så behöver basstationsmottagaren ett filter med bandbredden 19,2 kHz och  $G_p$  blir  $1250/19,2 = 65$ . Detta skulle ge antalet samtidiga samtal  $M = 2,5 - 5,25$ , t.o.m. lägre än värdena för GSM.

$$M \approx \frac{G_p \cdot G_E \cdot G_V \cdot G_A}{\frac{C}{I}(1+G_F)} \cdot \frac{G_A}{3} \cdot 0,6 = \frac{260 \cdot 0,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5}{10 \cdot (1+0,55) \cdot 3} \cdot 0,6 = 10$$

$$M \approx \frac{G_p \cdot G_E \cdot G_V \cdot G_A}{\frac{C}{I}(1+G_F)} \cdot \frac{G_A}{3} \cdot 0,6 = \frac{260 \cdot 0,9 \cdot 2,5 \cdot 2,5}{10 \cdot (1+0,4) \cdot 3} \cdot 0,6 = 21$$

*cdmaOne ger från 10 – 21 samtidiga samtal per sektor.*

## 20.4 cdmaOne, cdma2000/X1 och cdma2000/X3

### cdmaOne

Du har redan hört en hel del om cdmaOne när jag förklarade CDMA-tekniken.

cdmaOne har chip-hastigheten 1.2288 Mcps i en frekvenskanal som är 1,25 MHz bred. Effektkontrollkommandon skickas 800 ggr per sekund. Talkodaren kallas EVRC (Enhanced Variable Rate Codec) och lämnar fyra olika bithastigheter beroende på om man talar eller lyssnar: 8,55 kbit/s, 4 kbit/s, 2 kbit/s och 0,8 kbit/s (medeltal 4 kbit/s).

### cdma2000/1X

Detta är första steget för en cdmaOne-operatör mot ett 3G-nät. Chip-hastighet och frekvenskanal är som för cdmaOne, 1,2288 Mcps respektive 1,25 MHz. Även nedlänken är identisk med cdmaOne.

Skillnaden ligger i upplänken, där ficktelefonen skickar en pilotsignal så att basstationen kan utnyttja en mottagare med koherent detektering. Detta innebär även att ficktelefonen fått slopa den tidigare metoden att göra korta avbrott i sändningen när abonnenten inte talar. I cdma2000 sänder ficktelefonen hela tiden.

I cdmaOne var bithastigheten 9,6 kbit/s vid datauppkoppling. I cdma2000/1X är detta utökat upp till 307,2 kbit/s, den bithastighet man har från Walsh-modulatorens, där symbolerna kommer med 4,8 ksymb/s och varje symbol består av en Walshkod om 64 bit.

### cdma2000/3X

Bredbandig CDMA, cdma2000/3X, har en frekvenskanal på 3,75 MHz.

I nedlänken delas frekvenskanalen i tre frekvenskanaler (Multi Carrier) om 1,25 MHz med vardera 1,2288 Mcps. Dessa frekvenskanaler kan samsas med cdmaOne-kanaler på samma sändare och är tidssynkroniserade så att de olika trafikkanalerna är perfekt separerade med ortogonala koder.

I upplänken moduleras ficktelefonens bärvåg med 3,6864 Mcps och får 3,75 MHz bandbredd. Denna signal kan utan nackdel samsas med smalbandiga cdma2000/1X-signaler och cdmaOne-signaler fördelade över tre frekvenskanaler i samma 3,75 MHz-band.

## 20.5 UMTS/WCDMA

### UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) är ETSI:s benämning på tredje generationens mobiltelesystem.

### UTRA

Radiodelen i UMTS kallar ETSI för UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). ETSI har valt två olika accessmetoder:

- TD-CDMA, som är en CDMA-teknik i tidluckor där upp- och nedlänk använder samma frekvenskanal.
- WCDMA, som utnyttjat frekvensduplex, ett frekvensband för nedlänken och ett annat för upplänken.

Här följer några ord om WCDMA.

### UTRAN

Nätet som hanterar radiostationerna kallas UTRAN (UTRA Network) och bygger på GSM-infrastrukturen.

GSM började som kretskopplat nät för kretskopplade tjänster. I dag ser vi hur GPRS införs med paketförmedlande tjänster. Det initiativ som GSM Association tagit med att utse GRX-operatörer som hanterar ett dedikerat IP-nät mellan GSM-operatörerna är första steget mot det bredbandsnät som skall ligga till grund för UTRAN.

### UTRA/WCDMA

WCDMA får chip-hastigheten 3,84 Mcps i en frekvenslucka på 4,2 – 5 MHz. Effektregleringskommandon skickas 1600 ggr per sekund.

Processing gain skall kunna anpassas till datahastigheten, men det skall även finnas möjlighet att utnyttja multi-code-modulering, jfr Walsh-moduleringen i cdmaOne, för att klara höga datahastigheter under störda förhållanden.

### QPRS för två kanaler

I upp-länken utnyttjas de två kanalerna som erbjuds vid QPRS-modulering genom att använda ena kanalen för DPDCH (Dedicated Physical Data Channel), den egentliga trafikkanalen, medan den andra kanalen, DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) är en signaleringskanal som alltid finns parallellt med trafikkanalen.

### Radio Frame

Ramlängden är 10 ms och rymmer 38400 chips. Detta delas i 15 tidluckor, där varje tidlucka består av 2560 chips.

På dessa 2560 chips kan vi i DPDCH lägga allt från 10 databitar med processing gain 256, till 640 databitar med processing gain 4.

På DPCCH ligger alltid 10 databitar med processing gain 256. Dessa databitar består av en pilotsignal för synkronisering, TPC som är effektregleringskommandot, samt eventuellt TFCI och FBI.

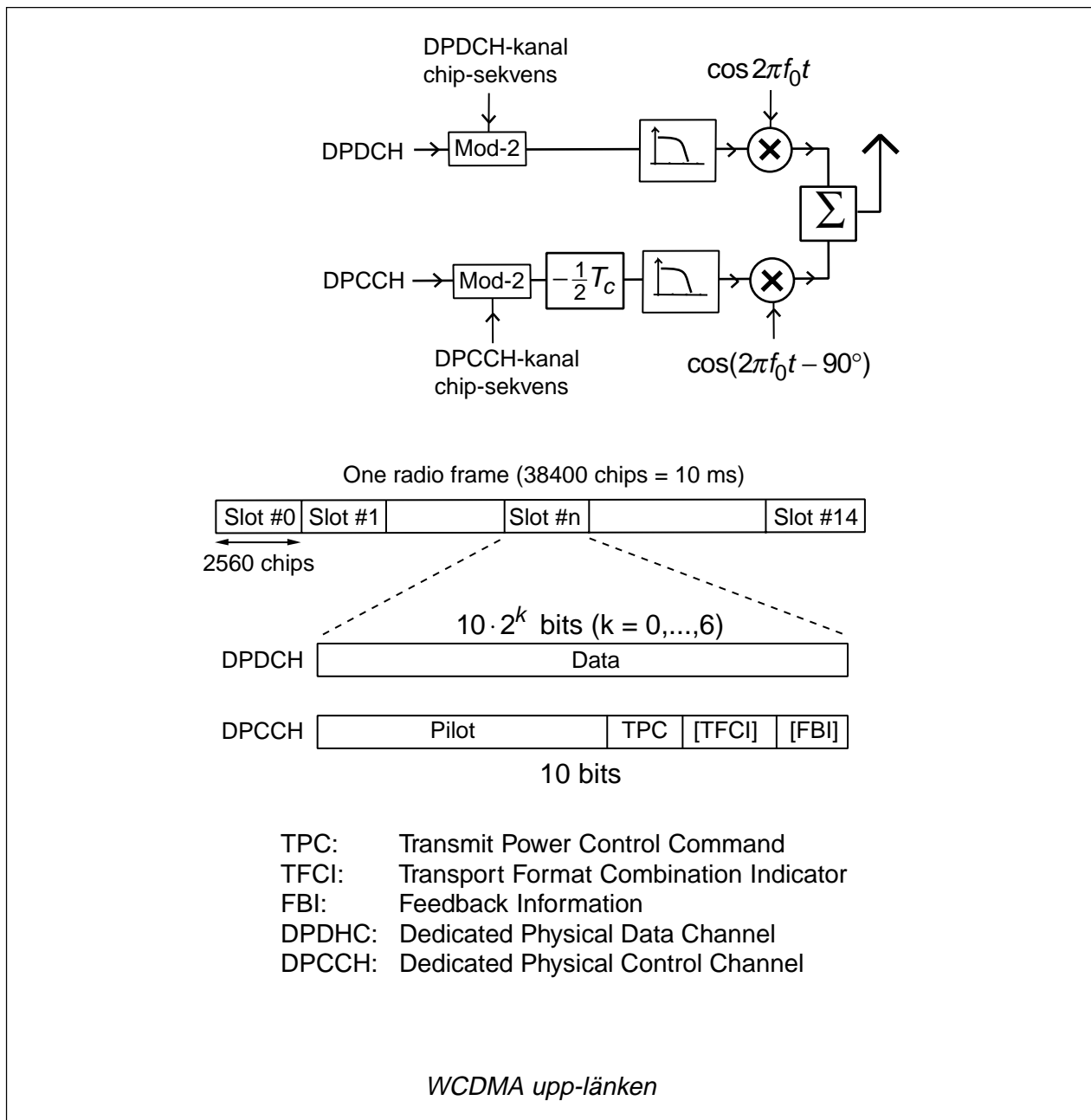
### I nedlänken

I nedlänken lägger man både DPDCH och DPCCH på samma 2560 chips. Då minskar processing gain, men det gör inget eftersom samtalen i nedlänken separeras med ortogonala koder. Processing gain behövs bara för att ta hand om långa reflexer och störningar från andra basstationer.

### Adaptiva antenner

I cdmaOne utnyttjar man tre sektorantennor på basstationen för att öka trafikkapaciteten runt en "site". Det finns möjlighet att utnyttja fler antenner med ännu smalare strålningsdiagram för att öka trafikkapaciteten ytterligare.

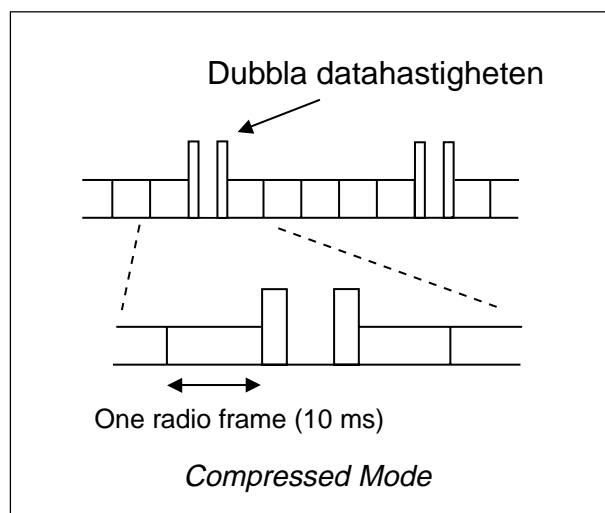
Elektriskt styrbara riktantennor som automatiskt riktar in sig mot aktuell ficktelefon kallas adaptiva antenner. Pilotsignalen från ficktelefonen kan utnyttjas för att styra adaptiva antenner.



**Lyssna på andra frekvenskanaler:  
Compressed Mode**

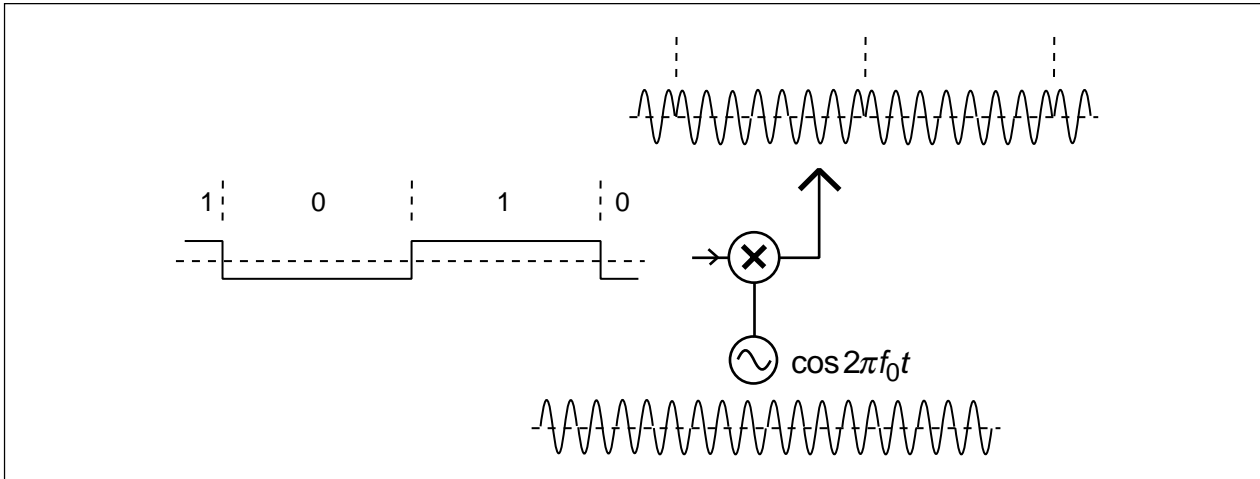
Ficktelefonen lyssnar på andra basstationer på samma frekvens med hjälp av RAKE-mottagaren. Men hur gör man i ett WCDMA-system med flera frekvenskanaler?

Under en ram på 10 ms sänder basstationen och ficktelefonen med dubbla datahastigheten så att tidluckorna avverkas på 5 ms. Man sänder med dubbla effekten för att kompensera för lägre processing gain. Under resten av tiden kan ficktelefonen få ca 5 ms för att byta frekvens och lyssna på andra frekvenskanaler.



## 21 — CDMA-tekniken

---



## 21.1 Digital modulering

### BPSK-modulering

BPSK (Binary Phase Shift Keying) innebär att man har två utseenden på sin symbol, 2PSK. Ena symbolen är referensfasen, medan andra symbolen är referenssignalen med minustecken, vilket är samma som en fasändring på 180 grader.

### Kan göras i balanserad blandare

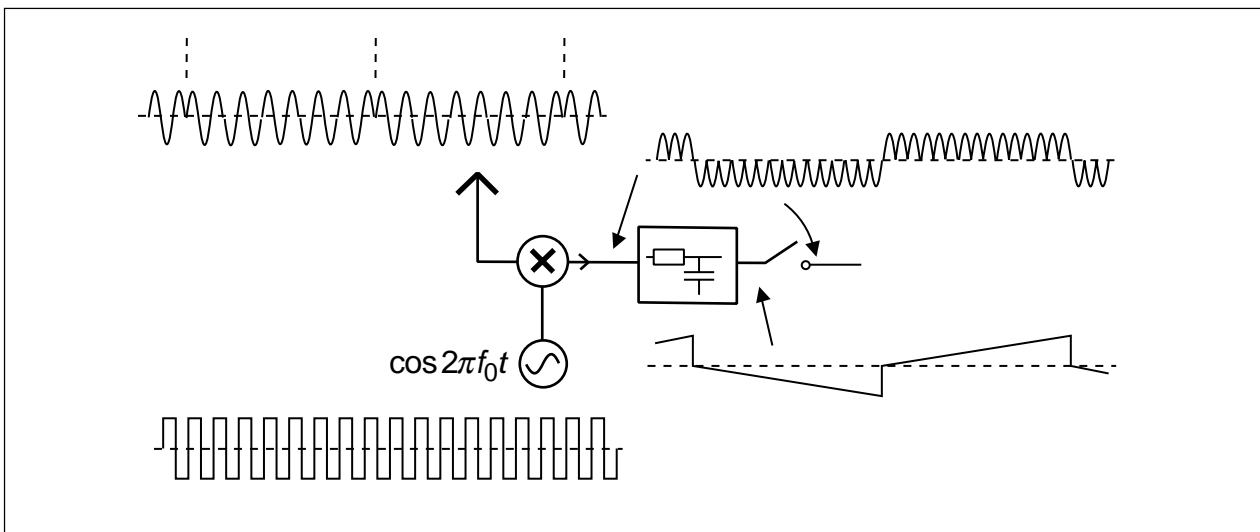
BPSK-modulering utförs enklast i en balanserad blandare. Bärsvågssignalen matas in i den balanserade blandaren som styrs av datasignalen. När datasignalen är positiv passerar bärsvågen utan förändring, en etta. När datasignalen är negativ fasvänder bärsvågen 180 grader, en nolla.

