

---

# Xarxes de gran abast sense fils

---

PID\_00265426

Antonio Satué Villar

---

Temps mínim de dedicació recomenat: 7 hores

---



Universitat  
Oberta  
de Catalunya

**Antonio Satué Villar**

Doctor enginyer de  
Telecomunicació per la Universitat  
Politécnica de Catalunya l'any  
2007. Des de l'any 1994 és  
professor de l'Escola Universitària  
Politécnica de Mataró i secretari  
acadèmic des de l'any 2009.

La seva línia de recerca se centra  
principalment en l'àmbit del  
reconeixement de locutor i les  
aplicacions biomètriques. En aquest  
sentit, participa en diversos  
projectes a escala nacional i  
europea.

La revisió d'aquest recurs d'aprenentatge UOC ha estat coordinada  
pel professor: Ferran Adelantado Freixer (2019)

Segona edició: setembre 2019

© Antonio Satué Villar

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realització editorial: FUOC

*Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.còpia, o per altres mètodes, sense l'autorització*

# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>Objectius</b> .....	6
<b>1. Xarxes 2G</b> .....	7
1.1. Panoràmica de les xarxes 2G .....	7
1.2. GSM .....	8
1.2.1. Evolució .....	9
1.2.2. Arquitectura .....	10
1.2.3. Autenticació .....	22
1.2.4. Canals i estructura de trames .....	24
1.2.5. Accés .....	31
1.2.6. Funcionament en trucada .....	33
1.2.7. Traspàs .....	36
1.2.8. Localització. Tarifació .....	37
<b>2. Xarxes 2.5G</b> .....	39
2.1. Introducció .....	39
2.2. GPRS .....	41
2.2.1. Arquitectura .....	41
2.2.2. Context PDP .....	43
2.2.3. Gestió de la mobilitat .....	45
2.2.4. Funcions de la PCU .....	46
2.3. Serveis sobre GSM/GPRS .....	47
2.3.1. Serveis de missatges .....	47
2.3.2. Serveis de posicionament .....	51
<b>3. Xarxes 3G</b> .....	52
3.1. Panoràmica de les xarxes 3G .....	52
3.2. CDMA .....	54
3.2.1. Avantatges d'un accés CDMA .....	54
3.2.2. Diagrama de blocs .....	55
3.2.3. Problemàtica d'un accés CDMA .....	57
3.2.4. Macrodiversitat .....	58
3.2.5. Seqüències pseudoaleatòries .....	59
3.2.6. Capacitat .....	62
3.3. UMTS .....	63
3.3.1. Arquitectura .....	63
3.3.2. Interfícies UMTS .....	66
3.3.3. Canals i estructura de trames .....	67
3.3.4. Penetració 3G .....	68

<b>4. LPWAN (<i>low power wide area networks</i>)</b> .....	70
<b>5. Comunicacions per satèl·lit</b> .....	73
5.1. Antecedents històrics .....	73
5.2. Conceptes bàsics .....	75
5.3. Sistemes d'òrbita mitjana .....	78
5.4. Sistemes d'òrbita geostacionària .....	82
5.5. Sistemes d'òrbita baixa .....	84
<b>Activitats</b> .....	87
<b>Exercicis d'autoavaluació</b> .....	87
<b>Solucionari</b> .....	89
<b>Glossari</b> .....	90
<b>Bibliografia</b> .....	92

## Introducció

En aquest mòdul, dividit en cinc parts, parlarem de les xarxes sense fil de gran cobertura: les xarxes de gran abast. El primer apartat recull les xarxes de segona generació i fa una descripció detallada de la xarxa de telefonia mòbil GSM, que va ser la que va popularitzar la telefonia mòbil a Europa i és la base de les xarxes més modernes. El sistema GSM es va pensar per transmetre veu, tot i que té opcions per transmetre dades a baixa velocitat. Amb l'aparició d'internet i la consolidació de les tecnologies digitals, les persones hem tingut accés a molts continguts que volem compartir amb els altres. Així, si volem enviar una fotografia entre dos telèfons mòbils o un fitxer entre dos ordinadors aprofitant la xarxa GSM, cal dotar-la de més velocitat de transmissió. Aquí és on sorgeix la xarxa GPRS, construïda sobre la xarxa GSM. En el segon apartat parlem de GPRS i també descrivim dos dels serveis més populars: el de missatgeria i el de posicionament. El tercer apartat tracta de les xarxes de tercera generació (UMTS, en el cas europeu) que permeten velocitats molt elevades i el quart apartat fa una breu repàs d'un dels nous paradigmes de les xarxes de gran abast: les xarxes de gran abast de baixa potència (*low power wide area networks*, LPWAN).

Finalment, dediquem un apartat a les xarxes per satèl·lit. Aquestes xarxes són les que tenen una major cobertura i donen suport a serveis tan populars com el sistema de posicionament global GPS. També són d'especial importància en llocs on no és possible (o és molt car) donar cobertura amb antenes terrestres.

## Objectius

Els continguts d'aquest mòdul han de permetre als estudiants:

- 1.** Enumerar els serveis característics de les fases evolutives de GSM.
- 2.** Descriure l'arquitectura de GSM i les funcions dels seus elements.
- 3.** Descriure les característiques i funcions de la targeta SIM.
- 4.** Aplicar les normes de protecció davant radiacions electromagnètiques.
- 5.** Descriure el procés d'autenticació d'usuaris en l'estàndard GSM.
- 6.** Descriure l'organització dels canals físics i lògics en l'estàndard GSM.
- 7.** Descriure el procés de codificació de veu i la seva inserció en la trama GSM.
- 8.** Descriure el procés d'accés dels usuaris i els efectes que té en la cobertura màxima de l'estàndard GSM.
- 9.** Diferenciar els procediments d'entrellaçat de l'estàndard GSM.
- 10.** Descriure el funcionament tècnic del servei de missatges curts.
- 11.** Descriure el funcionament dels serveis de posicionament basats en GSM.
- 12.** Diferenciar el context PDP i el context de mobilitat en l'estàndard GPRS.
- 13.** Descriure els processos de gestió de paquets en l'estàndard GPRS.
- 14.** Descriure els fenòmens de diversitat dels quals s'aprofita CDMA.
- 15.** Descriure les característiques desitjables de les seqüències pseudoaleatòries que es fan servir en CDMA.
- 16.** Descriure l'arquitectura de l'estàndard UMTS.
- 17.** Descriure els fonaments tècnics de l'estàndard HSDPA.
- 18.** Descriure els punts clau de la quarta generació mòbil.

## 1. Xarxes 2G

En aquest apartat parlarem de les xarxes de telefonia mòbil de segona generació. Primer farem un repàs dels diversos estàndards existents per després centrar-nos en l'estàndard GSM que, clarament, és l'adoptat per més països.

### 1.1. Panoràmica de les xarxes 2G

Quan van aparèixer els primers sistemes mòbils, van tenir una gran acceptació. El nombre d'usuaris va augmentar ràpidament i la xarxa es va saturar aviat. A més, cada país tenia el seu estàndard i no eren compatibles entre ells.

L'any 1982, la CEPT (*Conference of European Post and Telecommunications Administration*), que va ser el primer organisme d'estandardització de comunicacions a Europa, va crear el grup d'estandardització GSM (*Groupe Special Mobile*). El 1987 se signa el MoU (*Memorandum of Understanding*), amb el qual els països europeus es comprometen a buidar la banda freqüencial del futur GSM (entorn dels 900 MHz). També canvien el significat de les sigles. Ara es dirà *global system for mobile communications*.

#### ETSI

El 1988 es crea l'ETSI. Està compost per les administracions (CEPT) i els fabricants.

El 1990, els fabricants encara no s'atreveixen a fer prototips de terminals GSM, ja que cada poc temps s'aprovaven nous documents tècnics. Com que es volia que el GSM estigués operatiu el 1992, es decideix congelar les especificacions. El que s'havia fet fins aquell moment es va anomenar **GSM fase 1**. Consta de 130 recomanacions (5.000 pàgines). Tot el que es faci després haurà de ser compatible amb aquesta fase, per la qual cosa els fabricants ja poden fabricar sense temors. En aquest mateix any, el Regne Unit demana que el GSM es pugui fer servir en una banda més alta per a permetre més capacitat, i comencen els estudis del que més tard serà el DCS1800 (treballa a 1.800 MHz, enfront dels 900 MHz del GSM). El 1991 es congelen les especificacions del DCS1800.

L'èxit del GSM a Europa va ser total. Els dos factors clau d'aquest èxit són les targetes de prepagament (el primer servei de prepagament va ser a Alemanya del 1995) i els missatges curts (el primer va ser al Regne Unit el 1992).

El servei de veu de GSM900 va estar operatiu el 1992, però les dades no ho van estar fins al 1994.

A Espanya ho està el 1995 –Telefónica al juliol i Airtel (actual Vodafone) a l'octubre. A Espanya, l'espectre GSM a més de repartir-se entre els dos operadors també ha de conviure amb els sistemes mòbils analògics (fins al 2005). Això provoca que ràpidament se saturin zones a Barcelona i Madrid.

El 1993, el DCS1800 està ja operatiu al Regne Unit. A Espanya va arribar més tard, de la mà de Vodafone i Movistar i el gener de 1999 s'hi va afegir Amena (actual Orange).

La banda dels 1.800 MHz té menys abast que la de 900 MHz i això fa que costi més donar cobertura en àrees rurals, on les distàncies que s'han de cobrir són més grans.

El 1995 es congelen les especificacions de **GSM fase 2** i s'inicia l'estudi de la fase 2+. En la fase 2, el DCS1800 s'integra en la norma GSM i s'anomena *GSM1800*. També el 1995 s'estandarditza PCS1900 als Estats Units, basat totalment en GSM, però incompatible amb GSM i DCS.

Els primers terminals duals GSM/DCS van aparèixer el 1997. En els seus inicis, els operadors DCS1800 necessiten aquests terminals per a atraure clients, ja que poden fer itinerància a operadors GSM900 mentre creen la seva infraestructura (va ser el cas d'Orange a Espanya). Vam haver d'esperar fins al 1999 perquè fos viable la connexió a Internet a través del mòbil, a través del protocol WAP.

L'èxit aconseguit amb GSM va fer que les diverses fases se succeïssin amb més velocitat, i es van fer especificacions anualment (fase 2+ *release 96*, fase 2+ *release 97*, fase 2+ r. 98, fase 2+ r. 99). La fase 2+ r. 99 ja té punts comuns amb UMTS i es decideix que el grup que porta el projecte UMTS (grup 3GPP) agafi el control de les especificacions GSM futures.

Mentre a Europa el sistema de segona generació és clarament el GSM, a altres llocs del món també desenvolupaven els seus sistemes:

- Als Estats Units tenen el DAMPS (també anomenat *IS-54* o *ADC*), que és un sistema compatible amb el sistema de primera generació que ells tenien (AMPS). Posteriorment desenvolupen l'*IS-136* (grau d'evolució de l'*IS-54*) i l'*IS-95*, aquest últim basat en CDMA. L'*IS-136* és l'equivalent americà del GSM europeu, però no són compatibles.
- Al Japó tenen el PDC (*personal digital cellular*), que és com el DAMPS però amb algunes petites modificacions tècniques per tal que sigui compatible amb el de primera generació que tenien (NMT)

El creixement de GSM va ser molt ràpid. Si l'any 2000 hi havia 18 milions de mòbils a Espanya (igualant les línies fixes), a finals de 2004 teníem uns 39 milions (44% de Movistar, 31% de Vodafone i 25% d'Orange). La penetració de la telefonia mòbil ja superava el 90%.

L'any 2002 apareixen els operadors mòbils virtuals (OVM), que poden fer serveis de telefonia mòbil amb la xarxa dels ja establerts (compra i revenda de minuts). Carrefour Mòvil, Happy Mòvil o RACC Mòvil són alguns dels OVM actuals.

A finals de 2004 teníem a tot el món uns 1.600 milions d'usuaris (1.200 de GSM, 200 de CDMA als Estats Units, 100 de PDC al Japó i 100 d'*IS-54* als Estats Units).

**Una penetració del 90%...**

... significa que 90 de cada 100 habitants disposen de mòbil.

## 1.2. GSM

A continuació descriurem amb detall les característiques de l'estàndard GSM. Aquest coneixement ens permetrà entendre quins són els serveis que ens pot oferir.



### 1.2.1. Evolució

Veiem les característiques de les distintes fases GSM i els serveis que ofereixen. Aquí tractarem els serveis com un únic conjunt, però cal dir que estan dividits en bàsics i suplementaris:

#### 1) Serveis bàsics

- Teleserveis: donen un servei complet dins la xarxa GSM. Proporcionen capacitat per comunicar-se. És el cas de la veu, fax grup 3 (el grup 4 va sobre XDSI), missatges curts (SMS, EMS, MMS), trucades d'emergència...
- Portadors (*bearer*): GSM proporciona només les capes baixes de l'estructura OSI. Proporcionen capacitat per transmetre senyals. És el cas de les transmissions de dades entre PDA (*personal digital assistant*) o PC a través de GSM. També és el cas de l'accés de GSM a altres xarxes. Els serveis portadors en GSM són:
  - commutació de circuits asíncrons dúplex entre 300 i 9.600 bps.
  - commutació de circuits síncrons dúplex entre 1.200 i 9.600 bps
  - dades a 12 kbps (servei portador sense restriccions)
  - accés a la xarxa telefònica commutada (és analògica)
  - accés a l'XDSI (és digital)
  - accés a la xarxa pública de paquets (X.25)

#### Asíncron...

... vol dir que les dades són un flux sèrie amb bits de *start* i *stop*. Síncron vol dir que pel canal de dades l'extrem emissor també envia el rellotge al receptor.