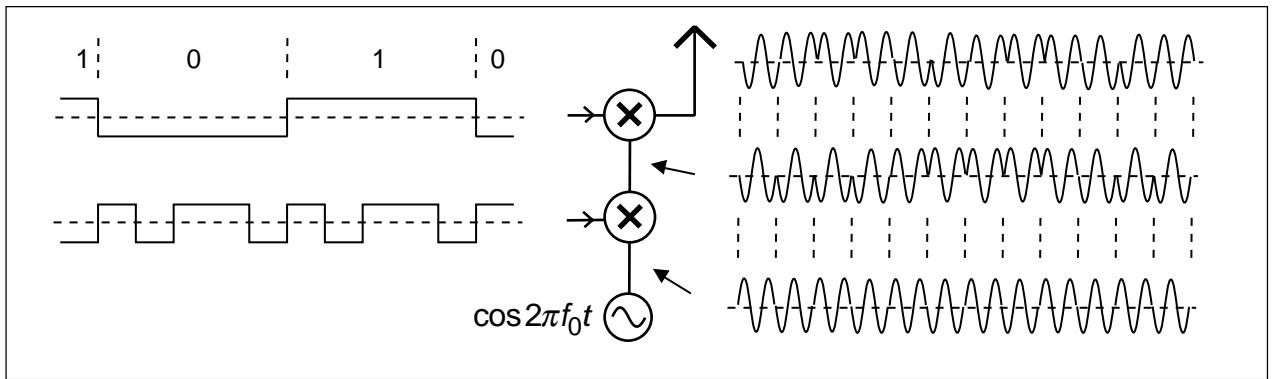
### Även i mottagaren

Även mottagaren innehåller en balanserad blandare, se nedan. Här låter man den åter-skapade bärsvågen (koherent detektor) styra dioderna, så att varannan halvsvåg i antenn-signalen fasvänder, och vi får pulser som vid halvsvågslikriktning, positiva om datasignalen är en etta, negativa om datasignalen är en nolla.

### ”Integrate and dump”

Halvsvågspulserna får ladda upp en kondensator, och efter datasignalens periodtid  $T_d$  avläser vi spänningen och laddar ur kondensatorn, som får börja på nytt, en teknik där uppladdningen innebär integrering var-efter innehållet ”dumpas”.





## 21.2 Digital modulering med spridningskod

### I sändaren

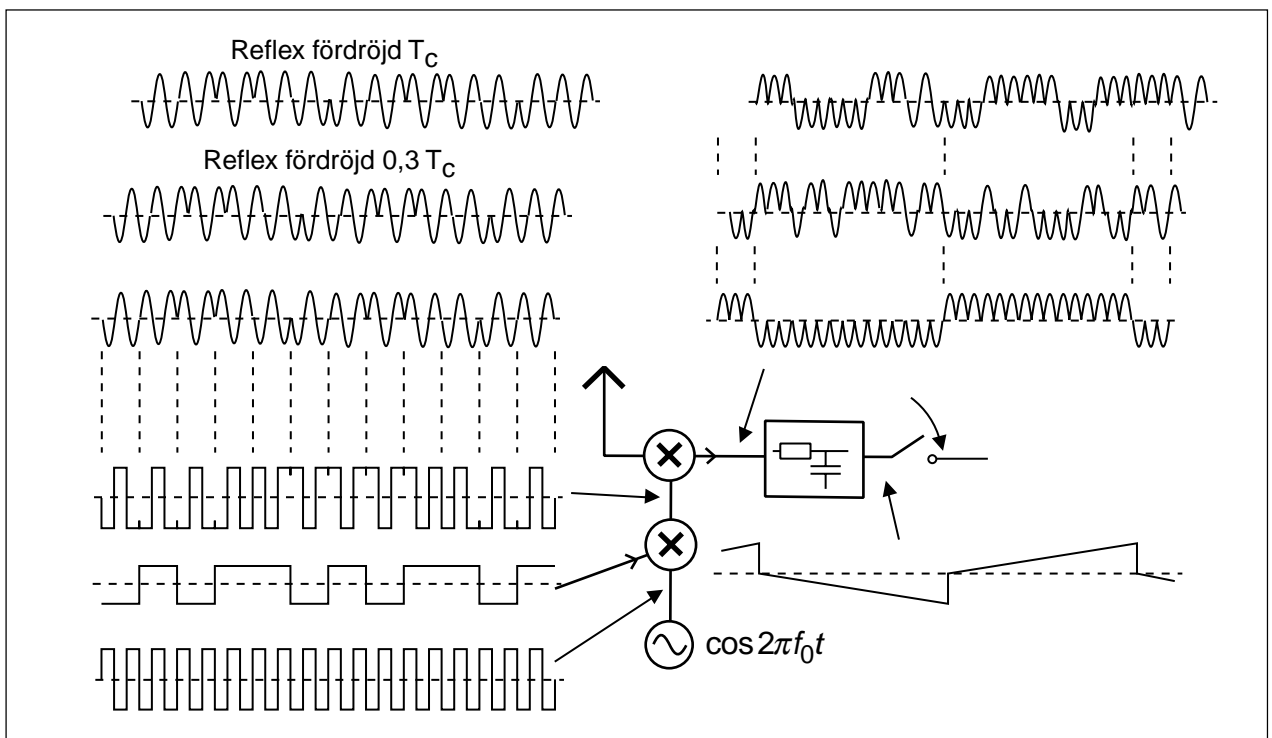
Om bärvågen först moduleras med en spridningskod, chip-sekvens, med kort periodtid  $T_c$  och alltså hög dataakt, så kommer bärvågen först att fasvändas i takt med spridningskoden och därefter i takt med data-signalen.

### Långa reflexer blir brus

I bilden finns även två reflexer fördröjda  $0,3$  chip-perioder respektive en chip-period. Vi ser hur dessa båda reflexer både laddar upp och ur kondensatorn under integreringstiden. Reflexerna tas emot på samma sätt som brus.

### I mottagaren

I mottagaren gör vi på samma sätt. Den åter-skapade bärvågen, nu som pulser, får först fasvändas av spridningskoden, varefter denna nya modulerade lokaloscillatorsignal styr fasvändningen av antenssignalen. Resultatet blir samma helvågslikriktade spänningpulsar som utan spridningskod.



**BPSK-modulering i detalj**

Låt oss se lite mer i detalj vad som händer i den balanserade blandaren. Först matar vi in en etta som är positiv spänning, se 1 i bilden. Då passerar bärvågen genom de yttre dioderna som leder, medan de korslagda dioderna spärrar.

Därefter växlar vi data till en nolla, d.v.s. negativ spänning, se 3 i bilden. När spänningen blivit negativ leder de korslagda dioderna, och bärvågen kommer ut 180 grader fasvriden.

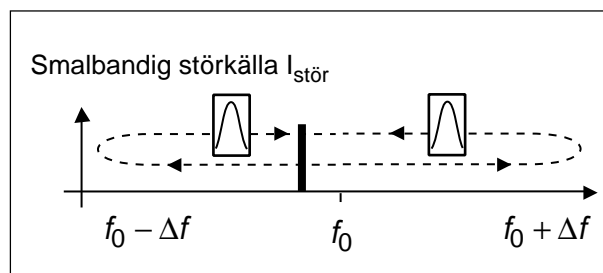
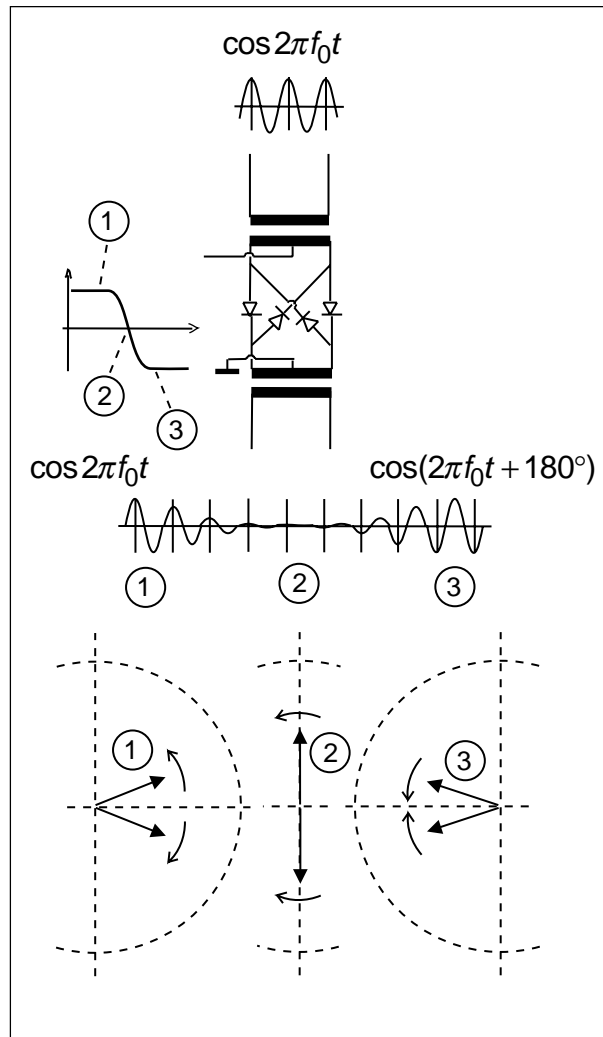
När spänningen sjunker från 1 till 2 och vidare till 3 så stängs bärvågen av till noll varefter den växer 180 grader fasvriden. Men att stänga av en bärvåg är amplitudmodulering. Bärvågen pekar först i riktning 0 grader varefter den delar upp sig på två spänningsvisare som vrider sig åt vardera hållet. I läge 2 är summan av visarna noll (nu har vi stängt av bärvågen) och när visarna fortsätter vrida sig växer resultanten i 180 graders-riktningen.

BPSK-modulering kan alltså ses som två spänningsvisare som vrider sig åt vardera hållet. Den visare som vrider sig moturs har högre frekvens, medan den visare som vrider sig medurs har lägre frekvens. Hur mycket högre respektive lägre frekvenserna är beror på vridningshastigheten.

Om bärvågen moduleras med pulser som är en fyrkantvåg så kommer visarna att behöva vrida sig oändligt snabbt. Detta ger oändlig frekvensavvikelse, och ett spektrum som är oändligt brett.

Om pulserna filtreras så att de blir "runda och mjuka" så har visarna nästan en hel pulstid  $T_c$  på sig för vridningen. Detta ger en frekvensavvikelse som är lika med halva pulsrepetitionsfrekvensen. Eftersom halva bärvågen går uppåt i frekvens medan andra halvan går nedåt i frekvens så sveper visarna över ett frekvensområde som är lika med pulsrepetitionsfrekvensen. Signalens spektrum, den frekvenskanal som "skräpas ner" av spektralkomponenter, blir ca 50 % bredare.

GSM kan ses antingen som en signal som ändrar sig 90 grader med symbol-



$$T_c = n \cdot \frac{1}{f_0} = (n + 0,5) \cdot \frac{1}{f_0 + \Delta f}$$

$$\Rightarrow \Delta f = \frac{0,5}{T_c} = 0,5 \cdot C_i [\text{symbol} / \text{s}]$$

hastigheten 271 ksymb/s, eller som två signaler (offset QPSK) som i tur och ordning ändrar sig 180 grader med symbolhastigheten 135 ksymb/s.  $\Delta f$  för GSM är 67,7 kHz.



### 21.3 Processing gain

#### Spridningskod — chipsekvens

Spridningskoden kallas chip-sekvens och dess periodtid är  $T_c$ . Chipsekvensen sprider huvuddelen av signaleffekten över en bandbredd som är ungefär  $C_i$ , chip-puls-repitionsfrekvensen.

$$2 \cdot \Delta f = B_c \approx \frac{1}{T_c} = C_i$$

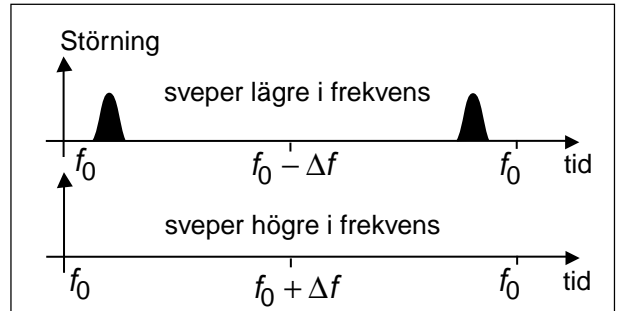
#### Mottagarens bandbredd $B_d$

"Integrate and dump"-detektorn uppför sig som ett lågpasfilter med en gränshastighet som motsvarar halva datasymbolhastigheten  $R_d$ . Men i den balanserade modulatorens frekvenstransponeras båda sidbanden till basbandet, varför mottagarens effektiva brusbandbredd  $B_d$  blir lika med datasymbolhastigheten  $R_d$ .

$$B_d = \frac{1}{T_d} = R_d$$

#### Smalbandig störare

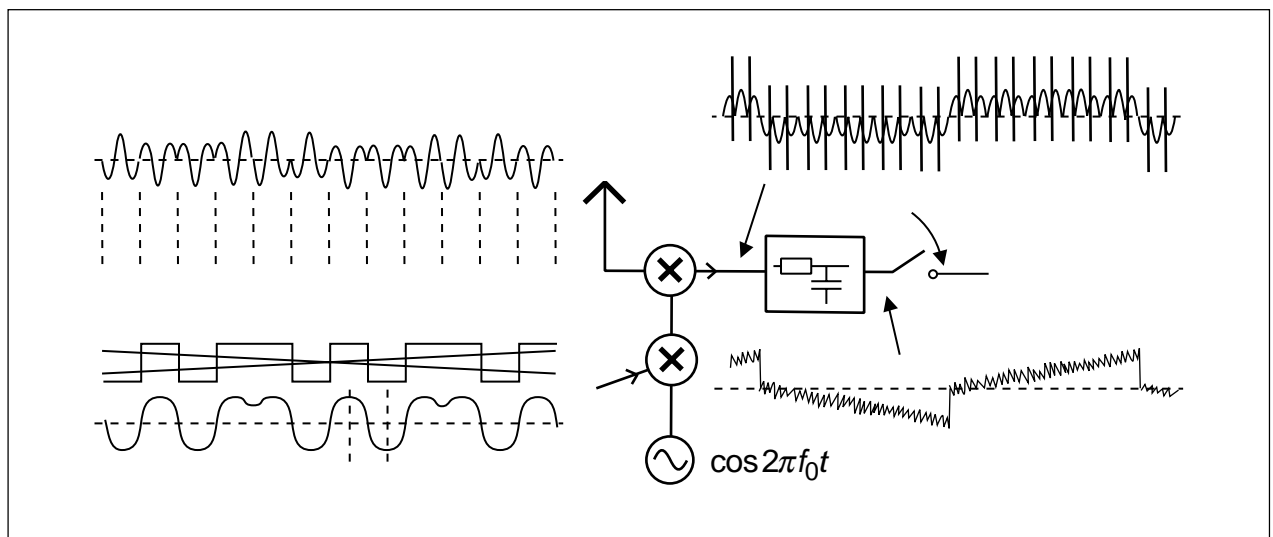
Om det finns en störande signal inom spridningsbandbredden  $B_c$  så stör den bara genom ena filterhalvan. Den tid som störsignalen kan passera filtret blir proportionell mot bandbredden  $B_d$  dividerat med  $\Delta f$  fram och tillbaka.



$$\begin{aligned} \frac{C}{I} &= \frac{C}{\frac{1}{2} \cdot I_{st} r \cdot \frac{B_d}{2\Delta f} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 0} = \\ &= \frac{C}{I_{st} r \cdot \frac{1}{G_p}} \\ G_p &= \frac{B_c}{B_d} = \frac{C_i}{R_d} \end{aligned}$$

#### Processing Gain

Inverkan av störsignalen minskar med förhållandet mellan chip-bithastigheten och datasymbolhastigheten, ett förhållande som kallas systemets "processing gain".