#### 2) Serveis suplementaris

Són un valor afegit als serveis portadors o als teleserveis: limitació de trucades sortints, multiconferència, redirecció de trucades (si l'abonat trucat està ocupat, no respon...), identificació de qui truca, restricció d'identificació...

#### GSM fase 1 (1990)

- Ús del terminal i la targeta a qualsevol lloc d'Europa (itinerància o *roaming*).
- Capacitat elevada, perquè no se satura ràpid.
- Serveis de veu (telefonía) i dades (fins a 9.600 bps).
- Freqüències: 890-915 MHz i 935-960 MHz.
- El cost està en la xarxa, i no en els terminals.
- Xifratge de la informació, per a oferir seguretat.

Pensem que una conversa en un sistema analògic és fàcilment espiable amb un receptor FM. També és fàcil construir mòbils que simulin el terminal d'altres persones.

- Ús del sistema de senyalització internacional CCITT núm. 7. L'usen els operadors per a comunicar-se entre ells (o entre elements de la mateixa xarxa).
- Servei de missatges curts (SMS).
- Número únic per a trucada d'emergència.

- Fax.
- Restricció de trucades.

### GSM fase 2 (1995)

- Ampliació de l'espectre: 880-915 i 925-960 MHz.
- Permet fer servir un codificador més ràpid (*half-rate speech coder*). Redueix el nombre de bits necessari per a codificar la veu, mantenint una qualitat acceptable.
- Identificació de qui truca, trucada en espera, trucada a 3...
- Opcions específiques per grups d'usuaris: trucada de grup, trucada per tothom...

### GSM fase 2+ (1996 en endavant)

- Terminals duals GSM/DCS
- Interconnexió amb DECT
- CAMEL (*customized application for mobile network enhanced logic*).

CAMEL és un procés pel qual les xarxes GSM garanteixen la translació dels serveis subscrits per un usuari en la seva xarxa origen a la xarxa visitada en la qual està en intinerància. Fins a la fase 2+ això només es garantia en el servei de veu. CAMEL és la xarxa intel·ligent sobre xarxes mòbils que permet mantenir els nostres serveis de xarxa intel·ligent encara que estiguem sobre un altre operador.

- Ampliació de la funcionalitat del SIM.
- Permet trucades d'emergència combinant un terminal GSM i un receptor GPS.
- GPRS (1997).
- UMTS (1999).
- HSDPA (3GPP *release 5*, 2001).
- HSUPA (3GPP *release 6*)
- LTE (3GPP *release 8*)

Veurem aquests cinc últims conceptes en posteriors apartats d'aquest mòdul i en el següent mòdul.

## 1.2.2. Arquitectura

A continuació veurem l'arquitectura del GSM. Els elements que la componen són:

### 1) MS (*mobile station, estació mòbil*)

- TE (*terminal equipment*): Genera les dades.
- MT (*mobile termination*): és el convertidor de senyal elèctric a ràdio (i a l'inrevés).
- TA (*terminal adaptor*): és la interfície entre el TE i el MT.
- SIM (*subscriber identity module*): és la targeta que posem dins el terminal.

**TE, MT i TA...**

... es corresponen amb el terminal físic.

### 2) BSS (*base station subsystem, subsistema d'estacions base*)

- BTS (*base transceiver station*): són les estacions base. Entre altres elements, aquí tenim les antenes i els amplificadors de potència.

- BSC (*base station controller*): controlador de les estacions base.

### 3) NSS (*network and switching subsystem, subsistema de xarxa*)

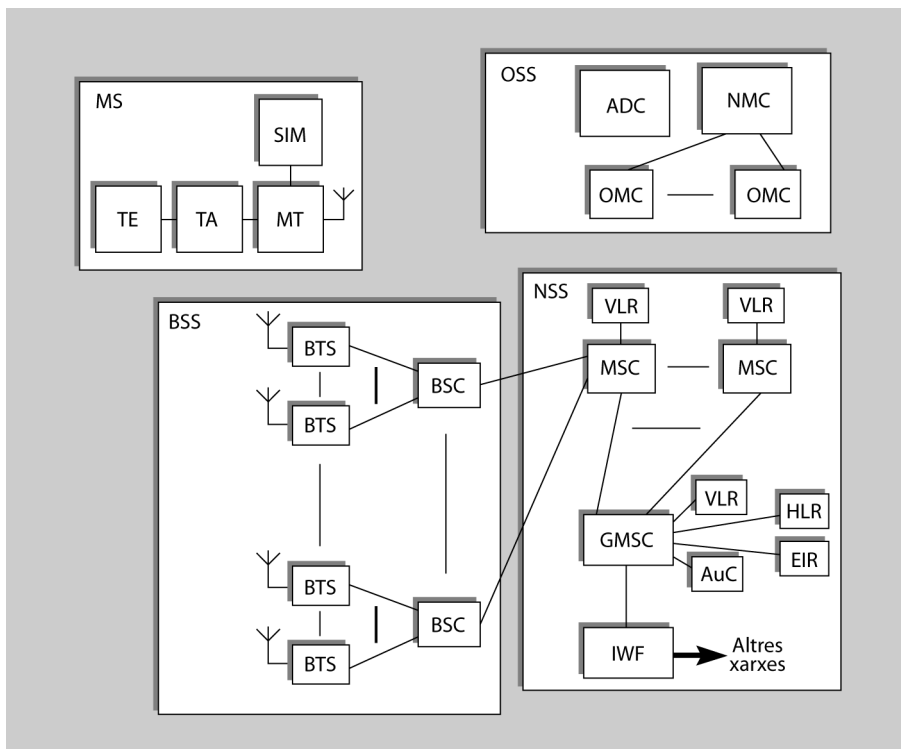
- MSC (*mobile switching center*): element de commutació.
- GMSC (*gateway mobile switching subsystem*): és un MSC en contacte amb altres xarxes.
- IWF (*interworking function*): permet interconnectar la xarxa GSM amb altres xarxes
- Bases de dades.
  - HLR (*home location register*)
  - VLR (*visitors location register*)
  - EIR (*equipment identity register*)
  - AuC (*authentication center*)

### 4) OSS (*operation support subsystem, subsistema de gestió*)

- OMC (*operation and maintenance center*): supervisa la càrrega de trànsit de la xarxa, detecta anomalies...
- NMC (*network management center*): supervisa tota la xarxa. En hores de poc trànsit fa la funció de l'OMC.
- ADC (*administration center*): com indiquen les sigles, aquí es fan les diverses feines administratives (facturació, atenció a clients...).

En la figura següent tenim els elements de la xarxa, que explicarem amb més detall a continuació:

Arquitectura GSM



## Mobile station

Es pot dividir en dos objectes: equip mòbil i targeta SIM.

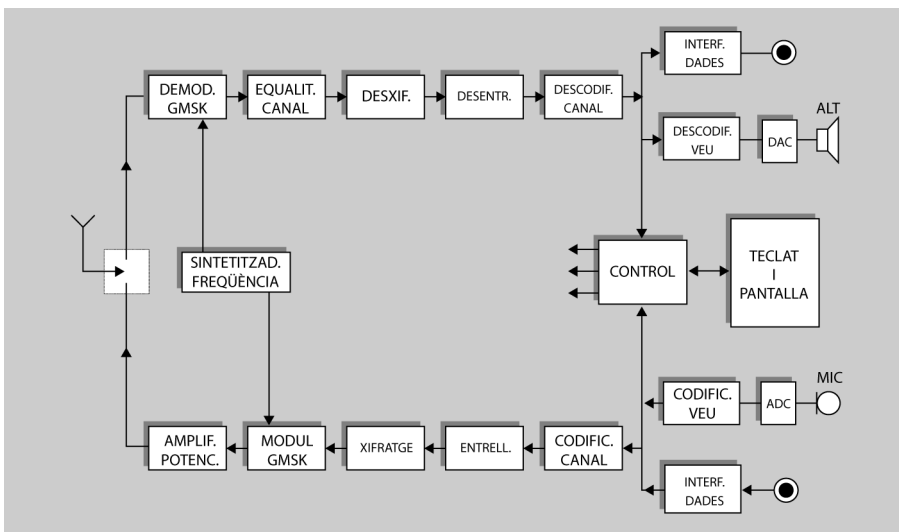
### 1) Equip mòbil

Té un número de sèrie únic internacional, anomenat *IMEI (International mobile equipment identity)*. Més endavant veurem que l'EIR (base de dades vista anteriorment) el necessita. La seva composició és:

- **TAC (6 dígit):** *type approval code*, és un número que assignen els centres autoritzats d'homologació de terminals.
- **FAC (2 dígit):** *final assembly code*, indica el país de fabricació.
- **SNR (6 dígit):** número de sèrie únic, assignat pel fabricant.
- **SP (1 dígit):** *spare*, és un dígit encara no utilitzat.

En la figura següent veiem el diagrama de blocs d'un terminal mòbil. Els diferents blocs de què consta els anirem comentant en diferents punts del tema:

Estació mòbil



Quan es compra un terminal mòbil cal tenir en compte algunes característiques importants:

- Hi ha equips de baixa potència (1-2 W) i d'altres per a vehicles que típicament donen 8 W. Els mapes de cobertura dels operadors diferencien la cobertura en ambdós casos. Els terminals es poden classificar segons la potència màxima que poden emetre: classe 1 (20 W, obsolet), classe 2 (8 W), classe 3 (5 W, obsolet), classe 4 (2 W) i classe 5 (0,8 W). En qualsevol cas, han de poder rebre senyals entre  $-10$  i  $-104$  dBm (sensibilitat). La norma diu que si rebem senyals de  $-102$  dBm hem de tenir menys d'un error per cada 100 bit.
- Els fabricants donen l'autonomia del terminal en funció de dos paràmetres: l'autonomia quan no estem en comunicació i l'autonomia mentre

#### Observació

La majoria de terminals són de classe 5.

parlem. Utilitzant bateries estàndard, l'autonomia en espera és d'unes 300 h i l'autonomia en comunicació d'unes 4 h.

Hi ha innovacions tecnològiques que poden tenir-se en consideració (també són un sobrepreu):

- Bateries solars
- Telèfons que van amb piles alcalines
- Telèfons en què per a trucar a algú no cal escriure sinó dir el seu nom.
- Hi ha telèfons que tenen gran autonomia. Combinat amb bateries d'alta capacitat tenim 10 dies d'espera i 10 h de conversa.
- Mòbils amb micròfons que eliminen el soroll de fons.
- Diccionari que quan hem escrit tres lletres ens digui la paraula més probable.
- Diversitat d'antena (més d'una antena).
- Antenes fractals per a terminals duals: són antenes basades en elements geomètrics simètrics i que són ideals per a terminals multibanda.

Una antena ha de tenir unes dimensions proporcionals a la longitud d'ona del senyal que volem captar. Quan un terminal pot rebre senyals a més d'una freqüència (per exemple, a 900 MHz de GSM i 1.800 MHz de GSM), la longitud de l'antena és un valor de compromís, de tal manera que no és òptim per a cap de les dues freqüències però és acceptable per a les dues. Amb antenes fractals, l'antena és òptima per a les dues freqüències.

## 2) Targeta SIM

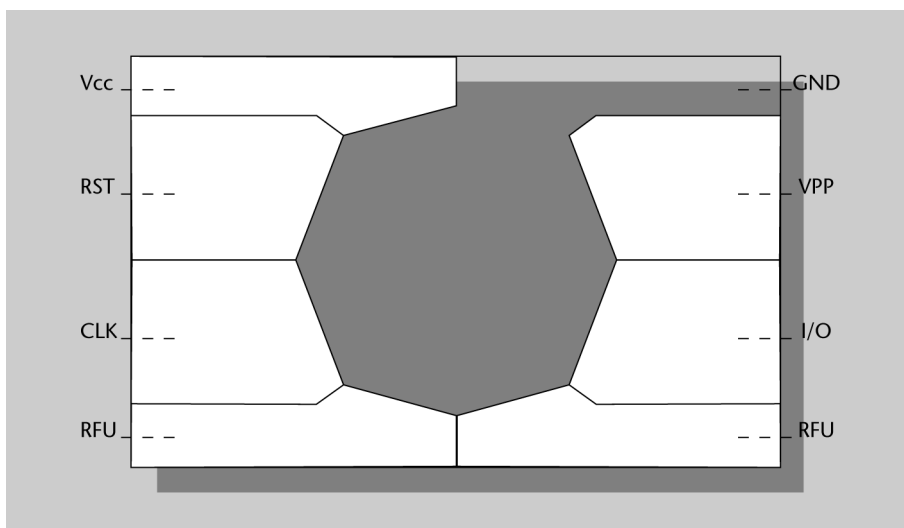
El SIM és el mòdul d'identificació d'abonat. Les trucades a un abonat aniran cap al telèfon on estigui inserit el SIM. Un usuari només pot trucar des d'un telèfon si ha posat el seu SIM (sense SIM només es poden fer trucades d'emergència).

La targeta SIM, igual com el terminal mòbil, té un número únic que permet identificar-la. Aquest número és l'ICC (*identification card code*), que no és exclusiu de GSM sinó que és un codi estàndard. La seva composició és:

- **CT** (2 dígits): *card type*, identifica el tipus de targeta i l'aplicació (89 en telecomunicacions).
- **CC** (2 o 3 dígits): *country code*, identifica al país (34 a Espanya).
- **MNC** (2 dígits): *mobile network code*, per a països on hi ha més d'una xarxa (01 per a Vodafone, 03 per a Orange i 07 per a Movistar).
- **SN**: *serial number*, no està estandarditzat i l'assigna cada operador.
- **CD** (1 dígit): *check digit*, de control.