## 21.4 Bandspridning ger skydd mot korta och långa reflexer

### Korta reflexer

Korta reflexer resulterar i att man tar emot svag signal på vissa frekvenser därför att de olika delsignalerna hamnar i motfas på just denna frekvens. Överföringssträckan blir som ett filter med hög dämpning på vissa frekvenser.

- **GSM använder frekvenshopp för att hoppa bort från korta reflexer**

Om den mottagna signalen är svag på grund av kort reflex på en viss frekvens, då är sannolikheten liten att signalen samtidigt är svag också på andra frekvenser.

GSM-systemet byter frekvens mellan varje datapaket för att minska risken att två på varandra följande datapaket slås ut av kort reflex. Om åtminstone fem av åtta datapaket är rätt mottagna klarar oftast kanal-kodningen att återskapa de förlorade databitarna.

- **Med spridningskod byter CDMA frekvens så ofta att varje databit sänds på flera frekvenser**

Tänk dig att man byter frekvens så ofta att varje databit sänds på flera frekvenser. Då ökar sannolikheten avsevärt att databiten kommer fram. Frekvensbyte flera gånger per datasymbol är ett effektivt skydd mot korta reflexer.

Eftersom spridningskoden i CDMA kan ses som att dela upp sändarsignalen på två som sveper över var sin del av spridningsbandbredden, så kommer varje databit att sändas på två föränderliga frekvenskanaler, och under en databit ändrar frekvenskanalerna frekvens över hela spridningsbandbredden.

### Långa reflexer

En lång reflex är signalen som kommer fram lite senare, som ett eko.

- **GSM behöver utjämnare**

I GSM-mottagaren finns en utjämnare som analyserar de långa reflexerna genom att studera träningssekvensen. Därefter avlägsnas de långa reflexerna genom avancerad signalbehandling av den mottagna signalen.

- **CDMA byter frekvens så snabbt att den långa reflexen inte hinner fram**

Långa reflexer kommer fram lite senare. CDMA-mottagaren har en lokaloscillator, egentligen två, som hela tiden ändrar frekvens, sveper över spridningsbandbredden. När den långa reflexen kommer fram har CDMA-mottagaren redan hunnit byta frekvens.

Den långa reflexen sveper lite senare. Därför kommer CDMA-mottagarens "båda filter" att ta emot reflexen två gånger per svep. Reflexen och CDMA-mottagaren sveper i motsatt riktning. Reflexen passerar alltså filtret dubbelt så snabbt som en stillastående störning. Vi får halva störeffekten. Men reflexen finns i båda filtren, både det som ligger högre och det som ligger lägre i frekvens. Alltså dämpas den långa reflexen med mottagarens "processing gain".

## 21.5 CDMA-sändaren

### Oändlig bandbredd

Att modulera sändaren med spridningskoden ger oändlig bandbredd. Visserligen vill vi sprida signalen. Men den får inte vara onödigt bred.

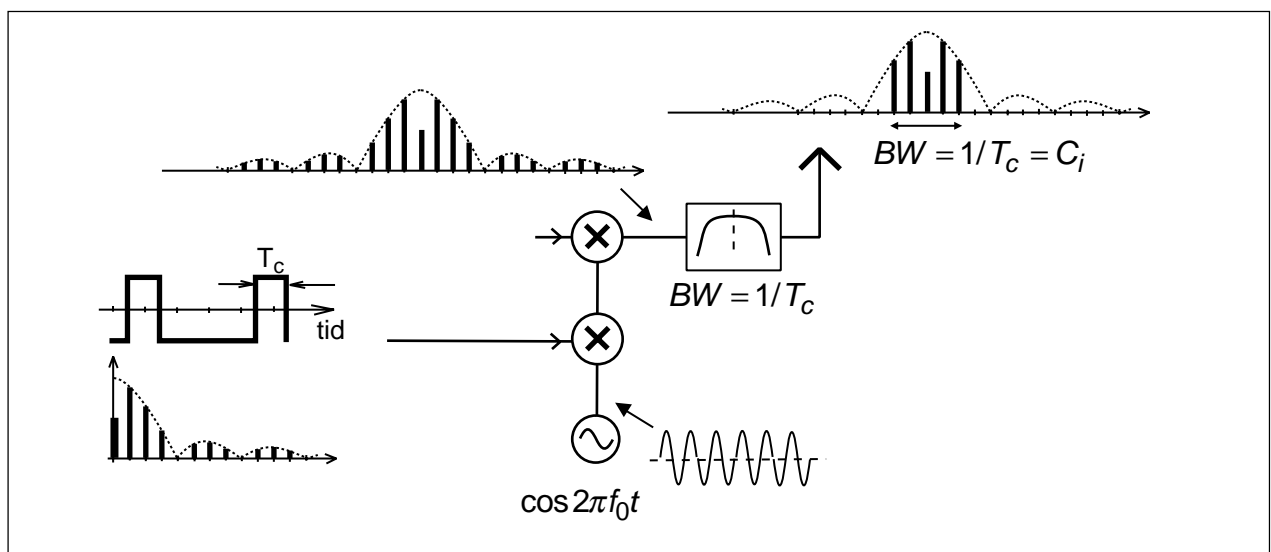
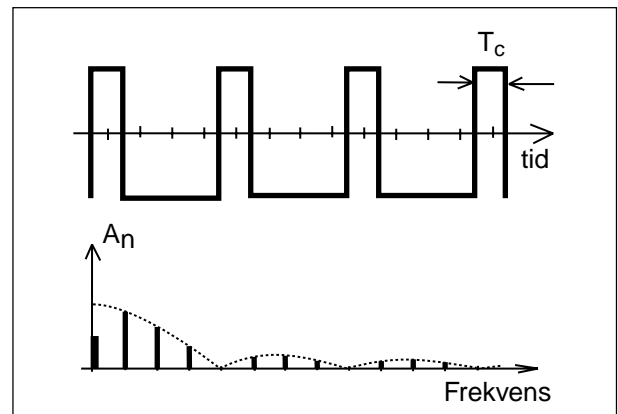
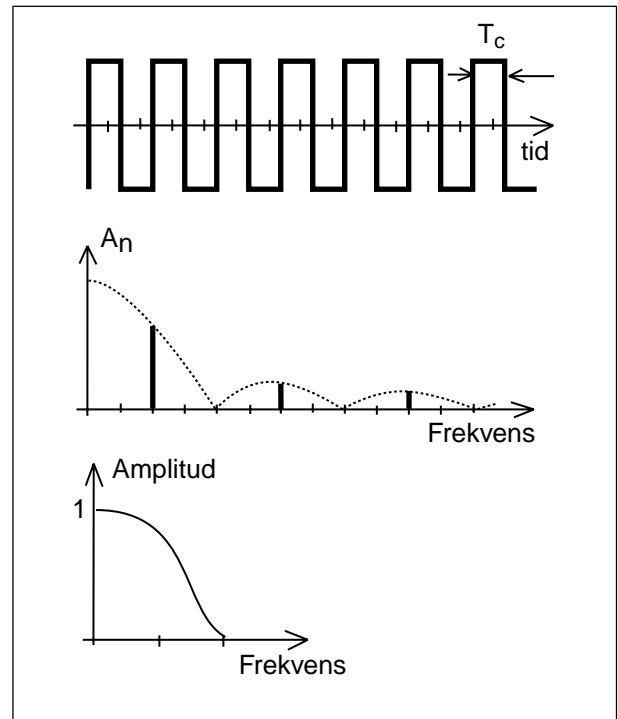
Bilden här intill visar spridningskoden som en fyrkantvåg, alternerande ettor och nollor, och spridningskodens spektrum. Grundtonen hamnar vid den frekvens som motsvarar  $2T_c$ .

Det räcker att utnyttja spridningskodens grundton. Övertonerna kan filtreras bort.

Vad händer när koden inte alternerar mellan etta och nolla? Koden är ju en slumpkod där det kan förekomma åtminstone två eller tre ettor eller nollor efter varandra. En sådan verklig kod får ett spektrum där grundtonen hamnar vid en lägre frekvens. Vi kan därför utan större nackdel filtrera bort alla frekvenskomponenter som ligger högre än den frekvens som motsvaras av  $2T_c$ .

### En verklig sändare

Bilden längst ner visar radiosignalens spektrum, samt hur antenssignalen filtrerats i ett filter med bandbredd (bandwidth)  $BW = 1/T_c$ .

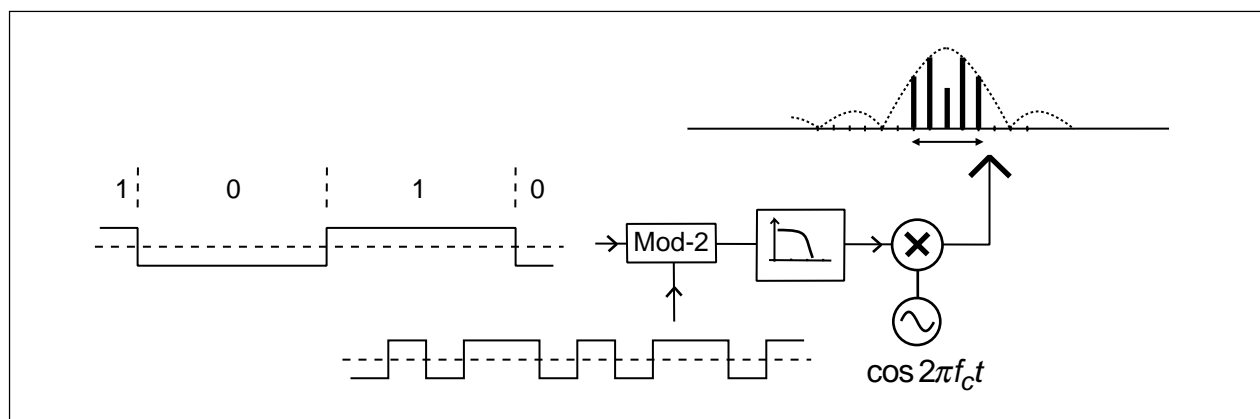
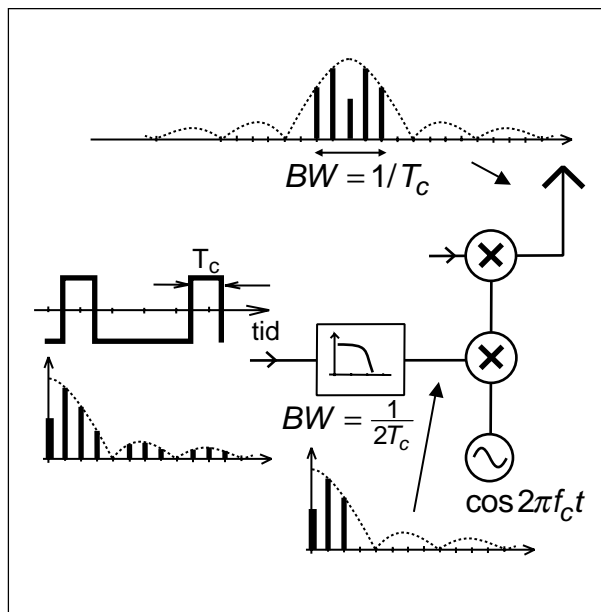


**Filtret behöver inte sitta vid antennen**

Det är inte nödvändigt att använda ett bandpassfilter vid sändarutgången för att begränsa den utsända signalens bandbredd. Det går precis lika bra att filtrera spridnings-signalen före moduleringen i den balanserade blandaren.

**Sveper mjukt**

Oavsett om den utsända signalen bandbegränsas genom ett filter vid sändarutgången, eller genom att mata scipsekvensen genom ett lågpassfilter, så blir resultatet detsamma, nämligen att "spänningsvisarna" vrider sig så lugnt och mjukt som möjligt, se beskrivningen av BPSK-modulering.

**Kan byggas med modulo-2-adderare**

Den enklaste formen av DSSS-sändare utnyttjar modulo-2-adderare för att kombinera datasignalen och spridningskoden, varefter signalen filtreras i ett lågpassfilter vars gränshfrekvens är den frekvens som motsvaras av  $2T_c$ . Denna filtrerade signal får modulera bärvågen i en balanserad blandare.

## 21.6 CDMA-mottagaren

### Radiomottagaren detekterar brus

På bilden härintill tar mottagaren emot en DSSS-signal som är filtrerad.

Lokaloscillatorn moduleras med en ofiltrerad spridningskod. Resultatet blir att lokaloscillatorn består av ett helt spektrum av signaler, och alla antennsignaler som ligger runt varje sådan lokaloscillatorsignal kommer att blandas ner till basbandet. Även om det inte finns någon DSSS-signal att blanda ner så finns brus. Basbandssignalen kommer därför att bli mycket brusig.

Fysikaliskt kan detta ses som att DSSS-signalens båda visare och lokaloscillatorns båda visare inte roterar i samma takt. Mottagaren sveper med sina filter så att den i bland missar antennsignalen.

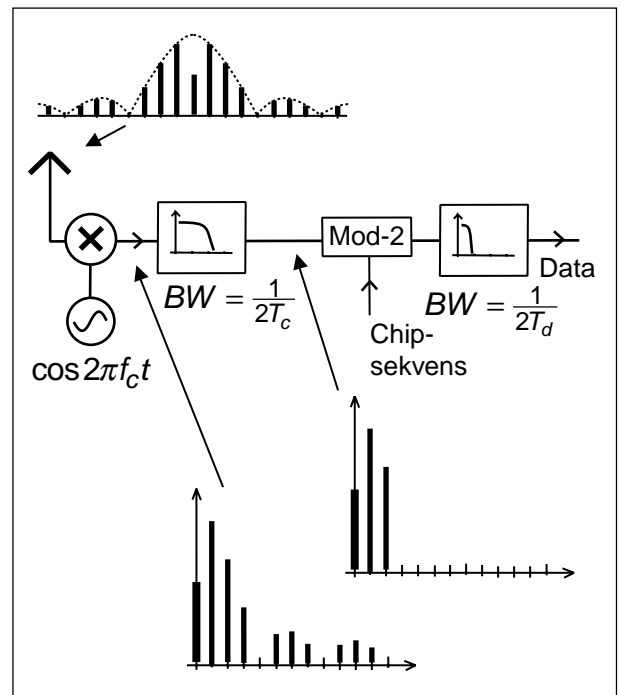
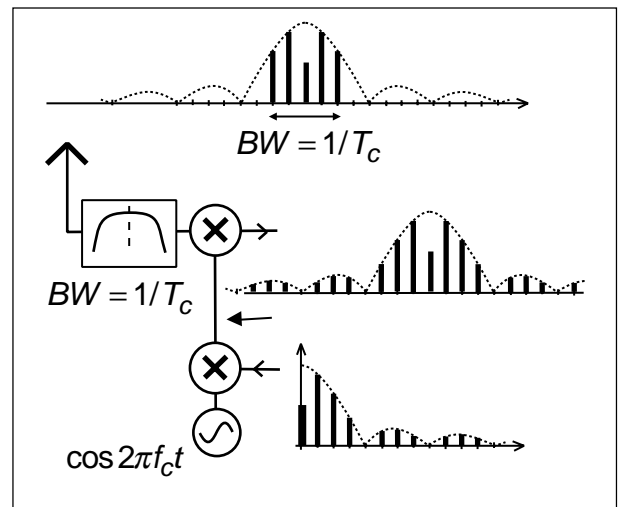
Med ett antennfilter som filtrerar bort bruset utanför nyttosignalens bandbredd får mottagaren optimal känslighet.

En tekniskt enklare metod är att först blanda ner antennsignalen till basband med en fast lokaloscillator. Där filtreras signalen med ett lågpasfilter vars gränshfrekvens är den frekvens som motsvaras av  $2T_c$ . Därefter matas signalen genom en modulo-2-adderare tillsammans med spridningskoden.

Utsignalen från modulo-2-adderaren innehåller den sökta datasignalen tillsammans med brus och störningar i form av sporadiska pulser med chip-periodtiden. Genom att mata denna signal genom ett lågpasfilter vars gränshfrekvens motsvaras av datasignalens dubbla periodtid, så kan datasignalen detekteras på utgången. Detta sista lågpasfilter och beslutskretsen motsvaras av den tidigare beskrivna "integrate and dump"-kretsen.