El SIM té una part de memòria tipus ROM (uns 128 K aprox.), una de RAM permanent (EEPROM, d'uns 64 K) i una de RAM (1 K aprox.) quan està connectat. Tot està controlat per una CPU. El SIM pot ser de dues mides, com veiem en la figura següent: SIM o *plug-in-SIM* (és un SIM més petit, per a telèfons que no tenen espai per a posar el SIM gran). Un SIM gran es pot retallar per una línia ja marcada per a obtenir un *plug-in-SIM*.

## Terminals de la targeta SIM



En la figura anterior veiem la forma de la targeta SIM (els terminals són *Vcc*, *reset*, *clock*, *GND*, tensió de programació, entrada/sortida i dos sense usar):

El SIM conté:

- Identitat de l'abonat (**IMSI**, *international mobile subscriber identifier*). És únic per a cada abonat a tot Europa. És a la ROM. La seva composició és:
  - MCC (3 dígits): *mobile country code*, és un codi del país origen de l'abonat (214 per a Espanya).
  - MNC (2 dígits): *mobile network code*, és la xarxa preferent de l'abonat per a països amb més d'1 operador (01 per a Airtel, 03 per a Orange i 07 per a Movistar i 04 per a Yoigo).
  - MSIN (fins a 10 dígits): *mobile subscriber identification number*, és el número que identifica l'abonat.
- Autenticació. És a la ROM:
  - clau secreta (*Ki*): la grava el fabricant, però no es pot llegir de cap manera. Només els algorismes poden treballar amb ella.
  - algorismes de xifratge i autenticació (A3, A8): se'ls pot inventar cada operador.
- Dades de l'abonat, tant de sistema com personals (agenda telefònica, misatges SMS que hem volgut guardar, en quin instant hem fet l'última connexió a la xarxa...).
- PIN i PUK (també l'estat del PIN/PUK –bloquejat o no– i el comptador d'errors PIN/PUK).

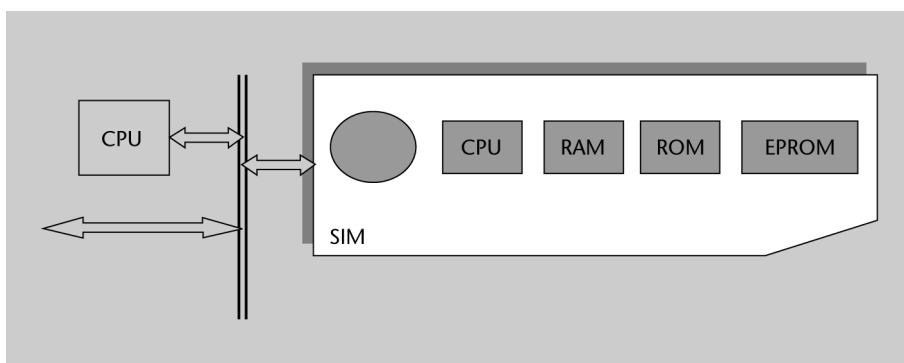
Si algú conegués l'IMSI i la clau secreta d'un abonat, podria falsejar la seva identitat.

Entre altres factors, la vida d'una SIM depèn del nombre d'accessos que fem. Per a allargar aquesta vida, els telèfons treballen amb una **SIM virtual**. Quan encenem un terminal, el mòbil llegeix dades de la SIM (per exemple, números abreviats) i els guarda en la memòria del telèfon (no s'inclouen les verificacions de PIN ni l'autenticació). Quan apaguem el mòbil, les dades de la SIM virtual van a la SIM física. Totes les operacions entre l'encesa i l'apagada es fan amb la SIM virtual i s'eviten lectures i escriptures en la SIM real. Aquest procés de SIM virtual no forma part de l'estàndard GSM.

L'accés no autoritzat a una SIM es pot prevenir amb el **SIM lock**. Es basa en dades guardades a la SIM i al mòbil que es comparen en encendre'l. Un mòbil s'associa a una SIM (ho sol fer l'usuari, com a protecció) o a un grup de SIM (ho fa l'operadora per evitar traspàs de clients quan aquesta ha subvencionat el terminal). El **SIM lock** es pot desactivar per aire o per codi secret.

Amb el **SIM application toolkit (SAT)**, que forma part del GSM 2+, es poden desenvolupar aplicacions que aprofitin la SIM. Fins que va aparèixer el SAT, la SIM era esclava del processador que portava el terminal. Amb el SAT, introduïm un mecanisme pel qual la SIM pot demanar al terminal que faci coses (abans l'operador activava funcions ocultes de la SIM, però que ja estaven gravades de sèrie). També cal saber que ens poden posar codi a l'EPROM via ràdio (figura següent).

Memòries de la targeta SIM



El SAT ofereix possibilitats als operadors per carregar aplicacions a les targetes que els permeten controlar els mòbils. Així, la SIM pot controlar el visualitzador, el teclat, etc.

MExE (*mobile execution environment*; entorn d'execució mòbil) és una especificació creada per ETSI i assumida per 3GPP que permet executar codi en el mòbil. Defineix quatre classes:

classe 1: assumeix que el terminal té WAP.

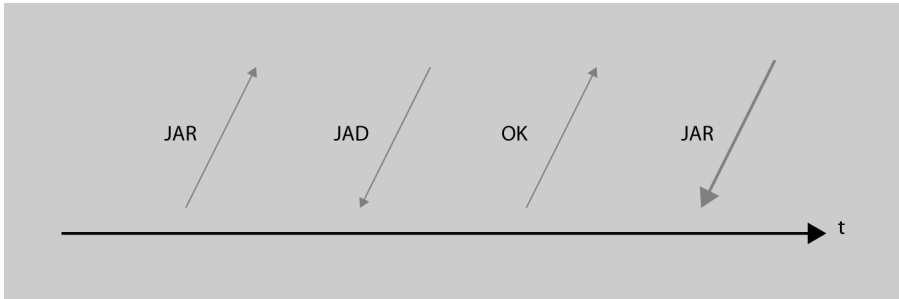
classe 2: *personal Java*.

classe 3: J2ME (*Java 2 micro edition*).

classe 4.

La classe J2ME és la més habitual, en la qual l'aplicació és en un fitxer JAR. Aquest JAR conté un manifest (JAD), el qual ens diu la versió necessària, la mida del JAR, el nom de l'autor, etc. Després, si volem, baixem el JAR. Veiem la seqüència en la figura següent.

Baixada d'aplicacions



També hi ha plataformes *smartphone*, que són programes específics per a cada terminal que ofereixen entorns de desenvolupament.

**Les plataformes més conegudes són...**

... Android, iOS i Blackberry.

**BSS (*base station subsystem*)**

Una BSS és un conjunt de BTS i una BSC.

### 1) Funcions de la BTS

a) La BTS té un codi d'identificació anomenat **BSIC** (*base station identity code*) que permet que cada mòbil pugui diferenciar sense ambigüitat la cobertura de dues cel·les veïnes. El BSIC s'estructura de la següent manera:

- NCC (3 bit): *network color code*, és per a diferenciar les cel·les de diversos països en zones frontereres. Per a assignar-lo, els països implicats s'han de posar d'acord.
- BCC (3 bit): *base station color code*, fa com el NCC però d'estacions base.

b) Rebre i transmetre (antenes i processament de senyals de ràdio). Les BTS es poden classificar en funció de la potència màxima que poden transmetre: classe 1 (320 W), classe 2 (160 W) i així fins a classe 8 (2.5 W). Poden variar la seva potència en salts de 2 dB fins a un mínim de 13 dBm. Cada BTS pot manegar diverses portadores (dobles).

c) Mesurar el canal. En els sistemes analògics, això només ho feia l'EB. Aquí ho fa la BTS i també el mòbil. El mòbil coopera en el traspàs (MAHO, *mobile assisted handover*). En concret, el mòbil mesura el nivell i la qualitat (RxQual i RxLevel) de la portadora actual i de les sis cel·les més properes.



**d) Gestionar el nivell físic i d'enllaç (aquí aniria el xifratge de la comunicació).**

Per a donar un servei de telefonia mòbil a molts usuaris i amb una cobertura propera al 100%, és necessari instal·lar moltes antenes. L'any 2009 el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) va concloure que els actuals límits d'exposició de les normatives són suficients per a la protecció de les persones.

La radiació és un fenomen de propagació de partícules (fotons). Els fotons no tenen massa però sí una energia proporcional a la seva freqüència. Les ones interactuen amb la matèria transferint part de la seva energia. Si l'energia dels fotons és alta, poden ionitzar les molècules del material sobre el qual incideixen (poden arrancar un electró). Això passa amb els rajos ultraviolats, rajos X, rajos gamma (radioactius)... Aquests rajos tenen una freqüència unes  $10^7$  vegades més gran que les de telefonia i poden alterar el codi genètic. Les de telefonia no ionitzen, però sí poden agitar els àtoms i causar efectes tèrmics deguts a aquesta agitació.

Quan rebem una radiació que ve de lluny, cal considerar la densitat de potència de la font emissora ( $S$ , en  $mW/cm^2$ ), i l'efecte en l'organisme és una **absorció superficial**. Normalment les antenes dels carrers són direccionals i darrera d'elles el risc és 0.

Si la radiació ve de prop, cal considerar la taxa d'absorció específica del mòbil (SAR, en  $W/kg$ ) ja que l'ona pot **penetrar** uns 1-3 cm i per tant part de l'energia se la queda el cap en forma de calor. Els fabricants coneixen el valor de SAR dels seus aparells, però en general no el donen (en algunes webs es poden trobar). El SAR es mesura amb un cap artificial i dóna una idea de la quantitat de radiació que absorbeix aquest cap. Si el número és gran, pitjor és el terminal.

Un dels objectius dels estudis actuals és respondre a dues preguntes: els mòbils, provoquen càncer d'orella? Les bases, provoquen mal de cap?

Actualment disposem de normatives que marquen com a límit aquells valors que fan que els nivells estiguin a un 2% del nivell en què hi ha efectes biològics.

L'ITU-T K.52 (Unió Internacional de Telecomunicacions) ha adoptat les recomanacions de l'ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection), que diu que a 900 MHz (GSM)  $S$  ha de ser inferior a  $4,5 W/m^2$ , a 1.800 MHz (DCS)  $S$  ha de ser inferior a  $9 W/m^2$  i a 2.000 MHz (UMTS)  $S$  ha de ser inferior a  $10 W/m^2$ .

A Espanya la normativa està publicada en l'RD 1066/2001, i diu que per a freqüències entre 400 i 2.000 MHz,  $S < f[\text{MHz}] / 200$  i per a valors superiors,  $S < 10$ . Les comunitats autònomes poden tenir altres normatives. Així, a Catalunya,  $S < f / 450$  (Decret 148/2001).

Respecte al SAR, l'OMS diu que el cos té mecanismes de regulació per a suportar un SAR de  $4 W/kg$  (30 minuts amb SAR de  $4 W/kg$  poden provocar  $1^\circ C$  d'increment de temperatura). La Comissió Europea, l'any 1999, estableix un límit 50 vegades més petit ( $0,08 W/kg$ ).

Més informació de les activitats d'aquesta comissió a [icnirp.org](http://icnirp.org).

**WEB**

Observem que el valor normatiu de  $S$  ens determina la distància de seguretat:

$$S = \frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

on  $S$  és la densitat de potència radiada [ $W / m^2$ ], la PIRE és la potència isotròpica radiada equivalent en la direcció de màxima radiació i  $d$  és la distància.

Per exemple, si  $PIRE = 447,7 \text{ W}$  i  $f = 900 \text{ MHz}$ ,

$$d_{límit} = \sqrt{\frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot S_{màx}}} = \sqrt{\frac{447,7}{4 \cdot \pi \cdot \frac{900}{200}}} = 2,81 \text{ m.}$$

A Catalunya, com que  $S_{màx} = 900 / 450 = 2$ , la  $d$  seria de 4,2 m. Caldria deixar 4,2 metres entre el centre de radiació de l'antena i qualsevol lloc on hi pugui haver persones.