### Lågpasfiltret bestämmer mottagarens känslighet

Detta sista lågpasfilter bestämmer mottagarens brusbandbredd, som motsvaras av datasignalens periodtid. Bruset blandas ju ner från båda sidbanden.



## 21.7 Ortogonala koder

### Ortogonala koder

Med ortogonala kodord menas att om kodordet multipliceras med sig själv så får vi en enda lång positiv spänning, en "etta", medan om kodordet multipliceras med ett annat kodord så får vi "brus" vars medelvärde blir noll.

### Walsh-koder

En grupp ortogonala koder är Walsh-koderna, se bilden här intill. Detta är en grupp om åtta databitar som ordnats till åtta olika kodord.

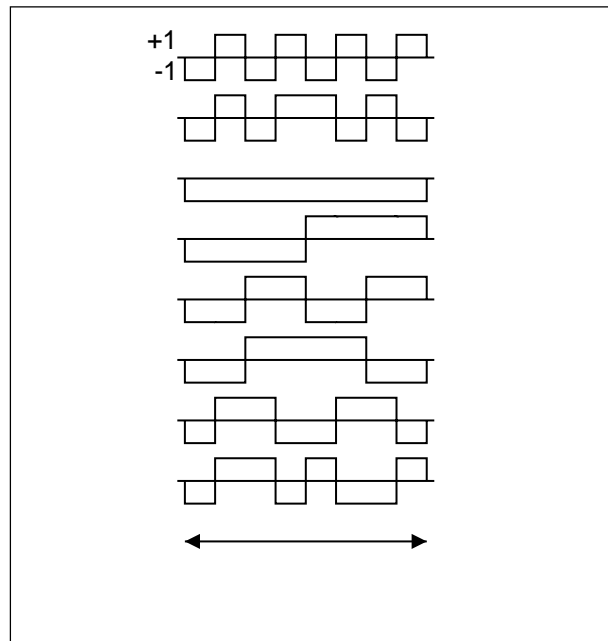
### Walsh-koder skiljer samtalen från basstationen

Längst ner på sidan ser vi två dataströmmar, den ena symboliserad av "10" och den andra av "11". Detta kan vara två trafikkanaler som skall modulera basstationssändaren.

Den första dataströmmen multipliceras med ett Walsh-ord, den andra dataströmmen med ett annat Walsh-ord. Därefter summeras dataströmmarna, och denna summasignal får modulera basstationssändaren.

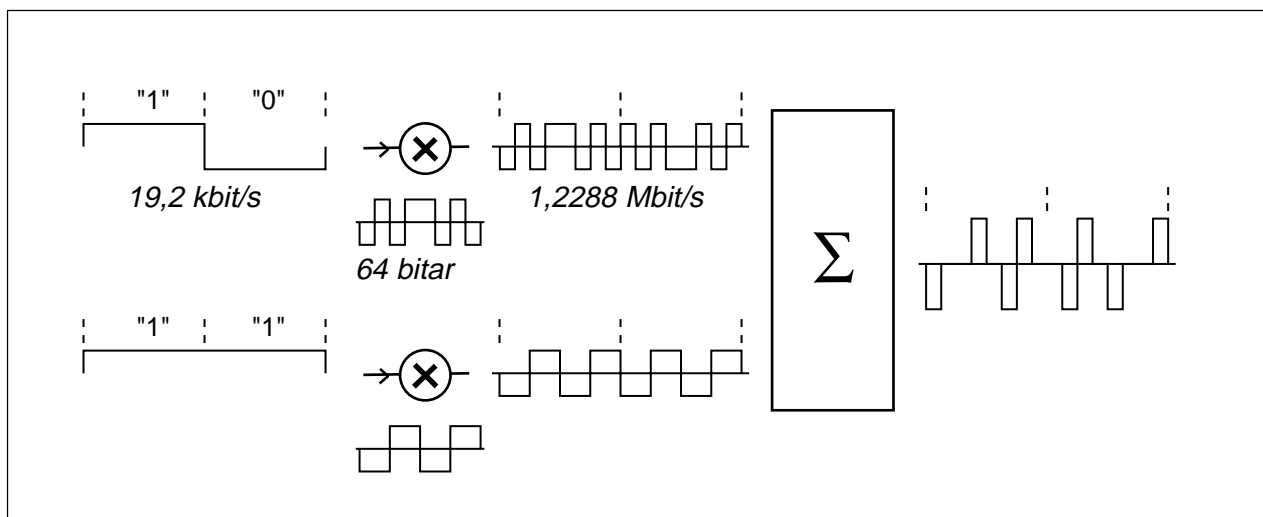
Överst på nästa sida ser vi en del av en mobiltelefon, som tar emot summasignalen. Genom att multiplicera med "sitt" Walsh-ord så återskapas den första bitströmmen.

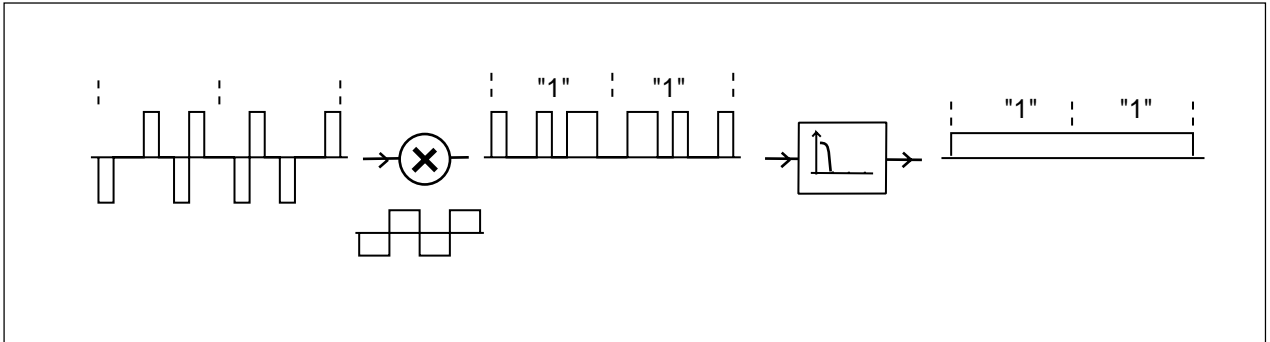
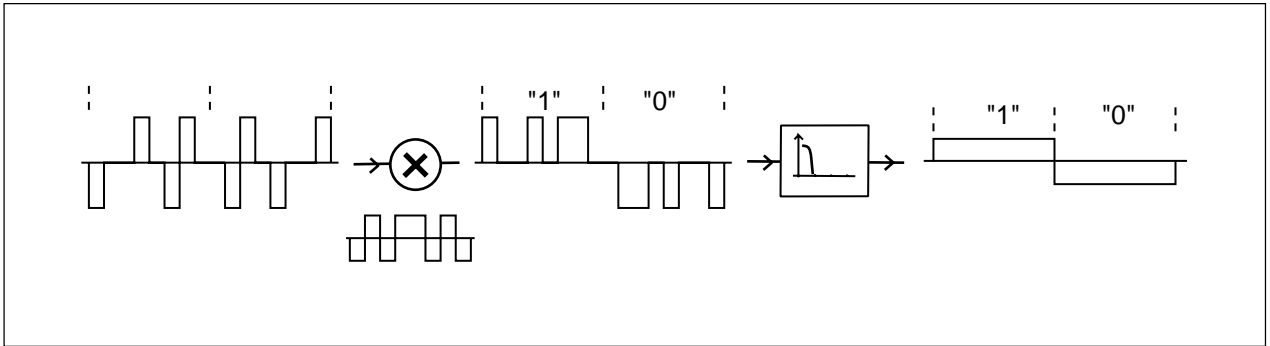
I nästa ruta ser vi den andra mobiltelefonen som återskapar sin bitström ur



summasignalen.

Teoretiskt kan man under ideala förhållanden kombinera hur många bitströmmar som helst på samma sändare. CdmaOne utnyttjar 64 Walsh-kodord (64 bitar långa). Nyttodata har bithastigheten 9,6 kbit/s, som kanal-kodas till 19,2 kbit/s. Efter multiplicering med Walsh-kodordet blir bithastigheten 1,2288 Mbit/s.



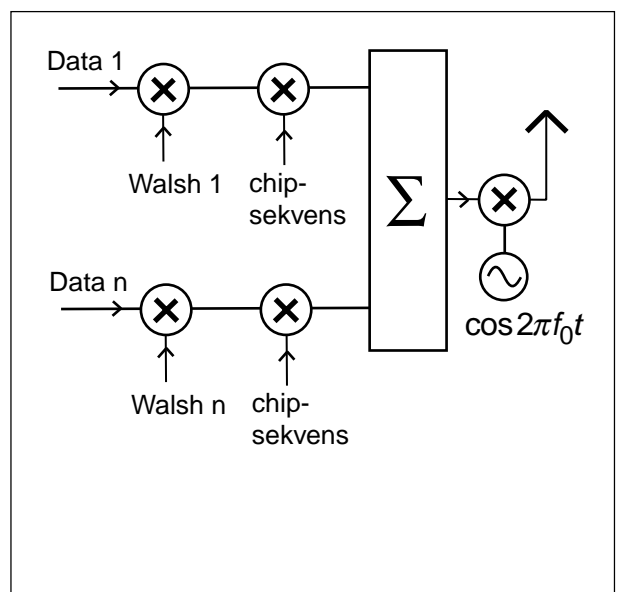
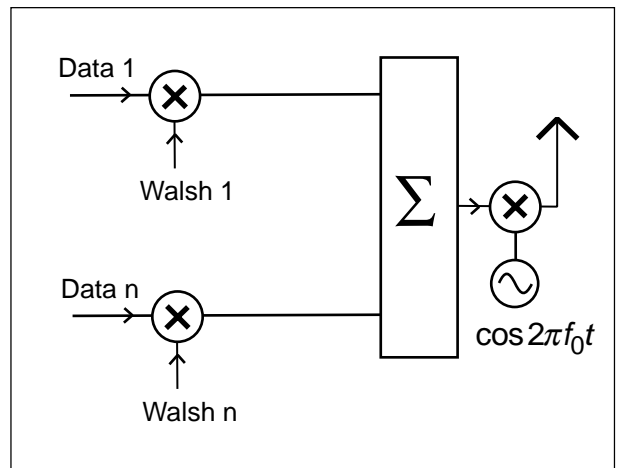


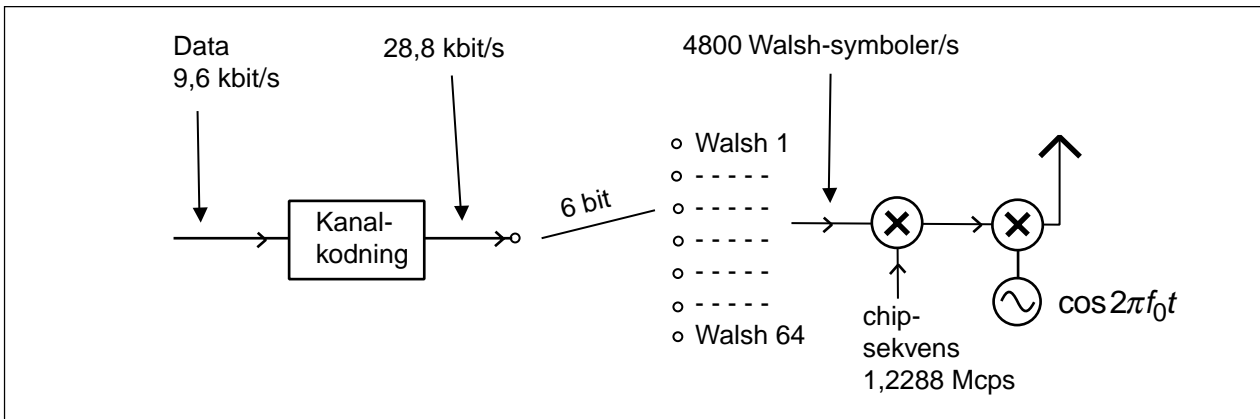
**Långa reflexer klaras med chip-sekvens**

Om jag förskjuter ett Walsh-kodord t.ex. en chip-bittid och multiplicerar med ett annat Walsh-kodord så blir inte längre summan noll. De olika Walsh-kodorden måste alltså vara perfekt synkroniserade i förhållande till varandra. Därför får man problem med långa reflexer, fördröjda signaler som kommer till mottagaren.

För att ge skydd mot långa reflexer kan dataströmmen multipliceras med en chip-sekvens som är utformad för att ge maximalt skydd mot långa reflexer. Nackdelen är att chip-sekvensen inte kan ta bort störningen, den kan bara se till att störningens amplitud minskas med "processing gain".

Basstationerna i cdmaOne skulle teoretiskt kunna sända ut 64 samtidiga kanaler där varje kanal har bithastigheten 19,2 kbit/s. På grund av långa reflexer samt störningar från granncellerna som utnyttjar samma frekvens så ligger ett verkligt värde vid ungefär hälften.





### 21.8 Walsh-modulering

En intressant tillämpning av Walsh-koderna utnyttjas i cdmaOne vid sändning från fick-telefonerna till basstationen.

Talkodaren lämnar 9,6 kbit/s som kanal-kodas till 28,8 kbit/s. Man har en kraftfullare kanalkodning på upplänken. Dataströmmen från kanalkodaren delas upp i 6-bitsord. Därefter väljer man det Walsh-kodord bland 64 olika som fått betyda just dessa 6 databitar, och i stället för 6 databitar skickar man Walsh-kodordet om 64 databitar till sändaren.

Bithastigheten ökar till 307,2 kbit/s, men "symbolhastigheten" minskar. Vi sänder 4800 Walsh-symboler per sekund. Slutligen lägger vi på en chip-sekvens utformad för maximalt skydd mot störningar och långa reflexer.

#### 64 olika mottagare

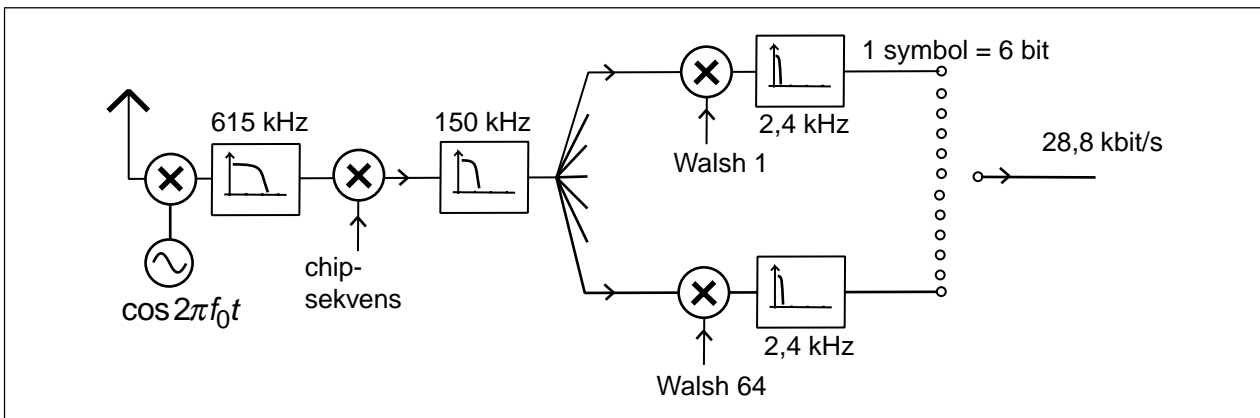
I mottagaren sitter först ett lågpasfilter avpassat för chip-sekvensen, med bandbredden 615 kHz. Därefter delas signalen på 64 olika mottagare som utnyttjar var sitt

av de 64 olika Walsh-kodorden. Den mottagare som tagit emot "sin" Walsh-symbol ger signal genom lågpasfiltret som har gränshastigheten 2,4 kHz, och symbolen omvandlas tillbaka till 6 databitar.

Genom att utnyttja Walsh-kodorden som "symboler" så kan vi ha ett lågpasfilter i mottagaren på 2,4 kHz. Detta innebär att mottagarens brusbandbredd blir 4,8 kHz. Det är denna bandbredd som skall användas vid beräkning av "processing gain". Det är också denna bandbredd som bestämmer nödvändig sändareffekt.