Si el sistema anterior tingués dues operadors amb tres portadores/operador,

$$PIRE_{total} = 447,7 \cdot 6 = 2686,2 \text{ W i, per tant, } d = 6,89 \text{ m.}$$

Si tenim diversos sistemes (p. ex., GSM i DCS), cal calcular la distància de cada sistema i fer

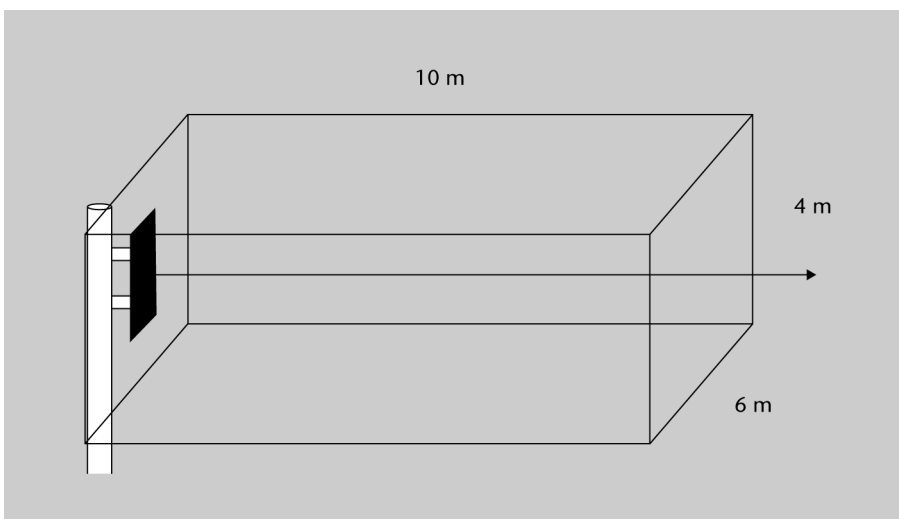
$$d_{límit} = \sqrt{d_{lim \text{ GSM}}^2 + d_{lim \text{ DCS}}^2}$$

Així, sis portadores GSM i nou portadores DCS amb una PIRE de 447,7 W donaria:

$$d_{límit} = \sqrt{6,89^2 + 5,96^2} = 9,11 \text{ m.}$$

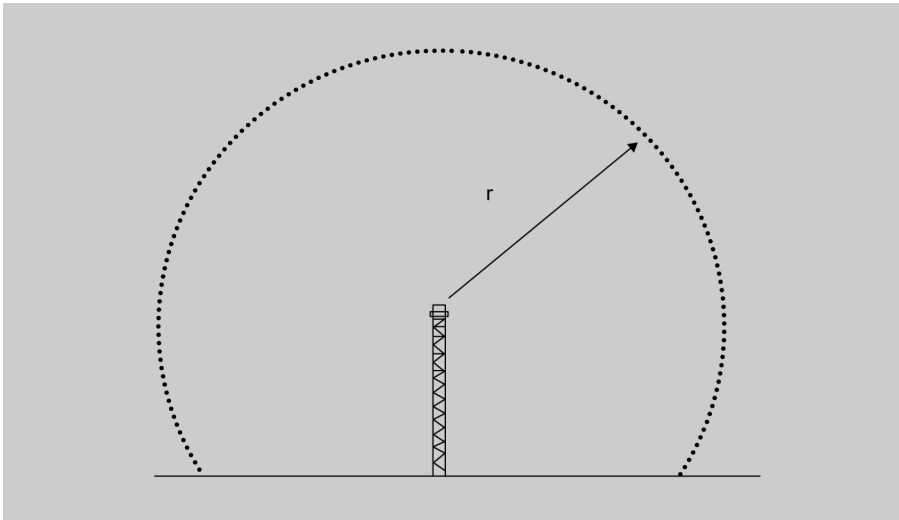
La normativa actual permet establir unes distàncies de seguretat, de tal manera que si la potència radiada és inferior a 1.000 W, cal deixar lliure un paral·lelepípede de 10 x 4 x 6 metres enfront del diagrama principal de radiació (figura següent).

Espai de protecció



Si la potència radiada és superior a 1.000 W, llavors cal deixar lliure una esfera de radi  $r$  (el radi depèn de la potència radiada), com veiem en la figura següent.

Esfera de protecció



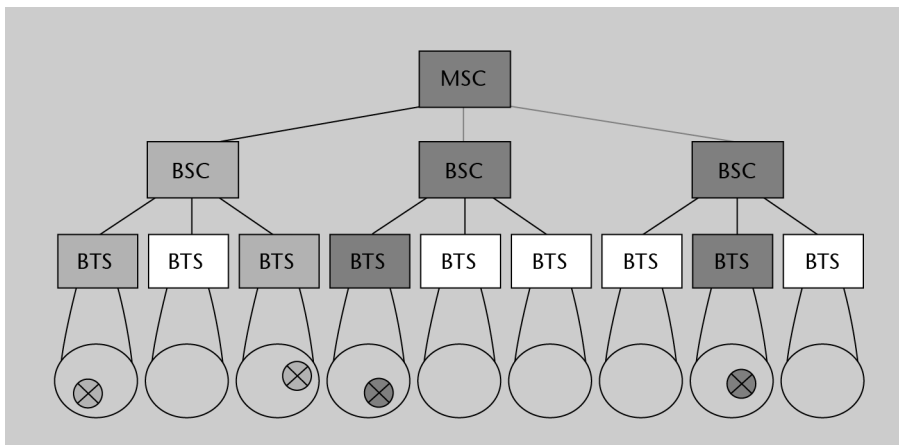
Pot (W)	100-1.000	1.500-2.500	2.501-5.000	5.001-10.000	10.001-50.000	50.001-100.000	...
R (m)	10	15	20	25	45	63	...

Aquestes distàncies són cinc vegades majors si hi ha espais oberts on regularment hi ha nens/es.

## 2) Funcions del BSC

En GSM, cada EB té uns canals prefixats. Si la BSC els coneix, la BSC pot fer els traspasos dins una BSS sense molestar l'MSC (figura següent):

Connexions BTS-BSC-MSC

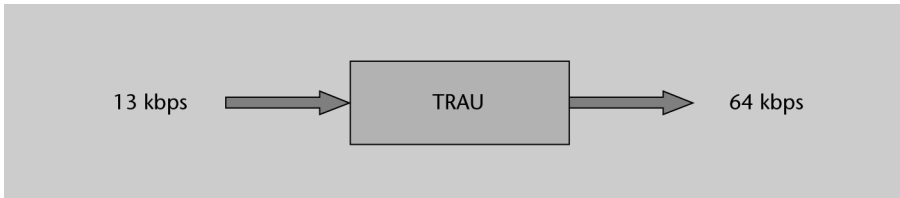


A més d'això, el BSC:

- Assigna canals a les comunicacions.
- Supervisa la qualitat de l'enllaç.
- Controla la potència (es veurà més endavant).

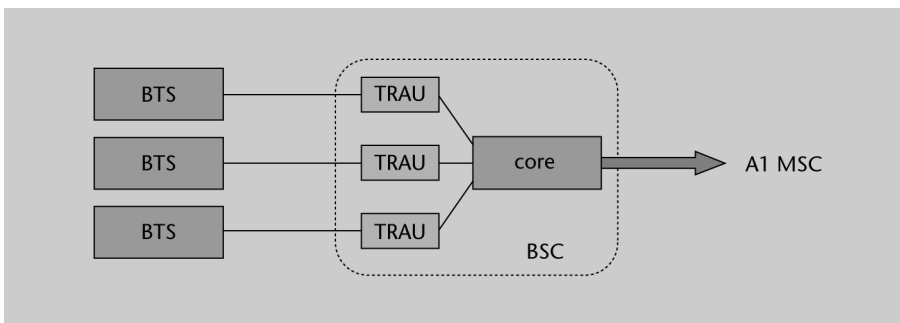
Dins el BSS hi ha el **TRAU** (*transcoder/rate adaptor unit*), o unitat de transcodificació i adaptació de velocitat. El terminal mòbil comprimeix la informació a 13 kbps. Aquesta unitat l'amplia a 16 kbps (13 kbps + sincronització), la descomprimeix fins a 64 kbps i porta els 64 kbps per la xarxa fixa digital (figura següent).

Funció del TRAU



L'estàndard GSM no especifica on s'ha de posar el TRAU, però habitualment es posa com mostra la següent figura:

Ubicació del TRAU



Observem que una comunicació mòbil-mòbil experimenta dues compressions-decompressions, per la qual cosa té pitjor qualitat que una trucada mòbil-xarxa fixa.

### *Network and switching subsystem*

#### 1) MSC

És la central de commutació mòbil. 1 MSC pot donar servei a unes 200 estacions base (uns 300.000 abonats). Les seves funcions són:

- Control de l'establiment de trucades.
- Accés directe a la xarxa telefònica fixa.
- Accés a altres serveis amb la IWF.
- Diàleg basat en CCITT núm. 7 (el diàleg BSC-MSC es fa amb una xarxa de senyalització pròpia de GSM).
- Fa el traspàs (commutació) entre EB que depenen de diferents BSC.

#### 2) GMSC

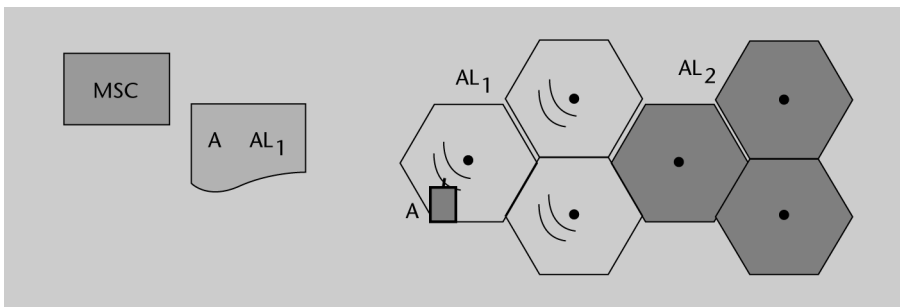
És l'MSC que està en contacte amb altres xarxes. Així, és l'element de connexió a la xarxa fixa per a rebre o generar trucades. Avui en dia es fabriquen MSC. Per a convertir-les a GMSC només cal comprar un programari a part.

### 3) HLR

És el registre de posicions base. Hi ha un HLR per operador o els mínims necessaris. Cada GMSC té un HLR. Les seves funcions són:

- Guarda dades relatives als abonats donats d'alta (serveis contractats, tarifa, xifratge...).
- Guarda informació de localització (és necessari per a gestionar la mobilitat). Amb el sistema clàssic, quan hi ha una trucada cap a un mòbil, les estacions base emeten un missatge amb la identitat de l'abonat buscat. Si definim dues àrees de localització (figura següent), només emetran el missatge les estacions base de la zona on és el mòbil.

Àrees de localització



Una àrea de localització sol estar servida per més d'un BSC.  
Una MSC serveix diverses àrees de localització.

### 4) VLR

És el registre de posicions visitant. Tota MSC té un VLR associat (estan integrats físicament). Pot ser que un VLR sigui utilitzat per diverses MSC. La seva funció és com la de l'HLR: guardar dades relatives a l'abonat (permet que les dades d'abonat estiguin properes a l'abonat) i la informació de localització. Quan un abonat canvia d'àrea, les dades es mouen amb ell (el nou VLR li demana les dades a l'HLR).

El VLR és qui atén el mòbil quan aquest està fora de l'àrea del seu HLR.

En l'HLR hi ha la informació del VLR en què trobarem a l'abonat. Quan una trucada parteix de la xarxa fixa, l'HLR és la primera entitat que es fa servir; si parteix d'un mòbil, el VLR.

La SIM guarda el nom de l'últim VLR en el qual va estar. Si quan ens hi connectem estem en un altre VLR, aquest li demanarà les dades al primer i evitarà molestar l'HLR.

### 5) EIR

És el registre d'identitat dels equips. Té una llista amb el número de sèrie del terminal que l'operador vol verificar. Serveix tant per a controlar l'accés

d'equips no aprovats (perquè potser radien fora de banda) com d'equips robats.

## 6) AuC

És el centre d'autenticació. N'hi ha un per cada operador. Normalment està associat a l'HLR. Guarda els números secrets d'abonat i genera les tripletes (mecanisme d'autenticació). En el proper punt en parlarem amb més detall.

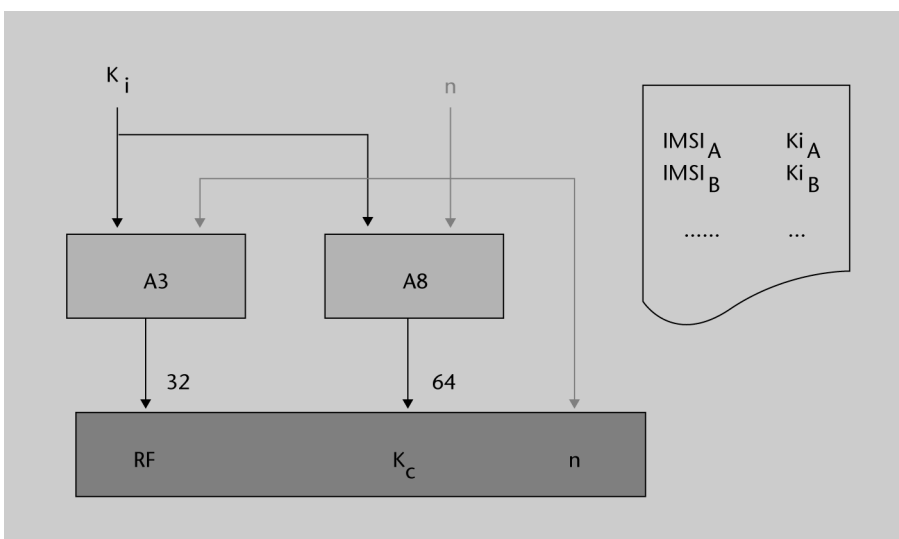
### 1.2.3. Autenticació

L'AuC és l'element que dóna funcions de seguretat. S'encarrega de generar les **tripletes**, que són una de les dades que hi ha a l'HLR. Cada cop que l'abonat s'autentiqui (això succeeix quan s'estableixen o accepten trucades), el mòbil li demana tripletes al VLR.

Per a fer-ho, disposa del següent (vegeu figura següent):

- algorismes A3 i A8 (propis de cada operador).
- un fitxer amb l'IMSI i la clau secreta ( $K_i$ , de 128 bits) dels usuaris (aquestes  $K_i$  estan xifrades).
- generador de nombres aleatoris ( $n$ ) de 128 bits.