Walsh-kodningen ger möjlighet att konstruera radiomottagare med extremt hög känslighet. "Knepet" består i att utnyttja många parallella mottagare.

Med 256 mottagare, 256 olika Walsh-kodord, blir symbolhastigheten 3,6 ksymb/s och mottagarnas brusbandbredd 3,6 kHz. Med 1024 mottagare kan man minska brusbandbredden till 2,88 kHz.





## **22 — Telekommunikationshistoria**

---

## Från optisk telegraf till optokabel

### Optisk telegraf

Sedan början av 1800-talet fanns i Sverige optisk telegraf. Genom att dra i rep fick man nio luckor att antingen sitta vertikalt och synas eller ligga horisontellt och vara osynliga. Kombinationen av synliga luckor iaktogs med kikare från nästa station, som repeterade till nästa o.s.v. Kommunikationsnät med optisk telegraf fanns mellan Landsort – Stockholm – Gävle, Göteborg – Marstrand och Malmö – Helsingborg. En utbyggnad Stockholm – Göteborg planerades när nyheten om den elektriska telegrafan nådde Sverige.

Den sista optiska telegraflinjen lades ned 1881. Det var sträckan Nya Varvet – Brännö – Vinga i Göteborgs skärgård.

### Elektrisk telegraf

Den optiska telegrafan kunde bara användas i dagsljus när det var klar sikt mellan samtliga stationer på överföringssträckan. År 1832 insåg Samuel Morse att en elektromagnet skulle kunna användas som mottagare vid elektrisk telegrafering. Då skulle man bli oberoende av ljusförhållanden, väder och vind.

I december 1852 överlämnade generalmajor Carl Akrell sin utredning om ett elektriskt telegrafnät till Kungl Maj:t. Under maj månad 1853 började man sätta upp telegrafstolpar och 16 juli 1853 ägde den första provtelegraferingen rum mellan Stockholm och Uppsala.

Den 1 november 1853 öppnades linjen Stockholm – Uppsala för allmän trafik. Detta datum räknas som Televerkets födelse.

Den 13 juni 1854 var det klart mellan Stockholm – Örebro, den 4 juli hade man kommit till Göteborg, och den 28 augusti ända till Malmö.

### Förbindelse med kontinenten

Den 1 januari 1855 invigdes kabeln över (i) Öresund. Det svenska telegrafnätet kopplades ihop med det kontinentala telegrafnätet. Första året befordrades 18 000 telegram och 1857 var man uppe i 54 321 telegram, ett genomsnitt på 150 telegram om

dagen, eller 15 per timme om vi räknar med 10 timmars arbetsdag.

Ungefär samtidigt, 1856, började den första järnvägen byggas i Sverige.

### Först Europa, sedan Amerika

Genom anslutningen till Danmark fick Sverige förbindelse med Preussen och övriga tyska stater, Österrike och Ungern, Nederländerna, Belgien, Storbritannien och Irland, Frankrike samt de italienska staterna Sardinien, Modena, Parma och Toscana. 1856 tillkom övriga italienska stater, Spanien, Turkiet och Donaufurstendömena Serbien, Moldau och Valakiet. 1857 utsträcktes förbindelserna till Portugal och Afrikas nordkust. 1860 kopplades linjen Stockholm – Haparanda ihop med det finska telegrafnätet och Sverige fick direktförbindelse med Finland och Ryssland. Det europeiska nätet utökades med Grekland och Egypten.

I augusti 1857 gjordes det första försöket att lägga en kabel på Atlantens botten, men kabeln gick av. Året därpå gjordes nytt försök med två fartyg som möttes mitt ute på Atlanten, där man skarvade ihop sina kabeländar och började lägga åt var sitt håll. Första försöket misslyckades efter bara 230 km, men man gjorde ett nytt försök en månad senare, och denna gång lyckades det. Den 5 augusti 1858 sändes det första telegrammet mellan Europa och Amerika, den 14 augusti utväxlade engelska drottningen Victoria lyckönskningstelegram med USA:s president James Buchanan, och den 3 september ”brann kabeln av”. Den engelska operatören hade ökat batterispänningen till 500 celler. Det blev överslag i kabeln.

Man konsulterade den engelska professorn William Thomson, som senare adlades till Lord Kelvin. På hans inrådan införde man polväxling mellan spänningspulserna. Morsetecknen hade sänts genom att mata in samma polaritet. Men kabeln var inte korrekt anpassad i någon ända. Man fick reflexer som kunde adderas till avsevärda toppspänningar ute på kabeln. Genom att växla batteripolaritet mellan varje spännings-

**Telegrafi:**

- 1844: Samuel Morse prövar morsealfabetet på telegrafledning mellan Washington och Baltimore.
- 1 nov 1853: Första elektriska telegrafen öppnas i Sverige.
- 4 juli 1854: Telegraflinjen Stockholm – Göteborg klar.
- Norge ansluts 1854.
- 1 jan 1855: Kabel till Danmark och det europeiska nätet med Preussen och övriga tyska stater, Österrike och Ungern, Nederländerna, Belgien, Storbritannien och Irland, Frankrike samt de italienska staterna Sardinien, Modena, Parma, och Toscana. Året därpå anslöts övriga italienska stater, Spanien Turkiet, Serbien, Moldau, Valakiet. 1857 nådde utbyggnaden Portugal och Afrikas nordkust.
- 1857: Första försöket att lägga atlantkabel.
- 5 aug – 3 sept 1858: Första fungerande atlantkabeln som brann av.
- 1858: Över 100 000 trästolpar i det svenska telegrafnätet. Problem med röta i stolparna.
- 1860: Europeiska telegrafnätet utvidgas till Grekland och Egypten.
- Nya försök att lägga atlantkabel. Den 27 juli 1866 fick Sverige telegrafförbindelse med Amerika. 1875 skickades 450 telegram, 1889 var antalet uppe i 9000 telegram.
- 1871: Optiska telegrafen på Marstrand och Arholma byts mot elektrisk telegraf.
- 1881: Sista optiska telegrafen läggs ner, till Vinga i Göteborgs skärgård.

puls så minskas dessa toppspänningar. Tekniken att utforma spänningspulserna för bästa möjliga överföring kallas basbandskodning. I dag behöver vi inte basbandskodning för att undvika överslag, men däremot för att utforma signalpulserna så att de får så lång räckvidd som möjligt, t.ex. på telekablarna från telestationen till abonnenten vid ISDN.

Under åren 1861 – 1865 var USA upptaget av inbördeskriget, men i juli 1865 gjordes ett nytt försök med atlantkabel, som misslyckades. Året därpå, den 27 juli 1866,

lyckades man. Dessutom hittade man kabeln från föregående år och skarvade in en kabelstump så att man nu hade två fungerande kablar över Atlanten. Allt sedan dess har Europa och alltså även Sverige haft telegrafisk kontakt med Amerikanska kontinenten.

**Maxwell förutser radiostrålning**

Maxwell (1831 – 1879) utgick från arbeten som utförts av Coulomb, Ampère, Faraday och Gauss, men införde förskjutningsströmmen i Ampères lag, eftersom han ansåg att detta fattades. En konsekvens var att energi skulle kunna utbreda sig som elektromagnetiska vågor.

Maxwell beskrev sina teorier 1864 inför Vetenskapsakademien i London och publicerade en bok i ämnet 1873. Men först när Hertz (1857 – 1894) utförde sina experiment, åtta år efter Maxwells död, började man acceptera Maxwells teorier.

**Marconi bygger första radiosystemet**

Marconi (1874 – 1937) var först med att bygga en fungerande anordning för trådlös överföring av meddelanden på längre avstånd. Året var 1895, och medan man på universiteten koncentrerade sig på små antenner (hög frekvens) och stor reflektor för

att öka räckvidden, som i bästa fall kunde bli 20 meter, så gjorde Marconi tvärt om. Han byggde stora antenner (låg frekvens) och fick en räckvidd på 400 m.

Marconis sändare och mottagare bildade ett komplett radiokommunikationssystem. Sändaren nycklades med en morsenyckel, och mottagaren skrev ner morsetecknen som långa och korta streck på en pappersremsa.

**Radiosignaler över Atlanten**

År 1896 var Marconi 22 år. I hans hemland Italien fanns ingen som var intresserad av hans experiment. Därför gav han sig av till England, där han 1897 bildade Marconi Wireless Telegraph Company. Han ökade räckvidden till 30 km (över Bristolkanalen) och i december 1901 lyckades han sända signaler över Atlanten till Amerika. År 1909 fick han Nobelpriset i fysik, endast 35 år gammal.

**Radiotelegrafi:**

- Första försöken med radiokommunikation inom örlogsflottan gjordes 1899. År 1901 fanns radiostation på 27 örlogsfartyg, med kustradiostationer i Karlskrona, Oskar Fredriksborg och Fårösund.
- Televerkets första kustradiostation (långvåg) anlades på Nya Varvet i Göteborg 1911. Sändareffekt 16 kW. Därefter byggdes stationer i Vaxholm 1914, Härnösand 1916 och Boden 1919.
- Centralt belägen station anlades i Karlsborg 1918 (långvåg). Försök gjordes med radiotelegrafförbindelse med Nordamerika, men man fick bara kontakt under gynnsamma vågutbredningsförhållanden.
- Från 1919 utnyttjades Karlsborg för radiotelegrafförbindelser med Europa för att avlasta ledningsnätet.
- 1923 öppnades långvågssändaren i Grimeton, 17 kHz, som var i drift till efter 2:a världskriget. Är i dag museum och hålls fortfarande i funktionsdugligt skick.

### Telefonen

Telegramtrafiken ökade snabbt på 1870-talet. I USA utlyste det största telegrafbolaget, Western Union, ett pris på 1 miljon dollar till den som utvecklade ett system för samtidig överföring av flera meddelanden (telegram) på en och samma tråd (multiplex telegrafi).

Såväl Alexander Graham Bell som Elisha Grey försökte hitta lösningar genom att samtidigt sända olika toner över en telegrafledning (FDM, Frequency Division Multiplex). Båda insåg snart att systemet med toner även skulle kunna användas för överföring av tal, men de reagerade helt olika. Bell, som var talpedagog och arbetat med att lära döva tala, fortsatte entusiastiskt för att förverkliga talöverföring, medan Grey, som arbetade i nära kontakt med telegrafbolaget Western Union, inte ville lägga ner tid på något så ointressant som en talande telegraf.

Grey var medveten om Bells experiment och lämnade in en patentansökan på talöverföring, troligtvis mest för att blockera Bells möjligheter att störa hans egen utveckling av multiplex telegrafi. Det är ödets ironi att Bells patentansökan kom in på morgonen den 14 februari 1876, bara några timmar innan Greys ansökan anlände till patentkontoret i Washington.

Patentet kom att tillfalla den uppfinnare som själv trodde på talöverföringens möjligheter. Grey arbetade vidare med multiplex telegrafi och vann det av Western Union instiftade priset.

I slutet av 1876 ville Bell sälja sitt telefonpatent till Western Union, men de avböjde. "We are not interested in a scientific toy".

### Telefonen i Sverige

I slutet av 1877 kom de första Bell-apparaterna till Sverige. De sattes upp på lokala, fasta förbindelser i Stockholm, Göteborg, Malmö och ytterligare några orter. På samma sätt som vid telegrafsystemen använde man enkelledare med jord som återledare. Eftersom den dynamiska hörtelefonen även användes som mikrofon begränsades räckvidden till 50 km.

### Telefonväxlar

Sveriges första telefonstation öppnades i september 1880 i Stockholm av USA-ägda Stockholms Bell Telefon AB, som använde Bell-utrustning. Ett år senare öppnade Televerket en telefonstation för departementen och de centrala ämbetsverken. År 1883 bildades det helt svenskägda Stockholms Allmänna Telefon AB som köpte sin utrustning från Telefonaktiebolaget L M Ericsson. Stockholms Allmänna erbjöd betydligt lägre abonnemangsavgift än Bellbolaget. Konkurrensen medförde en snabb ökning av antalet abonnenter. År 1885 fanns 5000 telefonapparater i Stockholm, vilket var fler än i någon annan stad i världen.

I Sverige rådde vid denna tid, till skillnad från flertalet andra länder, i det närmaste fri etableringsrätt för lokala telefonnät. År 1885 fanns 50, och 1890 mer än 400 lokala telefonnät som i många fall byggdes och drevs av abonnenterna själva i form av kooperativa föreningar. Antalet abonnenter ökade explosionsartat, och ända fram till våra dagar har Sverige legat i topp vad gäller antalet telefoner per invånare.

### Kolkornsmikrofonen

Bells första telefon hade en enda talomvandlare som utnyttjades som dynamisk mikrofon när man pratade, och som dynamisk hörlur när man lyssnade. Ett tidsdelat system där man antingen pratade eller lyssnade (i radiosammanhang benämnt *simplex*, medan man vid datakommunikationen kallar detta *semiduplex*, halv duplex).

Den dynamiska mikrofonen omvandlar infallande ljudvågor till elektrisk signal, men verkningsgraden är låg. Den svaga elektriska signalen dämpas i telefonrädarna, och även när man talade högt i mikrofonen blev räckvidden inte längre än 50 – 100 km.

År 1878 lämnade Th A Edison in patentansökan på en kolkornsmikrofon, ett patent som förvärvades av Western Union i försök att konkurrera ut Bell Telephone. Men Bell Telephone köpte ett patent av F Blake på en mikrofon som påminde om Edisons. År 1881 fulländade engelsmannen H Hunnings kolkornsmikrofonen som sedan sett ut på samma sätt ända in i våra dagar.

**Telefonstationer:**

- 1876: Bell erhöill patent på telefonen.
- 1877 kom de första Bell-apparaterna till Sverige. Elektrodynamisk hörtelefon/mikrofon. Enkeltrådig förbindelse med återledare i jord. 50 km räckvidd.
- Första telefonstationen öppnades i september 1880 i Stockholm.
- 1880-talet: Försök med automatiska växlar i Sverige.
- 1909: Första telefonstationen med centralbatteri (Helsingborg, 10 000 nummer). Telefonerna blev mindre och enklare eftersom man inte behövde batteri och ej heller signalinduktor. Anrop till stationen gjordes genom att lyfta luren.
- 15 jan 1924: Första stora automatstationen öppnas, Norra Vasa på Norrtullsgatan 46 i Stockholm. 5000 abonnenter, med Ericssons 500-väljare. Var i drift ända till 1985.
- 1926: Första stationen med Televerkets koordinatväljare. 3500 abonnenter i Sundsvall.
- 1934: Tjänsten Fröken Ur införs i Stockholm. 1936 kom Fröken Väder.
- 1934: Små automatstationer på landsbygden, max 50 nummer.
- 1941: Standard 41, standardiserat utförande för småstationer.
- 1948: A-204-typen för större stationer.
- 1949: Första rikstrafiken automatiseras, mellan Norrköping – Linköping, tack vare utökad förbindelsekapacitet med koaxialkabel.
- 1954: Helautomatiskt Stockholm – Göteborg. Över 10 000 samtal per dag.
- 1957 förevisar Bell Labs den första programstyrda (SPC, Stored Program Control) telefonstationen. SPC-stationer installeras i övriga världen (ej i Sverige) under 1970-talet.
- 1965: Från Stockholm ringer man helautomatiskt till delar av Danmark och Norge. Under resten av 1960-talet infördes helautomatiska utlandssamtal även från Göteborg och Malmö, med Belgien, Frankrike, Nederländerna, Schweiz, Väst-Tyskland. Under trafiksvag tid (lågtrafik) gick det även att ringa helautomatiskt till Finland och Storbritannien.

### Telefonstationer (forts):

- 1 juni 1972: Sista manuella stationen, i Arjeplog-området, automatiseras. Automatiseringen av lokaltrafiken påbörjades 1924, närområdestrafiken började automatiseras 1940 i Boråsområdet, riksautomatiseringen påbörjades 1949 och internationella automatisering påbörjades 1965.
- 1977: Första AXE-stationen prövas i telenätet, i Södertälje.
- 1 sept 1980: Första reguljära AXE-stationerna öppnas, Ulriksdal i Stockholm och Sävedalen i Göteborg, på dagen 100 år efter den första telefonstationen.
- Maj 1985: Gemensam kanalsignalering, GK-signalering (CCITT #7, SS7), införs.

### Kolkornsmikrofonen – en förstärkare

Vad som behövdes för att telefonera över längre avstånd var någon form av förstärkare för de elektriska signalerna, en aktiv komponent.

Kolkornsmikrofonen är både mikrofon och förstärkare. Ljudvågorna sätter membranet i rörelse. Membranet komprimerar kolpulvret och styr resistansen och därmed strömmen genom kolkornsmikrofonen. Likströmmen genom kolkornsmikrofonen innehåller en överlagrad växelström, talsignalen, vars effektnivå ligger närmare 40 dB över ljudeffekten i luften.

Dagens moderna telefoner har återgått till dynamisk mikrofon (eller elektretmikrofon) förstärkt av flera transistorförstärkarsteg. Allt detta fick man direkt i kolkornsmikrofonen.

Ett enkelt experiment som visar att kolkornsmikrofonen är en aktiv komponent, inte bara en effektiv mikrofon, är att koppla ett batteri, en dynamisk hörlur och en kolkornsmikrofon i serie. Håll kolkornsmikrofonen 10 cm framför den dynamiska hörluren och det börjar tjuta. Du får självsvängning. Denna självsvängning är inte möjlig med mindre än att totala dämpningen i slingan ljudvågor – kolkornsmikrofon – dynamisk hörlur – ljudvågor är mindre än ett, d.v.s. det måste finnas förstärkning som kompenserar för den dynamiska hörlurens verkningsgrad samt effektförlusten när ljudvågorna går 10 cm i

luften.

Tack vare förstärkningen på ca 40 dB i kolkornsmikrofonen samt övergång från enkeltrådsteknik med jord som återledare till dubbelledningar, så ökades räckvidden till 1000 km, i vissa fall ända till 4000 km, två tredjedelar av sträckan New York – San Francisco.

Först 1915, när man införde radorör som ytterligare förstärkte signalen, kunde man telefonera mellan New York och San Francisco.

### Rikslinjenät

Telefonledningarna Stockholm – Göteborg blev klara den 1 augusti 1889, och i snabb takt byggde man Stockholm – Malmö, Stockholm – Härnösand, Härnösand – Sollefteå, Göteborg – Malmö, Göteborg – Jönköping, Örebro – Karlstad, Helsingborg – Kristianstad, Gävle – Falun m.fl. År 1893 öppnades förbindelser till Oslo och Köpenhamn.

### Transmission

- Linjen Stockholm – Göteborg blev klar 1 augusti 1889. Förutsatte att abonnenterna hade dubbelledning och kolkornsmikrofon.
- Sommaren 1891 började kablar läggas i mark. Cementblockskanalisation, i Stockholm.
- 1903 fick Sverige telefonförbindelse med Tyskland via Danmark. Från Stockholm nådde man till Hamburg, från Göteborg till Bremen och från Malmö till Berlin.
- 1903 – 1907 utökades långdistansnätet med 3 mm och 4,5 mm riksledningar.
- Rikssamtal beställdes via telegrafledning, tjänstesamtal förbjöds under 10 – 17, lägre samtalstaxa mellan 24 – 07 för att få jämnare fördelning av trafiken på de överbelastade rikslinjerna.
- Första pupiniserade kabeln i Sverige lades 1909 mellan Malmö och Lund.
- 1917 utväxlades 360 000 samtal under dagtid per månad på 11 ledningar mellan Stockholm – Göteborg. Samtal måste beställas en dag i förväg.
- 1919 lades kabel med 2 pupiniserade dubbelledningar mellan Trelleborg – Rügen. Förstärkare med elektronrör i Malmö och Stralsund. Första förstärkaren i svenska telenätet.
- 1920 lades en 126 km lång undervattenskabel mellan Gotland och Nynäshamn. 1947 lades coaxialkabel med en tub mellan Västervik – Visby. 23 telefonkanaler och 3 ljudradiokanaler. År 1977 försågs kabeln med undervattensförstärkare och kapaciteten höjdes till 120 förbindelser.
- 1920-talet: Järnvägen elektrifierades och elloken störde blanktråd dragen på stolplinjer längs järnvägen.
- 1921 – 23 ersattes blanktråden med en 540 km lång kabel Stockholm – Göteborg med 6 förstärkarstationer. Troligtvis innehöll kabeln 400 par, d.v.s. 200 förbindelser. Detta motsvarade kapaciteten i 7 – 8 fullbelagda enkelstolplinjer med blanktråd (12 våningar).
- 1924 lades kabel Stockholm – Norrköping, 1926 Stockholm – Gävle och 1929 Norrköping – Nässjö.
- 1930-talet: Kabel Nässjö – Malmö. 1933 elektrifierades norra stambanan. Kabeln fortsatte från Gävle norrut. 1937 kom man till Umeå. 1938 drogs Sundsvall – Östersund. 1942 var man framme i Luleå och Boden.
- Från 1937 innehöll kablarna ett speciellt trådpar för frekvenser upp till 9000 Hz, för rundradion.



### Stolplinjer med blanktråd

På den tiden hade alla längre telefonledningarna oisolerade ledare av 3 mm eller 4,5 mm koppar- eller järntråd, dragna som luftlinjer mellan telefonstolpar (jämför dagens starkströmsnät). Ledningens dämpning beror nästan uteslutande på resistiv värmeutveckling i ledarna,  $(r \cdot i^2)$ . Tjocka ledare har lägre resistans och det stora avståndet mellan ledarna gav ledningen hög karakteristisk impedans  $Z_0$ . Den höga karakteristiska impedansen innebär lägre ström för viss överförd signaleffekt och därigenom lägre dämpning.

En blanktrådslinje med 4,5 mm kopparledare dämpade signalen 0,017 dB/km. Man kom alltså 1000 km utan att dämpningen uppgick till mer än 20 dB. Järntråd med 4 mm diameter har avsevärt högre dämpning, 0,1 dB/km. Man övergick senare till 2,5 mm bronstråd, som dämpar 0,055 dB/km men inte töjer sig lika mycket som koppar. Största problemet med blanktrådsledningar är att ledarna töjer sig och slår ihop när det blåser, så att det blir kortslutning. Därför måste trådarna spännas med jämna mellanrum. Det är högt underhållsarbete på blanktrådslinjer.

År 1990 besökte jag en raststuga belägen i fjällvärlden norr om Tärnaby. Från stugan gick en 60 km lång blanktrådsledning till närmaste telestation. Vanlig telekabel kan bara användas på avstånd upp till ca 5 km från telestationen. Sedan blir dämpningen för hög. Blanktråd är fortfarande enda tillgängliga tekniken för att erbjuda ett fast telefonabonnemang till hushåll som ligger långt från telestationen och saknar el.

### Pupinisering

I en telekabel ligger ledarna tätt ihop, bara åtskilda av isoleringen runt ledarna. Ledningen får därför låg karakteristisk impedans  $Z_0$ . Dessutom kan ledarna inte göras lika tjocka som blanktrådsledningarna. Dämpningen blir därför avsevärt högre i telekabeln.

En typisk telekabel kan ha kopparledare med 0,8 mm diameter. En sådan kabel har dämpningen 0,7 dB/km vid frekvensen 800 Hz. Redan vid kabellängder på 30 km är dämpningen besvärande.

Ungraren Pupin visade i början av 1900-talet hur man höjer en kabels karak-

teristiska impedans genom att öka ledningsinduktansen med spolar som kopplas in på jämna avstånd, pupinisering. Genom att i kabeln ovan koppla in pupiniseringsspolar med värdet 178 mH i de båda ledarna med 1600 m mellanrum ökar  $Z_0$  från 400 ohm till 2000 ohm. Strömmen sjunker så mycket att kabeldämpningen minskar till 0,2 dB/km. Pupinisering möjliggjorde telefonering på kabellängder upp till 100 km. Men priset är att kabeln uppför sig som ett lågpasfilter med gränshänsen 3080 Hz. Man vinner i kabeldämpning, men bara under 3 kHz. På högre frekvenser ökar dämpningen kraftigt vid pupinisering.

Den första pupiniserade kabeln i Sverige lades 1909 mellan Malmö och Lund.

### Telefonförbindelse med Tyskland

Sedan 1903 gick det att ringa till Tyskland via Danmark. Men från Stockholm kom man bara till Hamburg, medan Malmö kunde få förbindelse med Berlin. Sommaren 1909 gjordes försök med starkströmsmikrofon. Man genomförde telefonsamtal mellan Stockholm – Berlin och Stockholm – Paris, men överhörning mellan ledningarna gjorde att samtalet hördes på så gott som alla ledningar i hela norra Tyskland.

År 1919 färdigställdes en pupiniserad sjökabel med tre förbindelser Trelleborg – Rügen. Kabeln utrustades med förstärkare i Malmö och Stralsund. Detta var första gången elektronrör användes i Sverige som förstärkare i telenätet.

I oktober 1920 fick Gotland telefonförbindelse med fastlandet genom en 126 km lång pupiniserad undervattenskabel mellan Ire på Gotland och Nynäshamn.

Efter första världskriget skulle tågsträckan Stockholm – Göteborg elektrifieras. Telefonledningarna var blanktråd på stolplinjer utmed järnvägen. Men blanktrådsledningar fångar upp störningar från elloken. Därför behövde man antingen flytta stolplinjen så den kom på större avstånd från järnvägen, eller ersätta stolplinjen med kabel som är mindre känslig för störningar. Man valde kabel.

Åren 1921 – 1923 lades en 540 km lång kabel med sex förstärkarstationer på sträckan Stockholm – Göteborg.

**Utlandstrafik telefoni:**

- 1909 försök med starkströmsmikrofon på sträckan Stockholm – Berlin samt Stockholm – Paris.
- 1920-talets första år: Telefonförbindelse enbart med Danmark, norra Finland över Haparanda, Norge och Tyskland.
- 1925: Schweiz, Tjeckoslovakien, Österrike.
- 1927: Belgien, Frankrike, Storbritannien.
- 1928: Luxemburg, Nederländerna, Ungern.
- 1929: Finlandskabel över Ålands hav till hela Finland. Irland, Italien, Polen, Portugal, Spanien.

**Interkontinentala förbindelser:**

- 1928: Radiotelefonförbindelse med USA, Kanada, Kuba, Mexiko.
- 1929: Radiotelefonförbindelse med Argentina.
- 1956: Första Atlantkabeln för telefoni, 36 simultana samtal. De skandinaviska länderna delade på en förbindelse.
- 10 juni 1962: Telstar, första försöken med telekommunikationssatellit.
- 1965: Första reguljära telefontrafiken via Early Bird-satelliten
- 1971: Invigning av jordstationen i Tanum.
- 1988: Första optokabeln USA – England/Frankrike, 1300 nm, 280 Mbit/s (3840 förbindelser per fiber, troligtvis 10 fibrer i vardera riktningen), 50 km mellan regenereringsutrustningarna.

**Interkontinental telefontrafik**

Kablarna mellan Europa och Amerika gick bara att använda för telegrafi. Dämpningen var alldeles för hög för överföring av tal.

Marconis lyckade försök att skicka radiosignaler över Atlanten ledde till intensiv utveckling av radiotekniken för att få fram kraftiga radiosändare för interkontinental radiotrafik. Frekvensen skulle vara så låg som möjligt, extrem långvåg, och effekten så hög som möjligt. Denna utveckling kulminerade 1923 med radiostationen i Grimeton, där sändaren består av en roterande omformare, växelströmgenerator, som alstrar frekvensen 17,2 kHz och lämnar 200 kW sändareffekt. Att skicka tal på så låg frekvens med en så kraftig sändare är i det närmaste omöjligt. Endast data-signalering var möjlig, telegrafi eller telex.

Samma år, 1923, upptäckte några sändaramatörer som var förvisade till de "oanvändbara frekvenserna över 3 MHz", att det vissa tider på dygnet gick att få förbindelse över Atlanten med låg sändareffekt. Detta ledde till intensiv utveckling av radioteknik för frekvenser inom kortvågsbandet, 3–30 MHz, och man byggde världsomspännande radionät, först för telegrafi, sedan även för telefoni.

Kortvågsradio gjorde det möjligt att få telefonförbindelse med andra kontinenter. Men alla skall dela på samma radiofrekvenser, och förbindelserna fungerar bara under de timmar på dygnet som man har gynnsamma vågutbredningsförhållanden (påverkas av solfläckarnas antal och solhöjden, d.v.s. årstid och tiden på dygnet).

**Telefonikabel till USA**

Första gången man kunde ringa på kabel från Europa till USA var 1956. Denna kabel hade 36 telefonlinjer, och de skandinaviska länderna delade på en linje.

**Satellit**

Man hann lägga ytterligare en telefonikabel med 36 telefonlinjer i Atlanten innan man år 1962 skickade upp den första kommunikationssatelliten, Telstar, som klarade att överföra ett tv-program, eller 240 simultana telefonsamtal. Det var via denna satellit som Kennedys begravning direktsändes i europeisk tv.

**Optokabel**

År 1988 driftsattes den första optokabeln över Atlanten, och i dag finns ett världsomspännande optonät.

**Koaxialkabel:**

- 1949: Kabeln Stockholm – Norrköping togs i drift, systemkapacitet 2,6 MHz med 600 förbindelser och 9,6 km förstärkaravstånd.
- 1952: Kabeln Stockholm – Norrköping förlängs till Göteborg, systemkapacitet 4 MHz, 960 förbindelser, 9,6 km förstärkaravstånd.
- 1958: Kabeln Stockholm – Västerås – Örebro försågs med 12 MHz-utrustning, 2700 förbindelser, 4,8 km förstärkaravstånd.
- 1963: Transistorn introduceras som aktiv komponent.
- 1971: Kabeln Västerås – Örebro förses med 60 MHz-utrustning, 10800 förbindelser, 1,5 km förstärkaravstånd.
- 1975: Sista koaxialkabeln läggs, mellan Umeå och Luleå.
- 1977: Hela sträckan Stockholm – Göteborg försedd med 60 MHz-utrustning.
- 1975 – 1979: Samtliga rörförstärkare byts mot transistoriserade.

**Koaxialkabel**

På 1920-talet övergick man från stolplinjer till kabel i rikslinjenätet, från 3,5 mm kopparbronstråd till 0,8 mm kopparledare. Man sparade koppar som kunde användas till fler kablar, men tunnare kopparledare gjorde att dämpningen blev högre. Det behövdes förstärkare som förstärkte talsignalerna, en förstärkare för varje samtalskanal.

Efter 2:a världskriget utvecklades "radioteknik på kabel". Man fick möjlighet att överföra flera simultana samtal genom att modulera upp talsignalerna på olika frekvensband, FDM (Frequency Division Multiplex). Men det krävdes en kabel som kunde överföra brett frekvensområde, koaxialkabeln.

Koaxialkabeln innebar ytterligare minskat behov av koppar, men de höga frekvenserna dämpades kraftigare. Förstärkarna måste placeras tätare. Men eftersom alla samtal gick på samma förbindelse, man hade ju bara en förbindelse gemensam för alla telefonsamtal, så räckte det med en

enda bredbandsförstärkare i förstärkarpunkterna.

Koaxialkabeltekniken med FDM innebar att antalet förbindelser i rikslinjenätet kraftigt ökade. Därför vågade man på försök automatisera rikstrafiken mellan Norrköping – Linköping år 1949. Orsaken till att man dröjde så länge med att automatisera på sträckor med brist på telefonlinjer var helt enkelt att televäxlarna inte klarade att hantera massanrop när det saknades lediga linjer. Därför expedierades trafiken till Finland och Storbritannien år 1965 helautomatiskt under lågtrafik, men manuellt under högtrafik.

Åren 1949 – 1975 lades ett koaxialkabelnät på de trafiktunga huvudstråken i riksnätet. Utökning av trafikkapaciteten skedde genom att gå högre i frekvens, och placera förstärkarna tätare, tills man på några sträckor hade 60 MHz-utrustning som klarade 10 800 simultana telefonsamtal, men då behövdes förstärkare med 1,5 km mellanrum.