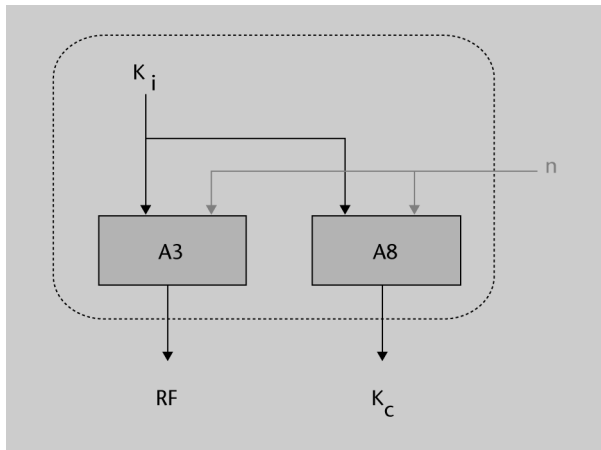
Autenticació en l'AuC



En una tripleta tenim l'RF (resposta firmada) o SRES (*signed response*), la  $K_c$  (clau de xifratge, *key ciphering*) i  $n$  (nombre aleatori) o RAND: entre  $0$  i  $2^{128} - 1$ .

La clau secreta de l'abonat ( $K_i$ ) està gravada en la SIM. Aquesta clau no es pot llegir (només hi poden treballar els algorismes). El SIM té els mateixos algorismes que l'AuC de l'operador (figura següent).

## Autenticació en la SIM



En un sistema tradicional (per exemple, una xarxa d'ordinadors), nosaltres tenim una connexió (*login*) i una contrasenya que no cal que estiguin protegits. En canvi, en un entorn de ràdio (GSM), la contrasenya ha d'estar protegida. El procés d'autenticació pretén **evitar que la  $K_i$  passi pel canal de ràdio**. Com a protecció addicional, també s'utilitza un codi personal d'usuari (PIN) per a tenir accés al SIM.

## Procés d'autenticació

1) Si el mòbil transmet el seu identificador (IMSI) algú podria saber qui està trucant. Per a amagar la identitat de l'usuari, es crea un TMSI (temporal) que només té validesa en una certa zona de servei, per la qual cosa és més curt. Quan un usuari accedeix a l'àrea d'una MSC, li envia l'IMSI i l'MSC li retorna el TMSI, que és el codi que s'utilitzarà a partir d'aquell moment. En resum, les funcions del TMSI són:

- Reduir la longitud del número d'accés.
- Amagar la identitat de l'abonat (cada vegada que interactua amb el sistema, li assigna un TMSI diferent).

En comunicacions internacionals pot ser que un operador exigeixi a un altre l'IMSI i no li accepti el TMSI.

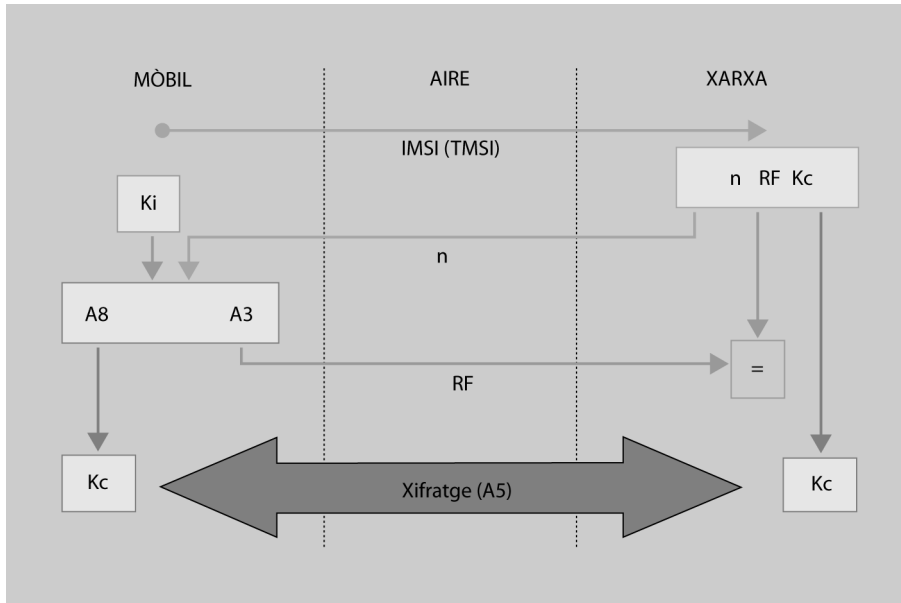
2) El TMSI arriba al VLR. Aquest genera una tripleta (aquesta tripleta s'usarà només una vegada) i es transmet la  $n$  (nombre aleatori de la tripleta) cap al mòbil. Aquest genera una RF i una  $K_c$ . La  $K_c$  canvia cada temptativa de trucada.

3) El mòbil transmet l'RF cap a l'MSC, i es comparen les dues RF (la que li arriba i la de la tripleta que va generar). Si són iguals, vol dir que la  $K_i$  del SIM és la mateixa que la de la base de dades del VLR i, per tant, l'usuari és qui diu ser.

4) L'MSC envia la  $K_c$  al BSC. Tot el diàleg entre el mòbil i BSC està xifrat amb la clau  $K_c$ . En GSM, s'utilitza l'algorisme A5 juntament amb la clau  $K_c$ . L'A5 està especificat internacionalment per a permetre itinerància. Té com a entrades el número de trama (2048·26·51 diferents) i  $K_c$ .

En la figura següent tenim tot aquest procés:

Procés d'autenticació



Només se xifra la part de ràdio. De manera excepcional, si un operador comunica les seves estacions base mitjançant radioenllaços, pot escollir si xifra o no aquestes comunicacions.

En principi, sembla que no faria falta una AuC amb les claus de xifratge, ja que les podria tenir en l'HLR sense necessitat de tripletes. Fent servir tripletes, fem que cada operador sigui independent. No seria correcte facilitar a un altre operador les  $K_i$  dels usuaris. A més, els algorismes  $A_3$  i  $A_8$  són exclusius de cada operador. Així, quan un usuari viatja, si truca, haurà d'anar a l'operador nadiu per sol·licitar tripletes.

No sempre es xifra (per exemple, si la xarxa està saturada).

#### 1.2.4. Canals i estructura de trames

En GSM el duplexat és FDD (les comunicacions de terminal a base i de base a terminal van en freqüències diferents). En GSM, aquestes freqüències estan sempre separades 45 MHz (95 MHz en el DCS1800).

En DCS1800, la banda és el triple que en GSM. Per tant, la capacitat també es triplica (en GSM tenim 124 canals de 200 KHz, mentre que en DCS tenim 374 canals de 200 KHz).

#### En GSM...

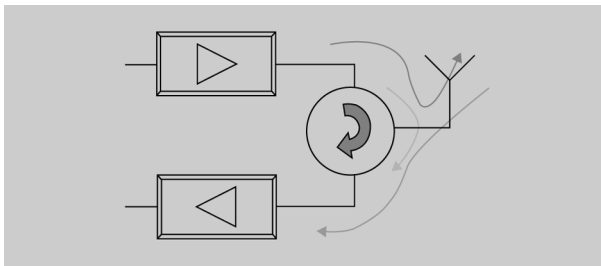
... les comunicacions de mòbil a base van entre els 890 i els 915 MHz. Les de base a mòbil, entre 935 i 960 MHz. En DCS les de mòbil a base van entre els 1.710 i els 1.785 MHz i les de base a mòbil, entre 1.805 i 1.880 MHz.

La separació de 45 MHz (o 95 MHz) es fa per a compensar els problemes del duplexor (figura següent), ja que encara que no vulguem, part del senyal que



va del mòbil cap a l'exterior es torna a colar cap a l'entrada del mòbil, com veiem en la figura.

Duplexor



### Duplexor

El duplexor és l'element que permet que una única antena pugui fer emissió i recepció.

GSM té 25 MHz d'espectre en cada sentit. Mitjançant FDMA es divideix en 125 portadores de 200 KHz. Mitjançant TDMA, cada portadora de 200 KHz es divideix en 8 ranures de 25 KHz. Així, un canal físic en GSM és una ranura d'una portadora.

GSM és més robust a les interferències que els sistemes de primera generació, això implica que la distància de reús pot ser més petita (reús intens). En entorns urbans es fan servir clústers de 3 cel·les i 3 sectors/cel·la o de 4 cel·les amb 3 sectors/cel·la. No es fan sectors en zones rurals.

### Tipus de canals

Un terminal pot estar en dos estats: dedicat (quan té establerta una comunicació) i no dedicat (quan no té una comunicació però està actiu).

#### 1) Canals en mode dedicat (quan el mòbil té establerta una comunicació)

En un canal en mode dedicat hi pot haver dades d'usuari (per exemple, veu) i senyalització (informació de control entre el terminal i la xarxa GSM).

##### a) Senyalització:

- Lenta (SACCH, *slow associated control channel*)
  - És permanent.
  - És bidireccional.
  - Es transmeten mesures i altres ordres (per exemple, control de potència, en el qual el mòbil diu a la base que pugui o baixi la potència).
  - 2 missatges/segon. Per tant, les mesures estan retardades 0,5 segons respecte al moment en què es van prendre. Un traspàs no pot tolerar aquest retard.
- Ràpida (FACCH, *fast associated control channel*)
  - En aquesta senyalització s'utilitza el canal de veu (es fa un robatori del canal i, per tant, l'usuari tindrà uns petits silencis).

### Observació

Tal com vam veure en el mòdul "Comunicacions sense fils", si la distància de reús és petita, els clústers seran menors i es podran reaprofitar millor les freqüències disponibles.

**b)** Dades d'usuari: aquest canal pot ser *full* (TCH/F) o *half* (TCH/H). En aquest últim, la ranura s'utilitza la meitat de les vegades. També podem tenir canals d'1 octava (TCH/8). Hi pot haver tres tipus de dades d'usuari:

- Veu: Pot ser *full-duplex* a 13 kbps si escollim TCH/F o a 6,5 Kbps si escollim TCH/H (de pitjor qualitat, ja que comprimeix molt; només disponible en la fase 2 i posteriors).
- Dades. Bàsicament hi ha tres opcions:
  - 9.600 bps + senyals de control = 12 kbps
  - 4.800 bps + senyals de control = 6 kbps
  - 2.400 bps + senyals de control = 3,6 kbps

Després, encara s'afegeixen proteccions (els de 3,6 kbps tindran més protecció que la resta). Així, l'usuari pot escollir la fiabilitat de les dades.

Si hem escollit TCH/H, no podem enviar dades a 12 kbps.

- Missatges curts (és més econòmic que trucar)

## 2) Canals en mode no dedicat (quan el mòbil no té establerta una comunicació)

En sentit de mòbil a base només hi ha el canal **RACH** (*random access channel*). Com que hi ha un **accés aleatori per part dels mòbils**, cal un mecanisme de resolució de col·lisions.

En sentit de base a mòbil hi ha quatre canals:

- **FCCH** (*frequency correction channel*). Aquest canal permet la localització d'EB (permet localitzar canals de control). És una seqüència de 0. Quan arriba al receptor, a la sortida ens dóna un to separat de 67 KHz de la portadora (és el desplaçament de la modulació GMSK que fa servir GSM).

En GSM, un canal de control pot ser en qualsevol lloc de l'espectre, però sempre en la ranura 0. Tota estació base té, com a mínim, 1 ranura amb la informació de control. Aquestes ranures, de tant en tant, transmeten aquesta seqüència de 0.

El terminal sintonitza una freqüència. Disposa d'un filtre de 67 KHz. Si no el detecta, en busca un altre. Així, permet la **localització de canals de control** dins l'espectre. El terminal es quedarà enganxat a 1 ranura d'1 freqüència.

- **SCH** (*synchronisation channel*). Dóna informació de sincronització per a la localització de canals. Pensem que la trama GSM dura 3 h 28' 53" 760 ms, i **el terminal ha de saber en quin instant es troba**. L'estructura la tenim en la figura següent.

## Organització dels bits en el canal SCH

3	<b>39 bits codificats</b>	<b>64 bits entrenament</b>	<b>39 bits codificats</b>	3
---	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	---

Dels 78 bits codificats, 6 són el BSIC, 19 són el número de trama (més endavant ho veurem) i 53 són redundància.

- **BCCH** (*broadcast control channel*). Té la mateixa estructura que la ràfega de trànsit (la veurem més endavant en aquest mateix punt). Diferència **informació útil per accedir**, com la informació de sistema (identitat de l'operador...) i informació de la cèl·lula en què es troba i de les cèl·lules veïnes.
- **PAGCH** (*paging access grant channel*). Té la mateixa estructura que la ràfega de trànsit (la veurem més endavant en aquest mateix punt). Hi ha dues informacions:
  - *pagings* (**avisen el terminal** que hi ha una trucada entrant). De vegades es diu que aquesta informació viatja pel canal PCH (*paging channel*).
  - confirmacions d'accés. De vegades es diu que aquesta informació viatja pel canal AGCH (*access grant channel*).

**Organització dels canals**

En **mode dedicat**, cal enviar les dades d'usuari i la senyalització lenta (SACCH). S'estructura en 26 trames:

- de la 0 a l'11 la ranura s'utilitza per a dades d'usuari.
- la 12 s'utilitza per a SACCH.
- de la 13 a la 24 la ranura s'utilitza per a dades d'usuari.
- la 25 es deixa buida (quan s'utilitzin els dos canals de velocitat la meitat TCH/H es farà servir per a la senyalització del segon canal).

Actualment la trama 25 s'utilitza per a monitoritzar els altres canals, ja que en GSM és el terminal qui s'encarrega de mesurar el nivell de senyal d'altres EB.

En **mode no dedicat**, l'estructura es repeteix cada 51 trames. Recordem que s'utilitza la ranura 0. A continuació es representa la ranura 0 d'una multitràma de 51 trames:

- Sentit de base a mòbil

Observem en la següent figura que quan el mòbil escolta un FCCH, sap que 1 trama després rebrà l'SCH.