**Radiolänk:**

- 1955: Första försöket med radiolänk, Ystad – Bornholm.
- 1959: Första ”riktiga” radiolänken Mora – Falun, 600 telefonkanaler.
- 1966: Radiolänknät 960 kanaler, 6 parallella länkar, Stockholm – Göteborg – Malmö
- 1966 – 1972: Nya länkar för 1800 telefonkanaler.
- 1973 – 1977: 2700-kanalslänkar
- 1977: Första digitala radiolänken, 2 Mbit/s.
- 1978: Första 8 Mbit/s-länken.
- 1981 infördes digital gruppväljare i AXE. Man fick IST, Integrated Switching and Transmission, och behövde digitala riksförbindelser.
- 1983: Första digitala riksförbindelsen, 140 Mbit/s Stockholm – Norrtälje med radiolänk.
- 1984: Stockholm – Göteborg – Malmö digitaliseras med radiolänk.
- 1986: Radiolänkar utgör 67 % av befintligt 140 Mbit/s-nät.
- 1988: Antalet 140 Mbit/s-länkar har fördubblats på två år.
- 1989: Utbyggnaden med radiolänk för 140 Mbit/s avstannar till förmån för optokabel.

**Radiolänkar**

Under 1950-talet utvecklades mikrovågstekniken och man började bygga ett radiolänknät för att distribuera tv-program till tv-sändarna. Parallellt installerades radiolänkar som överförde telefonisamtal i stället för tv. Samma FDM-signal som överfördes på koaxialkabel fick modulera radiolänken.

På detta sätt fick vi ett rikstäckande

radiolänknät för telefoni, med förgreningar till alla 50 tv-stationer med högmast. På huvudstråken installerades ända upp till 6 parallella radioutrustningar på gemensam radiolänkantenn, och med 2700 telefonkanaler per radioutrustning så var kapaciteten minst lika hög som i 60 MHz koaxsystemen.

## PCM

- Slutet av 1960-talet: 24 kanals PCM-system installeras i USA och England, i storstäder, mellan lokalstationerna.
- 1970: 20 st 24-kanalsystem installeras i norra Stockholm.
- CEPT-standard utarbetas för 30 kanaler. Sedermera även standard för 8 Mbit/s (120 kanaler), 34 Mbit/s (480 kanaler), 140 Mbit/s (1920 kanaler) och i sinom tid även 565 Mbit/s (7680 kanaler), PDH-teknik.
- 1972: 30-kanalsystem installeras i södra Stockholm. Behövs i trunknäten mellan lokalstationer i storstäderna.

## Digitalisering av transmissionen

Telefonnätet bestod av lokalstationer, dit alla abonnenter som bodde inom ungefär 5 km avstånd var anslutna. Ytterst få abonnenter har längre kabel än 3 km till sin lokalstation.

Lokalstationer fanns i alla storleksklasser. I glest befolkade områden bodde kanske bara 10 abonnenter inom 5 km radie. I storstäderna betydligt fler.

I storstäderna fanns behov av riktigt stora lokalstationer. Ändå begränsade man storleken till 20 000 – 35 000 abonnenter, av hanteringsmässiga och säkerhetsskäl.

I en stad av Stockholms storlek med över 1 miljon abonnemang behövdes många lokalstationer. Normalt skulle lokalstationen klara lokaltrafiken. Man räknade med att max 10% av abonnenterna ringde samtidigt, och att merparten var samtal inom samma lokalstation. Men i Stockholm fördelas lokaltrafiken över alla lokalstationerna. Majoriteten av alla samtal inkluderade mer än en lokalstation. Därför fanns stort behov av teleförförbindelser mellan lokalstationerna, trunklinjer.

Trunknätet bestod av tjocka blyisolerade kablar med kanske 1000 – 2000 ledningspar, dragna i betongrör eller tunnlar i marken. Men det började bli trångt. Man behövde teknik för att överföra flera samtal på samma ledningspar.

I rikslinjenätet utnyttjades FDM-teknik på koaxialkabel. Men FDM ändrustningen var

dyr. Den innehöll mängder med filter, oscillatorer och moduleringsutrustning. Dessutom ville man använda befintliga ledningspar i blykablarna, inte byta till koaxialkabel. Transistortekniken öppnade möjligheter att överföra samtalen som digitala signaler.

## PCM

Talsignalen filtrerades, samplades, kvantiserades och kodades i digitala 8-bitsord, 8000 ggr per sekund. Pulsmodulering, PCM, med bitmängden 64 kbit/s. I mitten av 1960-talet klarade transistorerna att generera digitala bitströmmar med bithastigheten 1,5 Mbit/s. I en sådan bitström fick man plats med 24 telefonsamtal, där varje samtal utnyttjade en liten del av tiden, TDM (Time Division Multiplex). Sådan utrustning började tillverkas och installeras främst i de amerikanska storstäderna, och detta blev amerikansk standard. Man prövade även sådan utrustning i Stockholm.

Europa ville ha ordning och reda. Man standardiserar först och bygger sedan. Inom CEPT, samarbetsorgan för de europeiska statliga post- och teleförvaltningarna, utarbetades en standard med bithastigheten 2 Mbit/s. Utvecklingen gick framåt. Transistorerna blev snabbare.

Denna bithastighet klarade att överföra 32 talkanaler, men man nöjde sig med 30 talkanaler och utnyttjade de övriga två till synkronisering och signalering. Det ameri-

### Datakommunikation

- **Datel:** 1962 öppnades en ny tjänst, dataöverföring med modem. Datel är vad vi använder i dag, modem anslutet till vanligt telefonabonnemang. På den tiden hade Televerket monopol på utrustning som fick anslutas till telenätet, varför modemanslutning var en särskild tjänst med särskild taxa. 1983 släpptes monopolet för modem upp till 1200 bit/s. 1988 upphörde monopolet även för högre hastigheter. Utrustningen skall dock vara godkänd, T-märkt. T-märkningen hanteras numera av Post- och Telestyrelsen.
- **Datex:** 1974/75 byggdes provdatanät i Stockholm, Göteborg och Malmö. Preliminär start 1 okt 1980, kommersiell drift 1 sept 1981. Datex är ett separat digitalt kretskopplat nät med snabb uppkoppling, uppbyggt kring AXB-stationer (AXE för data). Asynkrona terminaler från 50 bit/s till 1200 bit/s. Synkrona från 600 bit/s till 9600 bit/s. Användes bl.a. för bankomater.
- **Datapak:** 1984 öppnades ett X.25-nät för trafik med internationella databaser, i första hand för forskningsvärlden. Datapak är ett X.25-nät med hastigheten 64 kbit/s. Terminalerna var antingen asynkrona uppringda Datel-förbindelser, 300 eller 1200 bit/s, eller synkrona datautrustningar med hastigheterna 2400, 4800 eller 9600 bit/s anslutna via fyrtråd (full duplex). Försök gjordes att utnyttja nätet för Sparbankens Minuten-terminaler.

kanska 24-kanalssystemet "stal" databitar ur talkanalerna för signalering, varför bara 7 databitar i varje 8-bitsord kan garanteras riktiga. Det är denna begränsning som givit oss 56 kbit/s-modem. Annars skulle vi haft 64 kbit/s-modem.

Att Europa avvek från amerikansk standard trodde man inte skulle innebära någon begränsning eftersom utrustningen bara användes lokalt i storstädernas trunknät. Man matade in 24 eller 30 analoga telefonsamtal som omvandlades till digital signal, överfördes, och omvandlades tillbaka till analog signal. Men den fortsatta digitaliseringen av telenäten har byggt vidare på dessa båda grundstandarder. Därför lever vi i en splitt-rad värld där Europa utgår från 2 Mbit/s (E-1), kombinerar 4 st till 8 Mbit/s (E-2), 4 st till 34 Mbit/s (E-3) och 4 st till 140 Mbit/s (E-4), medan USA utgår från 1,5 Mbit/s (T-1), 4 st kombinerar till 6 Mbit/s (T-2), 7 st kombinerar till 45 Mbit/s (T-3) och 3 st kombinerar till 140 Mbit/s (T-4).

### Digitala förbindelser för datanät

Samtidigt började datakommunikation växa fram. Det uppstod behov av förbindelser anpassade för överföring inte av tal, utan av digital information. Men hela rikslinjenätet var uppbyggt för telefonsamtal med FDM-teknik, på koaxialkabel eller radiolänk.

Att skapa separata digitala förbindelser i befintliga koaxialkablar var inte att tänka på. Lösningen blev radiolänk. Att installera extra radioutrustning i befintliga antennmaster och radiolänktorn var en billig metod att införa ett rikstäckande digitalt kommunikationsnät för datatrafik.

### Digital transmission på koaxialkabel:

- 1984 – 1990: Alla reservkoaxialkablar förses med digital utrustning. Klenkoax med 4,5 km förstärkaravstånd gav 34 Mbit/s (480 förbindelser), grovkoax med 4,5 km förstärkaravstånd gav 140 Mbit/s (1920 förbindelser).
- 1985: 60 MHz-kabeln Stockholm – Örebro – Göteborg förses med digital utrustning, 565 Mbit/s (7680 förbindelser) med 1,5 km förstärkaravstånd.
- 1988: Beslutades att det analoga koaxialkabelnätet skulle vara avvecklat senast 1995.

### IDN, Integrated Digital Network

Två parallella nät, ett analogt för telefoni och ett digitalt för datakommunikation, gav problem när man ville låna transmissionskapacitet av varandra. Därför föddes tanken under 1970-talet att även överföra all telefontrafik mellan telefonstationer i digital form. Ett integrerat trunknät för både telefoni och data, ett integrerat digitalt nät, IDN (Integrated Digital Network).

### IST, Integrated Switching and Transmission

Fortfarande arbetade telefonväxlarna med analoga talsignaler. Själva "växeln" bestod av elektromekaniska reläer. Växelns "hjärna" hade under 1960-talet på andra håll i världen börjat ersättas med datorer, SPC-stationer (Stored Program Control), men i Sverige var även hjärnan, logiken, fortfarande relästyrd.

Utvecklingen av AXE hade som mål att åstadkomma en televäxel där både hjärnan och själva växeln bestod av halvledare, transistorer. Man såg framför sig hur man kunde gå med talet i digital form genom hela växeln ut på trunknätet, IST (Integrated Switching and Transmission).

### ISDN, Integrated Services Digital Network

Nästa logiska steg var att gå digitalt hela vägen ända hem till abonnenten. Ett flexibelt nät som skulle klara alla olika typer av tjänster, så länge de kunde omvandlas till digital form, ISDN (Integrated Services Digital Network).

### AXE – ett sätt att växa

Utveckling av helt elektroniska växlar pågick på många håll i världen. AXE blev unik därför att den var uppbyggd "så som ett telenät tänker". Denna modularitet var så framgångsrik att AXE fortfarande är världens främsta och mest flexibla plattform som styrenhet och växel i alla de olika mobilnätstandarder som finns.

Vid starten 1980 var första upplagan av AXE en SPC-station. Själva växeln, gruppväljaren, bestod av reläer. Men varje enhet gick att uppgradera i den takt som kunderna, teleoperatörerna, själva önskade. Redan 1981 kom en digital gruppväljare. Då ökade behovet av digital transmission även för telefontrafiken i trunknätet. Och behovet tillgodosågs med digitala radiolänkar.

### När flygplanen landade på Arlanda

Första digitala riksförbindelsen inkopplad i en AXE-station med digital gruppväljare gick från Stockholm norrut mot Norrtälje. Det berättas att när flygplanen skulle landa på Arlanda och flög genom radiolänkstråket så fick man reflexer i flygplanet och flervägsutbredning, som gav bitfel. AXE-stationen hängde sig och man fick göra stor återstart (stäng av datorn och starta igen). Men man införde snabbt motåtgärder som klarade att hantera bitfelen. En AXE-station klarar normalt att gå i årtal utan stor återstart.



**Optokabel:**

- 1979: Första försöket med opto, 3,5 km längd.
- 1982: Storskalig utbyggnad påbörjas med opto i Stockholm, Göteborg och Malmö, multimode, 850 nm, 8 fibrer, 34 Mbit/s, relativt korta avstånd.
- Fiberantalet ökas till 12 för att få in kabel-tv. 140 Mbit/s för telefoni och 280 Mbit/s för kabel-tv.
- 1985: Singlemode-teknik i 1300 nm, 140 Mbit/s, 35 km utan regenerering.
- 1985/86: Första långväga optokablarna Jönköping – Nässjö – Växjö, och Helsingborg – Landskrona – Kävlinge.
- 1988: Optokabel till Gotland, 92 km, 140 Mbit/s, med optofibrer för totalt 7000 telefonförbindelser.
- 1988: Utbyggnad påbörjas med 565 Mbit/s.
- 1988: Optofiber USA – England/Frankrike, 1300 nm, 280 Mbit/s (3840 förbindelser), 50 km mellan regenereringsutrustningarna. Televerket delägare.
- 1990: Börjar användas som sjökabel, 1550 nm, 565 Mbit/s, med 100 – 250 km mellan förstärkare/regenereringsutrustning.

**Digitalisering av koaxialkabeln**

Det ökade behovet av digitala förbindelser gjorde att många ville digitalisera koaxialkabelnätet, främst de stora stråken som var utbyggda med 60 MHz FDM-utrustning. Men FDM-utrustningen klarade 10 800 samtidiga telefonsamtal. Digitalisering gav en maximal bithastighet på 565 Mbit/s, vilket bara räcker till 7680 telefonsamtal. Digitalisering innebar en markant sänkning av antalet telefonförbindelser i rikslinjenätet, och det rådde redan brist på förbindelser. I början av 1980-talet var det ofta spännande om man försökte ringa rikssamtal under "bråd timme" (kl 10, kl 13 och kl 20, efter Aktuellt).

**Optokabeln räddningen**

Räddningen blev optofibertekniken som blev användbar på längre sträckor i rikslinjenätet. Om inte optofibertekniken kommit, då hade det i dag rått stor brist på förbindelsekapacitet. Bristen hade varit så stor att det är svårt att föreställa sig hur dagens samhälle då hade sett ut.

## Utvecklingen i rikslinjenätet

### PDH

Man utgick från 64 kbit/s, det antal databitar som måste överföras för ett telefonsamtal. Om förbindelsen klarade 2 Mbit/s fick man plats med 30 telefonsamtal. Om förbindelsen klarade 8 Mbit/s fick man plats med 120 st 64 kbit/s-förbindelser, eller 4 st 2 Mbit/s-förbindelser o.s.v. På detta sätt kunde man inom en 565 Mbit/s-förbindelse kombinera olika sorters digitala förbindelser, telefonsamtal och dataförbindelser, med bithastigheter på 64 kbit/s, 2 Mbit/s, 8 Mbit/s, 34 Mbit/s eller 140 Mbit/s.

Olika datahastigheter kombinerades med multiplexorer. För att bygga upp en 565 Mbit/s bitström åtgick många multiplexorer.

En nackdel med PDH-tekniken var svårigheten att övervaka förbindelserna. Det var telefonväxlarna som gav larm om telefonsamtalen inte kom fram. Men detta gällde bara telefontrafiken. Man visste helt enkelt inte om dataförbindelserna fungerade som de skulle. Det var kundens sak att felövervaka och felanmäla.

### SDH

I USA utvecklades på 1980-talet en förbättrad form av PDH med kvalitetsövervakning, anpassad till amerikanska bithastigheter, som kallades SONET (synkront optiskt nät). År 1988 presenterade CCITT en ny standard kallad SDH (Synkron Digital Hierarki) som byggde på erfarenheter från SONET.

Alla PDH-förbindelser på 140 Mbit/s och 565 Mbit/s är i dag moderniserade till SDH med bithastigheten 155 Mbit/s STM-1, 622 Mbit/s STM-4, eller 2,5 Gbit/s STM-16, där STM står för SDH Transport Modul.

De enskilda förbindelserna packas i VC (Virtuell Container), som finns i storlekar från 1,5 Mbit/s (VC-11) och 2 Mbit/s (VC-12) till 622 Mbit/s (VC-16). Dessa virtuella containrar staplas i en STM transportmodul.

### ATM

Många typer av datakommunikation är skurformig. Hög överföringshastighet behövs, men bara i bland. Att hyra en fast SDH-förbindelse dimensionerad för den maximala överföringshastigheten är olönsamt.

I paketförmedlande datanät delar många kunder på en förbindelse med hög överföringshastighet. Varje kund skickar sina paket över förbindelsen, och upplever förbindelsen som en höghastighetsförbindelse under förutsättning att alla andra kunder inte skickar sina paket exakt samtidigt.

ATM är en cellförmedlande teknik, paketförmedling där paketen är lika stora, och därför kallas celler. ATM-tekniken kan användas direkt på optofibern, eller stoppas in i en VC (virtuell container) och bäras av ett SDH-nät.

### Ethernet

Ethernet är en paketförmedlande teknik som länge använts i lokala datanät (LAN) för att knyta ihop persondatorer inom företag, eller numera även i hemmet hos den som har flera datorer. Ethernet-tekniken har utvecklats mot allt högre bithastigheter, 10 Mbit/s, 100 Mbit/s och numera även 1 Gbit/s, Gigabit Ethernet.

Ethernet skickas direkt på kabeln, koppelkabel, koaxialkabel eller optofiber. Men Ethernet-paket kan även bäras av SDH.

Ethernet är underlägsen ATM i funktionalitet, men på grund av sin enkelhet kan Gigabit Ethernet i vissa sammanhang vara fullt tillräcklig och därför konkurrera med ATM.

### TCP/IP

Även IP är ett paketförmedlande protokoll, som tidigare behövde SDH, ATM, Ethernet eller liknande som "bärare".

Fördelen med ATM eller SDH som bärare är att man kan blanda IP-trafik och 2 Mbit/s-förbindelser för telefontrafik på samma kabel. Numera börjar man köra telefoni över IP-protokollet. Då behövs inte ATM som bärare. Det räcker med ett enklare transportprotokoll under IP-protokollet (IP på opto).

I ett LAN sammanbinds datorerna via flera protokoll: NetBios, Novell, IP. Alla dessa protokoll bärs samtidigt av Ethernet-protokollet.

**Våglängdsmultiplexering**

Utvecklingen inom optotekniken har gått framåt. I dag överför man inte bara en enda ljusstråle på optofibern, utan flera ljusstrålar med olika frekvens (färg, våglängd). På detta sätt kan varje ljusstråle modularas med 2,5 Gbit/s och man kan ha upp till 16 eller 32 olika ljusstrålar på varje optofiber.

**Ersätter ATM och SDH**

ATM- och SDH-tekniken har utvecklats för att man skall klara att lägga ihop många dataförbindelser med olika bithastighet till en enda dataström med hög bithastighet, så att man klarar sig med en enda höghastighetsförbindelse. Problemet uppstår när olika dataförbindelser skall droppas av på vägen.

När man har optokablar med kanske 200 eller 400 optofibrer, och man på varje fiber kan ha upp till 32 individuella ljusstrålar, så kan varje kund få sin egen ljusstråle. Behovet att låta många kunder dela på en höghastighetsförbindelse bortfaller.

Tekniken med många optofibrer och våglängdsmultiplexering gör att vi är tillbaka till det ursprungliga telenätet: Varje uppkoppling är en äkta fysisk förbindelse, som inte delas i tiden mellan flera kunder. Detta ger ett telenät med enklare logik, något som underlättar såväl nätplanering som drift och underhåll.

## Utvecklingen i accessnätet

Från kunden går kopparledningen (ett kopparpar) till närmaste telefonstation. Kunden har en egen ledning som ansluter honom/henne till telenätet. Dessa kopparledningar kallas accessnätet, eller lokalnätet. Accessnätet har sett ut på samma sätt i 100 år.

### Abonnentbärfrekvens, ABBF

Även i lokalnätet, från telestationen ut till abonnenten, uppstod brist på förbindelser. Därför utvecklades på 1980-talet bärfrekvensteknik, ABBF (Abonnentbärfrekvens) liknande den som användes på koaxialkablarna, men för ett enda telefonsamtal. Telekabeln utnyttjades för ett vanligt telefonabonnemang, medan ytterligare ett abonnemang överfördes med FDM-teknik på hög frekvens. Detta gav två telefonabonnemang på ett enda kabelpar.

### Abonnentmultiplex, RSM

Bristen på ledningar i lokalnätet är störst närmast telestationen. Ett sätt är att gå med 2 Mb/s PCM-teknik och utnyttja två ledningspar, ett par i vardera riktningen, för 30 abonnenter. Närmare abonnenterna, där det inte är lika fullt i kabelrören, övergår man till vanlig abonnentanslutning. Sådana enheter kallas RSM (Remote Subscriber Multiplex).

### Utbrutet abonnentsteg, RSS

I en RSM reserveras transmissionskapacitet även när samtal inte är uppkopplade. Ytterligare besparing i transmission gör man om den utbrutna enheten bara skickar vidare de samtal som är uppkopplade. Man koncentrerar trafiken, en koncentrator. En sådan enhet kallas RSS (Remote Subscriber Stage) och är egentligen en del av AXE-växeln, abonnentsteget, som flyttats närmare abonnenterna.

Genom att utnyttja RSS-enheter behöver man inte längre ha telefonväxlar inom 5 km från abonnenterna. Ursprungligen fanns nästan 7000 telefonväxlar i det svenska telenätet. Merparten av växlarna var små, färre än 300 abonnenter. I dag är antalet växlar ca 100, och man har placerat RSS-enheter, utbrutna abonnentsteg, där det tidigare fanns telefonväxlar med egen intelligens.

### ISDN

Ett annat sätt att få flera abonnemang på samma kopparpar är att digitalisera signalerna, så som man gjorde med PCM-tekniken på 1970-talet. ISDN utnyttjar digitalteknik, inte för att få 30 förbindelser plus signaleringskanal, utan i en enklare form för att få två förbindelser plus signaleringskanal på ett kopparpar. Den digitala kanalen skapas med 1970-talsteknik. Bithastigheten uppgår till 160 kbit/s, fördelade på två talkanaler om 64 kbit/s och en signaleringskanal på 16 kbit/s, samt synkroniseringsdatabitar m.m.

### ISDN – en liten RSS

Vid ISDN skickas två telekanaler i digital form med TDM-teknik, och dessutom en signaleringskanal. Ute hos abonnenten kan man ha upp till åtta teleabonnemang, med var sitt telefonnummer. Men det går bara att ringa på två av teleabonnemangen samtidigt. ISDN är ett litet utbrutet abonnentsteg placerat ute hos kunden.

### ADSL

Vid abonnentbärfrekvens, ABBF, utnyttjas kabeln för ett vanligt analogt telefonabonnemang. Dessutom skapar man en extra transmissionskanal över det hörbara frekvensområdet.

Vid ADSL behåller man på samma sätt den analoga telefonkanalen inom det hörbara frekvensområdet, men dessutom skapas en digital transmissionskanal över det hörbara frekvensområdet. Den digitala transmissionskanalen skapas med allra senaste modulationstekniken, varför man uppnår bithastigheter från 500 kbit/s ända upp till 50 Mbit/s, beroende på typ av ADSL-teknik och kopparkabelns längd.

# INDEX

---

- 3GPP, 265
- 8PSK, 259
  
- A3, 103
- A5, A5/1, A5/2, 104
- A8, 103
- ABBF, 308
- abonnemang, 116
- access burst, 147
- ACELP, 155
- adaptiva antenner, 275
- ADSL, 308
- AGCH, 141
- AMPS, 14
- ANSI-41, 20, 22, 32
- ANSI-41, 265
- antennvinst, 180
- ARFCN, 39, 135
- ARIB/TTC, 30, 264
- ARQ, 218
- ATDMA, 264
- ATM, 306
- AUC, 87, 103
- AXE, 304
  
- base channel, 136, 175
- BCCH, 139
- BCH, 140
- BCS, 238, 242
- BG, Border Gateway, 240
- blockkod, 204
- BSC, 74, 83, 89
- BSS (Base Station System), 86
- BTS, 73, 83, 89, 238
  
- C/I, 162
- CATT, 265
- CCCH, 140
- CCITT #7, 50, 56
- CDMA 450, 13
- cdma2000/X1, cdma2000/X3, 274
- cdmaOne, 19, 266, 274
- CDPD, 26
- CEIR, 87
  
- Cell Broadcast, 222
- cell, 73, 82
- cellmönster, 164
- CELP, 155
- CEPT, 18, 29
- chipsekvens, 281
- CODIT, 264
- coherence bandwidth, 192
- comfort noise, 158
- Comvik 450, 11
- COST231, 185
- CRC, 203
- CS-1 CS-4, 244
- CT1, 36
- CT2, 36
  
- D-AMPS, 19
- dBd, dBi, 180
- DCCH, 144
- DCH (Data Clearing House), 118
- DCS 1800, 21, 39
- DECT (DCT 1800), 30, 36
- DFE-utjämnare, 197
- dispersion, 192
- DPCCH, 275
- DPDCH, 275
- DS-CDMA, 265
- DTMF, 49
- DTX, 158
- duplex, 128
  
- ECSD, 27, 256
- EDGE, 27, 32
- EDGE/UWC-136, 31
- effektreglering, 272
- EGPRS, 27
- E-GSM, 38
- EIR, 87
- eko, 192
- equalizer, 196
- Ethernet, 306
- ETSI SAGE, 101
- ETSI, 29, 264

- 
- FACCH, 144
  - faltningskod, 205
  - F-burst, 147
  - FCCH, 138
  - FD-CDMA, 29
  - FDD, 29
  - FDM, 127
  - Fire-kod, 204
  - FMA1, FMA2, 264
  - FPLMTS, 28
  - FRAMES, 264
  - frekvensdiversitet, 190
  - frekvenshopp, 210
  - FSK, 169
  
  - GFSK, 169
  - GGSN, 238
  - GIWU, 88
  - GK-signalering, 50
  - globalt medelvärde, 182
  - GMSC, 76, 87
  - GMSK, 171
  - GP, guard period, 146
  - GPRS, 25
  - Gray-kodning, 259
  - Groupe Spécial Mobile (GSM), 18
  - GRX-operatör, 62, 240
  - GSM 450, 13
  - GSM 1800, 21
  - GSM AMR, 159, 216
  - GSM Association (GSMA), 62, 101
  - GSM EFR, 69, 152, 156
  - GSM FR, 152, 156, 212
  - GSM MoU, 62
  - GSM MR, 159
  - GSM SA (Service Area), 81
  - GSM-CTS, 37
  - GSM-modem, 232
  - GSM-Pro, 35
  
  - hinderdämpning, 182
  - HLR, 77, 83
  - HSCSD, 24, 233
  - hybrid ARQ, 218
  - hybridkodare, 152
  - Hyperframe, 137
  
  - idle, 143
  - IDN, 304
  - IMEI, 97
  - i-mode, 26, 30
  - IMSI attach, IMSI detach, 113
  
  - IMSI, 96, 108, 112, 117
  - IMT-2000, 28, 32, 254, 265
  - INAP, 57
  - interleaving, 210
  - IR, Incremental Redundancy, 255
  - IS-54, 19
  - IS-95, 19
  - IS-136, 19
  - ISDN, 49, 304, 308
  - ISI, intersymbolinterferens, 192
  - isotrop antenn, 180
  - IST, 304
  - ISUP, 53, 57
  - ITU, ITU-T, ITU-R, 28
  
  - Kc, 103
  - Ki, 103
  - klusterstorlek, 164
  - kontantkort, 116
  - korrelationsbandbredd, 192
  - korta reflexer, 188, 190, 282
  - kvantisering, 151
  
  - LA, Link Adaptation, 255
  - LA, Location Area, 82, 108, 139
  - LAI, 97
  - LIC, 53
  - log-normal fädning, 182
  - Lokalstation, 52
  - lokalt medelvärde, 182
  - långa reflexer, 192, 282
  - långsam fädning, 182
  - länkbudget, 181
  
  - MAC, 242
  - MAHO, 133
  - makrocell, 164
  - MAP, 78
  - MC-CDMA, 265
  - ME, 72, 90
  - mikrocell, 165
  - minicell, 164
  - mjuk avkodning, 199, 209
  - MLSE, 198, 209
  - MM, Mobility Management, 250
  - Mobitex, 16, 33
  - modem, 230
  - MPE, 155
  - MRG, 33
  - MRT, 33
  - MS (Mobile Station), 72, 86, 90, 238, 249
  - MSC SA (Service Area), 81

*PERANT AB*

- 
- MSC, 75, 83, 87
  - MSISDN, 95, 117
  - MSRN, 95, 111
  - MT, 238
  - MTA, 10
  - MTB, 10
  - MTC, 10
  - MTD, 11
  - MTL, 10
  - MTP, 57, 78
  - multiframe, 137
  - MXE, 88
  
  - NADC, 19
  - Netz-C, 15
  - NMC, 91
  - NMT 450, 12
  - NMT 900, 12
  - normal burst, 146
  - NT, 53
  - nödsamtal, 66, 72
  
  - Okumura, Okumura-Hata, 184
  - OMC, 91
  - OQPSK, 172, 271
  - ortogonala koder, 286
  
  - PACCH, 248
  - PBCCH, 248
  - PC, 28
  - PCH, 140
  - PCM, 302
  - PCM-kodning, 129
  - PCN, 21
  - PCS, PCS 1900, 21,39
  - PCU, 238
  - PDC, PDC 1500, 20, 30
  - PDC-P, 26, 30
  - PDH, 306
  - PDP context, 250
  - PDTCH, 248
  - P-GSM, 38
  - PHPS, 30
  - picocell, 165
  - polarisationsdiversitet, 190
  - PPCH, 248
  - PRACH, 248, 251
  - processing gain, 267, 281
  - PSET, 251
  - PSTN, 49
  - PTCCH, 248
  - P-TMSI, 250
  
  - punkterad faltningskod, 209
  
  - QAM, 171
  - QPSK, 171, 271
  
  - RA, 250
  - RACE, 264
  - RACH, 134, 140
  - Radio Block, 242
  - Radiocom 2000, 15
  - RAI, 250
  - RAKE-mottagare, 267
  - RAND, 103
  - Rayleigh-fädning, 190
  - reflex, 186
  - R-GSM, 38
  - roaming, 63
  - roamingavtal, 80
  - RPE, 154
  - RSM, 52, 308
  - RSS, 52, 308
  - rumsdiversitet, 190
  - röstbrevlåda, 114
  
  - SACCH, 144
  - sampling, 151
  - S-burst, 147
  - SCCP, 57, 78
  - SCH, 139
  - SCP, 78
  - SDCCH, 144
  - SDH, 306
  - SGSN, 238
  - SID, 158
  - signaleringskanal, 48
  - SIM, 90, 103
  - Site, 73
  - skuggfädning, 182
  - skyddslucka, 146
  - SMS, 57, 222
  - SM-SC, 224
  - SMS-GMSC, 226
  - SMS-IWMSC, 224
  - SMS-MO/PP, 224
  - SMS-MT/PP, 226
  - småcell, 164
  - snabb fädning, 190
  - soft handover, 268
  - softer handover, 269
  - Special Mobile Group (SMG), 18
  - spridningskod, 281
  - SRES, 103

SS (Switching System), 86  
SS7, 50, 56  
superframe, 137

TA, Timing Advance, 134  
TACS, 14  
tail bits, 146, 194, 261  
TBF, 250  
TCAP, 57, 78  
TCH, 143  
TCP/IP, 306  
TD-CDMA, 29, 265, 275  
TDD, 29  
TDM, 127  
TDMA frame number, 104  
TDMA/136, 19, 31, 254  
TDMA-ram, 128  
TE, 238  
Tetra, 34  
TFI, 250  
tidlucka, 126  
tidsdispersion, 192  
TMN, 92  
TMSI, 96, 105, 108  
TR46.1, 264  
trafikkanal, 48  
trafikområde, 82  
transitstation, 52  
triplett, 103  
trunknät, 52  
TRX, 73  
träningssekvens, 146, 195  
TT, Toll-Ticketing, 117  
TTA, 264  
TT-post, 117  
TUP, 53, 57

UMTS, 29, 264, 275  
upprepningsavstånd, 162  
USF, 242  
utjämnare, 196  
UTRA, 29, 264, 275  
UTRAN, 29, 275  
UWC-136, 32  
UWCC, 31

VAD, 158  
Walsh-koder, 269, 286  
Walsh-modulering, 268, 288  
WARC 79, 18  
WCDMA, 29  
Viterbi, 198, 208

VLR, 77, 87  
vocoder, 152  
voice activity, 272  
VSELP, 155

överlämnat samtal, 76