## Organització dels canals en mode no dedicat i sentit de base a mòbil

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 a 19	...	40	41	42 a 49	50
F C C H	S C H	B C C H	B C C H	B C C H	B C C H	P A G C H	P A G C H	P A G C H	P A G C H	F C C H	S C H	P A G C H	...	F C C H	S C H	P A G C H	b u i t

Així, en la ranura 0 de la trama 0 tenim l'FCCH; en la ranura 0 de la trama 1 tenim el SCH, etc.

- Sentit de mòbil a base

En aquest sentit, en la figura següent observem que el canal RACH és en totes les ranures 0, sigui quina sigui la trama.

## Organització dels canals en el mode no dedicat i sentit de mòbil a base

0	1	2	...	51
RACH	RACH	RACH	...	RACH

La figura anterior ens diu que en la ranura 0 de les trames 0 a 51 tenim el canal RACH.

Cada EB ha de tenir, com a mínim, 1 canal de control (pujada + baixada), i sempre estarà en la ranura 0. Per exemple, si una EB treballa amb 6 portadores (dobles), podria portar  $6 \cdot 8 = 48$  converses, però com que 1 canal és de control, en total podem tenir 47 converses. És normal que les estacions base disposin de fins a 24 portadores i que destinin un canal de control per cada 3 portadores.

## Estructura de trames

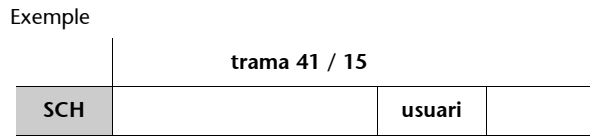
A continuació es mostra com s'estructuren les trames en GSM. La hipertrama és necessària per a garantir un xifratge segur.

Una **ranura** dura 15 / 26 ms. Amb 8 ranures es forma una **trama**. En aquestes ranures hi ha informació d'usuari (en la ranura 0 pot ser que no hi hagi informació d'usuari, però sí informació de control).

Amb 51 trames es construeix la **multitrama de 51**. Es defineix així perquè si en la ranura 0 hi ha informació de control, cada 51 trames es repeteix la funcionalitat de la ranura 0. Amb 26 trames es construeix la **multitrama de 26**. Es defineix així perquè quan en una ranura hi ha informació d'usuari, cada 26 trames es repeteix la funcionalitat d'aquella ranura.

Amb 51 multitrames de 26 o amb 26 multitrames de 51 es construeix la **supertrama**. Amb 2.048 supertrames es forma la **hipertrama**, que dura 3 h 28' 53''

760 ms. La ranura SCH és la que permet al terminal saber en quin punt de la hipertrama es troba. En la figura següent en tenim un exemple.

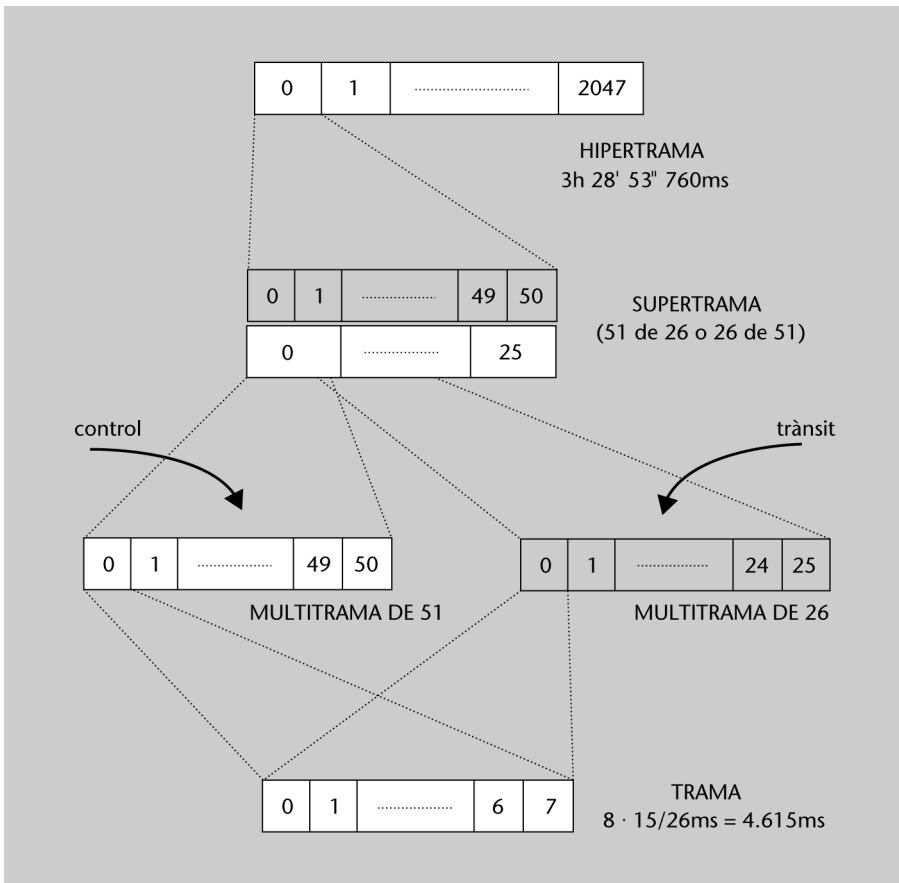


Aquesta és la trama 41 dins la multitrama de 51 o bé la trama 15 dins la multitrama de 26.

Recordem que l'SCH ens deia el número de trama en 19 bits. 11 bits són per al número de supertrama (de 0 a 2.047), 5 per al número de multitrama (de 0 a 25) i 3 per a la dècada de la trama en la multitrama de 51 (de 0 a 4) (sabem que l'SCH és en una trama acabada en 1). En aquest cas ens dirà que pertany a la supertrama núm. 0, a la multitrama de 51 núm. 0 i a la dècada de trama núm. 4. No cal que ens digui que és la trama 41, perquè l'SCH sempre és en trames que finalitzen en 1.

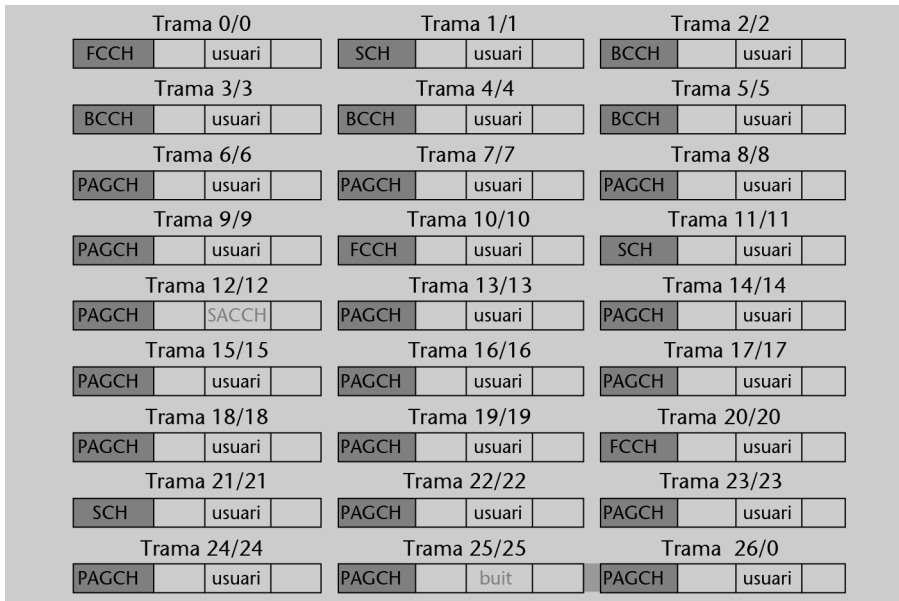
En la figura següent podem veure tota l'estructura.

Estructura de trames



En la figura següent veiem el contingut d'una trama en què hi ha informació de control en la ranura 0 i trànsit en una de les altres ranures. Es pot apreciar com en la ranura de trànsit només hi ha dades d'usuari i el SACCH, mentre que en la ranura de control tenim FCCH, SCH, BCCH i PAGCH. El gràfic es correspon amb la portadora de base a mòbil. La portadora de mòbil a base seria idèntica pel que respecta a les ranures de trànsit; en canvi, a les ranures de control sempre hauria el RACCH.

Exemple



Ràfega de trànsit

A la informació que posem dins una ranura li diem *ràfega*. En la figura següent tenim la composició (en bits) de la ràfega de trànsit.

Ràfega de tràfic

3	58	26	58	3
"0"	Bits d'usuari	Seqüència d'entrenament	Bits d'usuari	"0"

La seqüència d'entrenament la utilitza l'equalitzador de la següent manera: primer guarda els 58 bits inicials; després entrena amb els 26 bits i rep els altres 58 bits. Finalment, passa els primers 58 bits per l'equalitzador. El procés d'entrenament serveix perquè l'equalitzador conegui com s'està comportant el medi aire en aquell moment. El receptor sap quina és la seqüència que ha de rebre durant l'entrenament (*training sequence code*). Hi ha 8 possibles TSC, i la base diu al mòbil quina farà servir.

**Els terminals GSM...**

... disposen d'un equalitzador (vegeu la figura "Estació mòbil" en l'apartat 1.2.2) que s'adapta a les condicions del canal a cada moment. Així, quan sap que ha de rebre la seqüència d'entrenament, aprofita per a estimar l'estat del canal. Aquesta estimació la fa servir quan arriben dades d'usuari, que desconeix *a priori*.

Els bits d'usuari tenen la disposició de la figura següent:

Disposició dels bits d'usuari

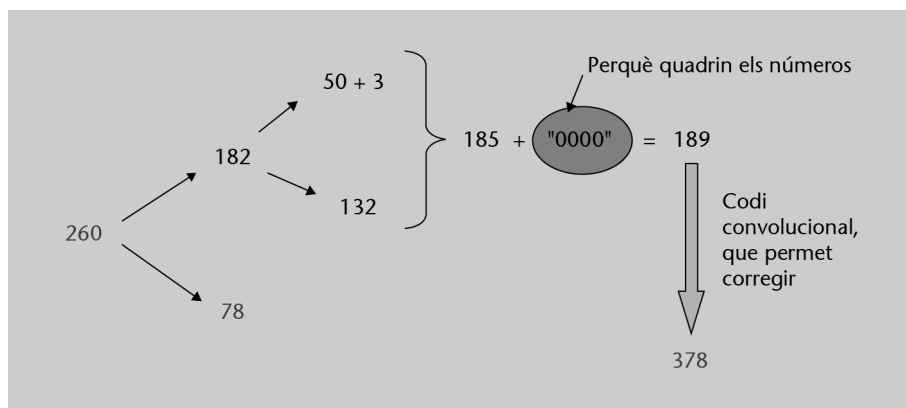


El bit aïllat indica si els 57 bits del costat són de trànsit o de senyalització d'alta velocitat (FACCH). Hi ha 1 bit per cada bloc de 57 perquè quan es "roba" el canal no cal fer-ho durant tota una ràfega.

Respecte als bits de veu, el GSM utilitza una compressió anomenada RPE-LTP (*regular pulse excitation long term prediction*). Cada 20 ms de veu generarà 260 bit. Els 1.280 bits corresponents a 20 ms de veu a 64 kbps es converteixen en 260 bits (a 13 kbps).

D'aquests 260 bits, no tots són igual de sensibles als errors. L'RPE-LTP classifica els bits en tres grups: 50 bits molt crítics (als quals afegeix 3 bit de redundància) anomenats de tipus Ia, 132 bits intermedis de tipus Ib i 78 bits poc crítics de tipus II.

Codificació dels bits d'usuari



Segons la figura anterior, els 260 bits es transformen en  $78 + 378 = 456$  bits. Observem que 20 ms de veu els col·locarem en 4 ranures ( $114 \times 4$ ).

Una multitrama de 26 (26 trames) té 24 ranures disponibles per a un usuari. Per tant, en 24 ranures portarem  $20 \text{ ms} \cdot 6 = 120 \text{ ms}$  de veu. Aquesta multitrama dura  $8 \cdot (15 / 26) \cdot 26 = 120 \text{ ms}$ . Per tant, en 120 ms de trama transportem 120 ms de veu.

Els 3 bits de redundància en els 50 bits més crítics es posen per a veure en recepció si algun dels 50 bits és erroni (això es fa veient si els 50 bits generen aquests 3 bits de redundància). Si hi ha error, se silencia la veu.

### 1.2.5. Accés

Aquí parlarem del canal RACH. Els mòbils utilitzen aquest canal quan volen accedir al sistema GSM.

Interessa que la ràfega d'accés coincideixi amb la ranura. Però això no sempre és possible, ja que si tenim 2 mòbils i l'un és a prop i l'altre lluny de l'EB, a un d'ells l'haurem d'enviar amb més potència i a l'altre amb menys. L'inconvenient és que els amplificadors no són instantanis, i tindriem un retard. El nostre objectiu és que les ranures dels terminals no s'encavalquin quan arriben a l'EB.

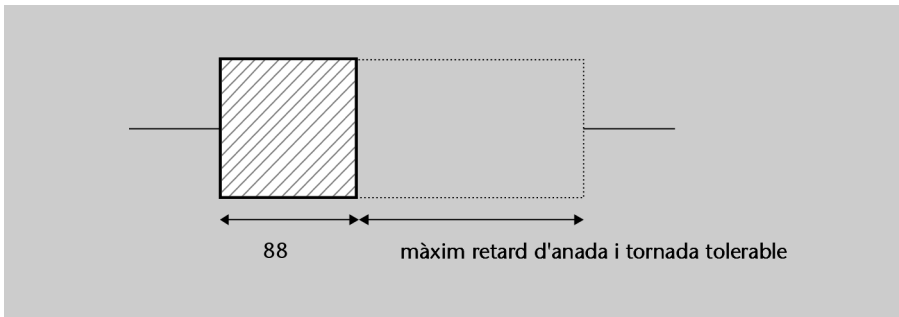
Tampoc ens podem fiar del nivell que rebem de l'EB per saber si som lluny o a prop de l'EB, ja que pot ser que la base emeti fort perquè hi ha algun obstacle.

El que es fa és enviar una ràfega d'accés petita, que ocupi una petita part de la ranura (88 bits). Ho veiem en la figura següent.

#### Codificadors

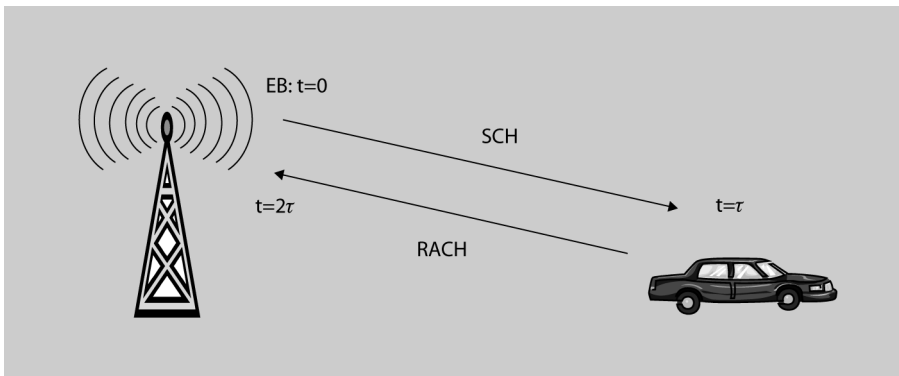
L'RPE-LTP és un codificador simple que comprimeix 20 ms de veu en 260 bits. Hi ha altres codificadors millors: VSELP, que comprimeix 20 ms de veu en 112 bits, i ACELP, que comprimeix 20 ms de veu en 244 bits.

## Ràfega d'accés



L'EB té l'origen de temps. L'envia al mòbil i li arriba retardat el temps d'anada. El mòbil el retorna i quan arriba a l'EB el retard ja és la suma dels temps d'anada i tornada (vegeu la figura següent).

## Retards entre la base i el mòbil



Amb aquesta ràfega, la base pot calcular el temps que el mòbil haurà d'avançar el seu origen de temps perquè les ràfegues de trànsit encaixin. Aquest temps que la base subministra al mòbil es diu *time advance*.

S'ha vist que 1 ranura dura  $15/26$  ms i que en aquest temps es poden transmetre 148 bits (vegeu la ràfega de trànsit). En realitat, es transmeten 156,25 bits (la diferència és un espai de guarda a l'inici i al final de la ranura). Per tant, el màxim retard d'anada i tornada és el temps corresponent a  $156,25 - 88 = 68,25$  bits.

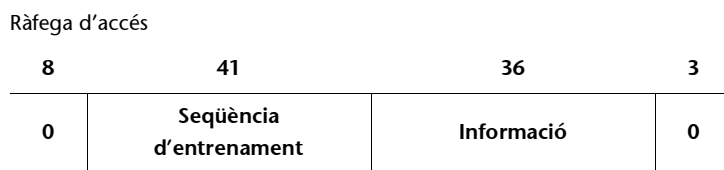
Establint proporcionalitats, si 156,25 bits corresponen a  $15/25$  ms, llavors 68,25 bits corresponen a  $252 \mu\text{s}$ . O sigui, en aquest temps l'ona ha de sortir de l'estació, arribar al mòbil i tornar a l'estació. Aplicant l'expressió  $e = v \cdot t$ , on  $e$  és l'espai,  $v$  la velocitat i  $t$  el temps, la distància màxima entre l'estació i el mòbil és de 37,8 km.

Aquesta és la limitació per la qual, en general, el radi de les cel·les està limitat a uns 35 km.

El *time advance* és un número de 6 bits que indica el nombre de bits de retard que el mòbil ha d'aplicar (entre 0 i 63 bits).



En la figura següent veiem com és la ràfega d'accés:



La seqüència d'entrenament es posa al començament perquè la ràfega no és tan llarga com ho era la de trànsit. La informació són 8 bits d'usuari i 28 de protecció. Dels 8 bits d'usuari, 3 donen el motiu de l'accés i 5 són un nombre aleatori generat pel terminal. Els motius d'accés poden ser una localització, la resposta a un *paging*, una trucada d'emergència i una petició d'usuari. Òbviament, no tots els motius són tractats amb la mateixa prioritat.

### Procés per a accedir

- 1) El mòbil envia la ràfega d'accés pel RACH.
- 2) L'EB contesta pel canal PAGCH (recordem que aquest canal serveix per a fer un *paging* o confirmar un accés). La informació que dóna és:

- nombre aleatori (el que li ha enviat el mòbil pel RACH)
- canal assignat (portadora i ranura)
- potència a la qual hem de transmetre
- *time advance* (perquè les ràfegues de trànsit encaixin en la ranura)

La utilitat del nombre aleatori és identificar el terminal al qual vol accedir. Com que l'IMSI no cap en 5 bits, s'envia un nombre aleatori.

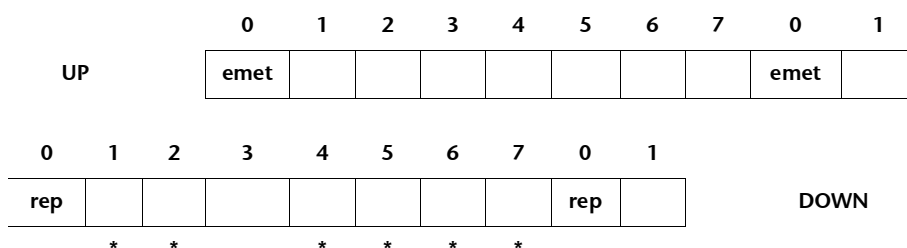
- 3) Pel canal de trànsit, el mòbil envia un missatge inicial, en el qual hi ha:

- revisió de l'estàndard que el mòbil és capaç d'entendre
- potència del terminal (màxima)
- capacitat de missatges curts (tipus de visualitzador...)

### 1.2.6. Funcionament en trucada

S'utilitzen dues freqüències. Transmetre i rebre en la mateixa ranura de cada banda no seria fiable a causa del duplexor. Farem que la banda d'emissió i recepció estiguin decalades tres ranures (figura següent). Així, el duplexor es podrà substituir per un interruptor, ja que les 2 ranures al mig li donen temps a commutar.

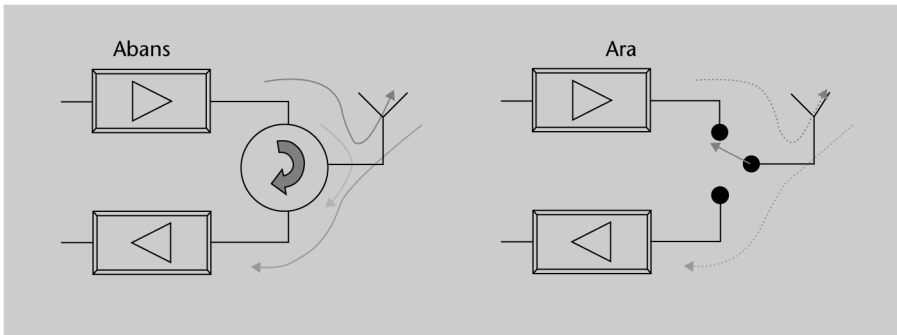
Decalatge de tres ranures



\*: durant aquest temps, monitoritza les 6 bases adjacents.

En la figura següent veiem les diferències entre el duplexor i el commutador.

Duplexor enfront de commutador



L'estació base sí que necessitarà el duplexor, ja que transmet i rep al mateix temps.

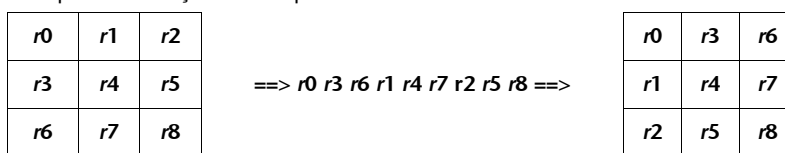
## Entrellaçament

Mentre que els codis convolucionals corregeixen errors aïllats, l'entrellaçament permet trencar ràfegues d'errors. Hi ha dos tipus d'entrellaçament que s'usen en GSM:

### 1) Entrellaçament temporal (*interleaving*)

Introduïm la informació en una matriu per files i la llegim per columnes. El receptor farà el procés invers. En la figura següent es pot observar com en el canal no viatgen bits consecutius (en l'exemple, l'ordre natural dels bits és  $r_0, r_1, \dots, r_8$ ):

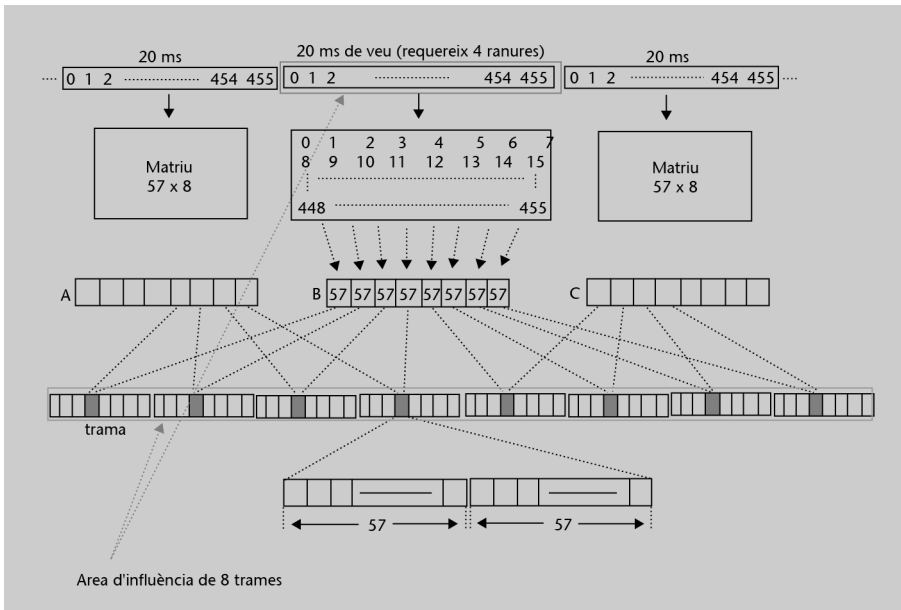
Exemple d'entrellaçament temporal



Si volem protegir molt, necessitarem matrius grans i això provocarà un retard. Si el mòbil està quiet, aquesta tècnica no és útil, ja que si hi ha un esvaïment en la posició del mòbil, tots els bits seran erronis.

En la figura següent tenim el procés d'entrellaçament temporal. En GSM parteix de blocs de 456 bits i utilitza una matriu de 57 files i 8 columnes. L'emplenem per files i es generen 8 subblocs de 57 bits cadascun (bits adjacents són en diferents subblocs). Aquests blocs es col·locaran en les ranures tal com s'il·lustra en la següent figura. S'ha de destacar que en una ranura de trànsit va la informació de 2 subblocs de 57 bits cadascun, però aquests subblocs no són del mateix bloc de 456 bits, sinó que són 57 bits d'un bloc i 57 bits del següent. Això fa que l'entrellaçament de GSM sigui molt potent.

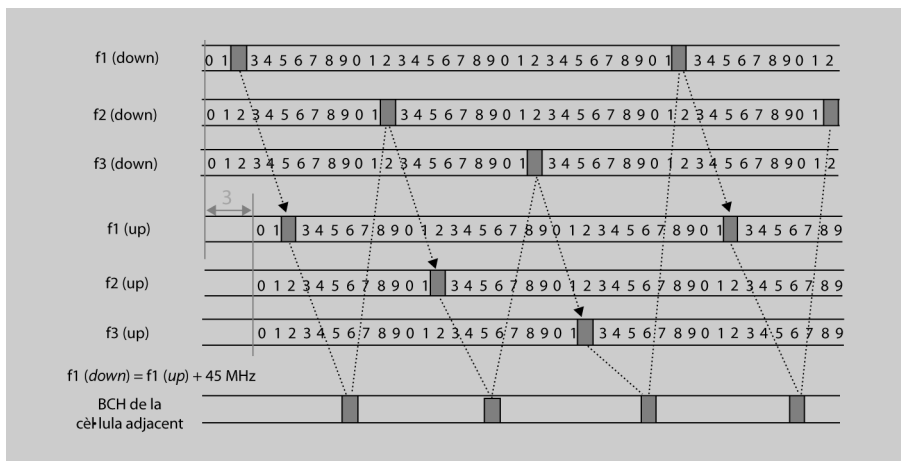
Entrellaçament temporal



2) Entrellaçament freqüencial (*frequency hopping*)

En aquest cas, tant el modulador com el desmodulador són de freqüència variable, per la qual cosa anem transmetent la informació a diferents freqüències. Per exemple, una EB que tingui tres portadores disponibles, farà els següents salts (figura següent):

Entrellaçament freqüencial



Observem en el dibuix que el canal de control no fa salts, ja que els mòbils d'EB veïnes també el van mirant per veure el seu nivell.

Encara que el mòbil estigui parat, aquest tipus d'entrellaçament és molt útil, ja que si hi ha un esvaïment en un punt a una freqüència, potser no n'hi haurà a una altra.

Transmissió discontinua (*DTX mode*)

Aquesta opció està disponible en la segona fase de les especificacions del GSM. Dels 13 kbps es passa a 500 bps durant els períodes de silenci, amb la qual cosa es redueix el consum del mòbil.

Per a fer-ho, utilitza l'algorisme VAD (*voice activity detector*). Si detecta inactivitat durant 4 ràfegues de 20 ms seguides, utilitza aquests 80 ms per a calcular els paràmetres del soroll de fons i mentre no detecti activitat els actualitza cada 480 ms. Això s'aplica en els dos sentits. Com que si parlem no escoltem i al revés, el mode DTX estarà actiu durant més del 50% del temps.

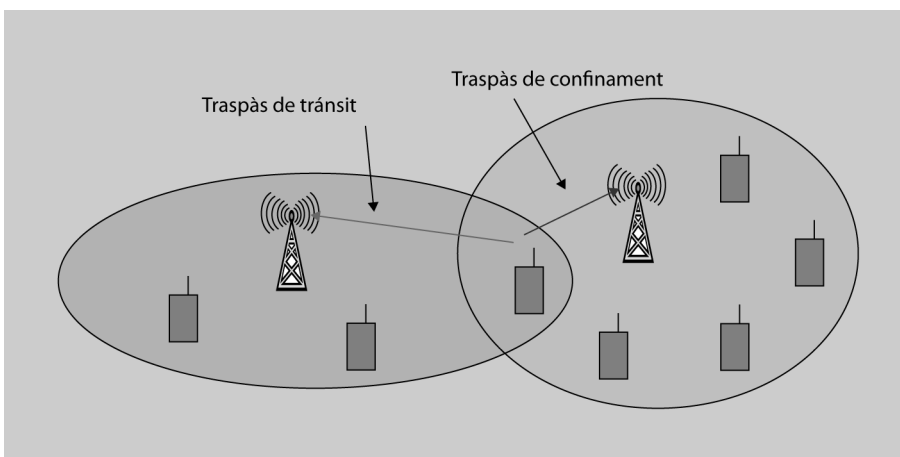
### 1.2.7. Traspàs

Hi ha tres causes per les quals podem fer un traspàs:

- 1) traspàs de rescat: es fa per motius de qualitat, quan ja hem baixat per sota d'un cert nivell.
- 2) traspàs de confinament: fem un traspàs a la cel·la més propera per reduir la potència transmesa. Amb això:
  - estalviem bateria
  - reduïm les interferències (tenim més capacitat)
- 3) traspàs de trànsit: treu trucades de cel·les sobrecarregades. Així, reduïm la probabilitat de bloqueig.

Els dos últims són complementaris, com veiem en la figura següent.

Traspàs de trànsit i de confinament



En la BSC hi ha un algorisme de traspàs (cada operador té el seu). Li arriba informació de la potència que rep el mòbil, la qualitat, la congestió de les cel·les...

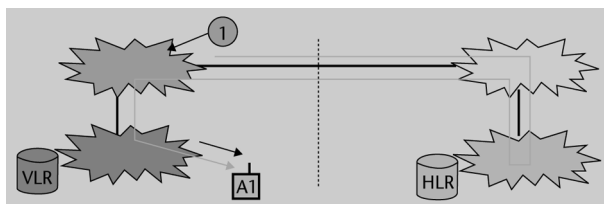
També hi ha cel·les paraigua que serveixen quan hi ha mòbils a alta velocitat que ens provocarien molts traspàsos.

### 1.2.8. Localització. Tarifació

La localització és el procés pel qual un mòbil informa de la seva posició. Quan un terminal fa ús de la infraestructura d'un operador al qual no està abonat, es diu que fa itinerància. Vegem dos exemples:

- **Cas 1:** un terminal A (d'un operador A) es localitza en la xarxa d'un operador B. Com que l'operador B no té dades d'ell, mitjançant la senyalització núm. 7 (paquets) demanarà dades a l'operador A. En la base de dades de A s'indicarà que aquest abonat serà a B (per si algú el busca).
- **Cas 2:** suposem l'entorn de la figura següent. Quan un abonat fix (1) vol trucar a un mòbil (A1), cal conduir-lo a través de l'operador A, ja que la xarxa fixa no sap que A1 ja era al seu país. L'HLR de l'operador A reenvia la trucada. El que seria una trucada local es converteix en dues d'internacionals. Hi ha una solució (operativa en la fase 2+) anomenada **optimal routing**, que faria que es fes la consulta a l'HLR de l'operador A però la trucada es fes des de l'origen fins al VLR (seria una única trucada, però l'usuari mòbil no sabia el que li cobren, ja que és el preu d'un altre operador).

Exemple



La persona trucada paga el tros degut al seu desplaçament (és lògic que qui es mou pagui per la seva mobilitat). A més, qui truca no sabrà si l'altre era a prop o lluny de casa, ja que no ho notarà en el rebut.

Hi ha alguns operadors PCS1900 d'Amèrica que si estàs en itinerància no cobren els primers instants de la trucada (per si fos un error).

No hem de confondre localització i *paging*. Mentre que localització és el procés pel qual un mòbil informa de la seva posició, el *paging* és la recerca que fa la xarxa en una determinada àrea de localització.

#### Tarifació

Abans s'ha comentat que quan un abonat està en itinerància, si li truquen, haurà de pagar la part internacional de la trucada. Vegem alguns conceptes generals del procés de tarifació en la xarxa GSM.

Mentre que en telefonia fixa la tarifació va orientada a l'abonat (s'incrementa un comptador de passos), en GSM la tarifació va orientada a la trucada. Per cada trucada es genera un **toll ticket**, que és un registre que conté totes les da-

des que s'utilitzaran en el procés de tarifació. Aquests tiquets es passen al *billing center*, on es generen les factures per cada abonat en funció del tipus de trucada, franja horària, durada i tipus de contracte.

Hi ha diferents tipus de *toll ticket*: quan el mòbil origina una trucada, quan la trucada finalitza en un mòbil, pel servei de missatges curts, quan s'activa algun servei suplementari del GSM, etc. Quan s'ha de cobrar a l'abonat mòbil, el *toll ticket* conté la tarifa, mentre que en cas contrari no s'inclou. Així, si la trucada va cap a un mòbil, a aquest no se li ha de cobrar res llevat que estigui en itinerància.

Quan entra en una xarxa un abonat que no hi pertany, l'operador que hagi de cobrar enviarà els seus *toll tickets* a l'abonat principal, perquè aquest cobri a l'abonat. Hi ha dues maneres de fer-ho: a) enviant-se les factures de manera periòdica; b) a través de la Cambra de Compensació o *Clearing House*, organisme amb el qual es posen d'acord les operadores interessades i que actuarà d'intermediari entre totes elles. Així, cada operador haurà de pagar (o cobrar) una única quantitat a la *Clearing House*, i no ho haurà de fer per cadascuna de les operadores amb les quals tingui acords d'itinerància.

Els sistemes de prepagament es basen en un sistema centralitzat. Quan arriba una petició per a fer una trucada al sistema de trucades:

- 1) El sistema de trucades avisa el sistema de prepagament.
- 2) El sistema de prepagament demana informació al *Billing Center* de quina pot ser la durada màxima de la trucada, atenent el crèdit de l'abonat.
- 3) El sistema de trucades autoritza la trucada (l'encamina) o la denega. En el primer cas, controla que la durada no excedeixi del límit.
- 4) Quan ha finalitzat la trucada, el sistema de trucades en demana al *Billing Center* les dades, i s'actualitza el crèdit.

## 2. Xarxes 2.5G

Els sistemes de primera generació van evolucionar als de segona (GSM). L'evolució natural del GSM són els sistemes de tercera generació (3G), però atesos els retards en la implantació de la 3G van aparèixer alguns estàndards amb prestacions menors que la 3G i que es coneixen com la *generació 2.5* (2.5G).

### 2.1. Introducció

GSM va ser pensat per a transmetre veu, tot i que ofereix la possibilitat de transmetre dades fins a 9.600 bps. Es van desenvolupar tres sistemes que permetien obtenir més velocitat aplicant algunes modificacions a la xarxa GSM. Aquests sistemes són el HSCSD, GPRS i EDGE, i es consideren sistemes 2.5G.

#### HSCSD (*high speed circuit switched data*)

És una transmissió de dades en mode circuit a alta velocitat. Es pot utilitzar més d'1 interval de la trama TDMA (teòricament fins a 8; pràcticament fins a 4). La velocitat pot arribar a 38,4 kbps (9,6 x 4) o bé 57,6 kbps (14,4 x 4).

Tots els canals han de tenir les mateixes seqüències d'entrenament i *frequency hopping*.

Pot ser asimètric (*uplink* i *downlink* amb diferents velocitats). Per exemple, un HSCSD de classe 2 és de la forma 2 + 1 [19,2 kbps + 9,6 kbps].

HSCSD ens permet garantir la velocitat, ja que l'usuari disposa de les ranures per ell sol. Però hi ha molts problemes:

- **Problemes per a l'usuari**

- Un terminal de, per exemple, 2 ranures consumeix el doble de bateria i paga les transmissions al doble de preu.
- Amb 3 o més ranures, cal un duplexor en el terminal.

- **Problemes per a l'operador**

- Depenent de la congestió de la cèl·lula, tenim traspassos complexos, ja que necessitem més d'una ranura per a fer un traspàs (hi ha el perill que no tinguem ranures lliures).

- L'establiment és complicat. Això fa que no sempre se'ns assigni la capacitat sol·licitada.
- La facturació és complexa (en principi factura per temps, per la qual cosa s'adapta a navegació contínua i no a ràfegues –navegació–).
- Redueix els recursos per serveis de veu.
- És poc reutilitzable per UMTS.
- A Espanya no el suporta cap operador. El GPRS ha influït en la seva poca acceptació.

### **GPRS (*general packet radio service*)**

És una transmissió de dades en **mode paquet** en la interfície de ràdio. La veu segueix anant per circuits i, per tant, els paquets es basen en el protocol Internet (IP). En general, es defineixen per a GPRS les ranures sobrants de GSM (la qual cosa va molt bé als operadors, ja que poden assignar més o menys recursos a la part GPRS depenent dels recursos que està consumint la part GSM). També es poden definir ranures d'ús exclusiu GPRS, però en general la telefonia sempre és prioritària.

- Avantatges de la commutació de paquets respecte a la de circuits:
  - Diversos usuaris podran compartir un canal.
  - Podrem tenir velocitats asimètriques.

### **EDGE (*enhanced data rates for GSM evolution*)**

El seu principal objectiu és obtenir velocitats fins a 384 kbps [típicament, 236 kbps de baixada i 177 kbps de pujada] (aprox., triplica la del GPRS). A més d'aquest increment de velocitat, també incrementa la capacitat del sistema, ja que en la mateixa ranura temporal hi podrà haver més usuaris.

Una operadora el pot introduir amb dos objectius:

- Per millorar el GSM (ECSD, *enhanced circuit-switched data*).
- Per millorar el GPRS (EGPRS, *enhanced general packet radio service*). Aquesta és la que ha tingut millor acceptació.

Es pot entendre com un pas intermedi entre GPRS i UMTS.

Requereix canvis en les estacions base (BTS) i els seus controladors (BSC), però no afecten el nucli de la xarxa (MSC...). També calen nous terminals (que són duals GSM, GSM/EDGE), ja que bàsicament canvien característiques de la capa física: noves modulacions i nous codificadors.

La majoria de BTS/BSC GSM són compatibles amb GSM/EDGE.



Als Estats Units també tenen sistemes 2.5G. El 1992 teníem l'IS-95 (sistema 2G). El 1995, a l'IS-95 se li va millorar el codificador de veu i va donar lloc a l'IS-95a, que permet una velocitat de 14,4 kbps. L'IS-95b permet unir 8 canals de 14,4 kbps, a l'estil de l'HSCSD, i segueix utilitzant commutació de circuits. L'IS-95c (semblant al GPRS) utilitza commutació de paquets i permet fins a 144 kbps.

En aquest apartat descriurem el GPRS, que és, sense dubte, el més popular dels sistemes 2.5G.

## 2.2. GPRS

Aquest sistema és útil per a aplicacions que requereixen moltes transmissions de poques dades o poques transmissions d'un volum mitjà de dades. GPRS permet més velocitat que GSM. Això és possible perquè:

- Fa servir fins a quatre diferents esquemes de codificació, depenent del que permeti el canal.

	Bits de dades en cada bloc de 456 bits	Bits de CRC	Velocitat per ranura (bruta)	Velocitat per ranura (neta)
CS1	184	40	9,05 kbps	8 kbps
CS2	272	16	13,4 kbps	12 kbps
CS3	320	16	15,6 kbps	14,4 kbps
CS4	440	16	21,4 kbps	20 kbps

Així, el mode CS4 només és possible en canals amb una relació senyal-soroll molt elevada, ja que no té redundàncies. En canvi, el mode CS1 té més redundàncies de les que GSM aplicava a la veu. Es considera que CS4 és aplicable si la relació senyal-interferència ( $C/I$ ) és superior a 16 dB; CS3 és aplicable si  $C/I > 10$  dB i CS2 si  $C/I > 6$  dB. Si  $C/I < 6$  dB només podem optar al mode CS1. És la xarxa qui escull el sistema de codificació. Cada radiobloc (456 bits) es pot transmetre amb un mode diferent.

- Permet unir ranures (fins a 8 ranures teòricament). Un terminal no pot usar ranures de diferents portadores i les ranures han de ser consecutives. Per això es comencen a assignar les ranures de veu a partir del 0 (i augmentant) i de GPRS a partir del 7 (i disminuint).

En el millor dels casos (CS4, 8 ranures) podríem arribar a  $21,4 \cdot 8 = 171,2$  kbps de velocitat teòrica.

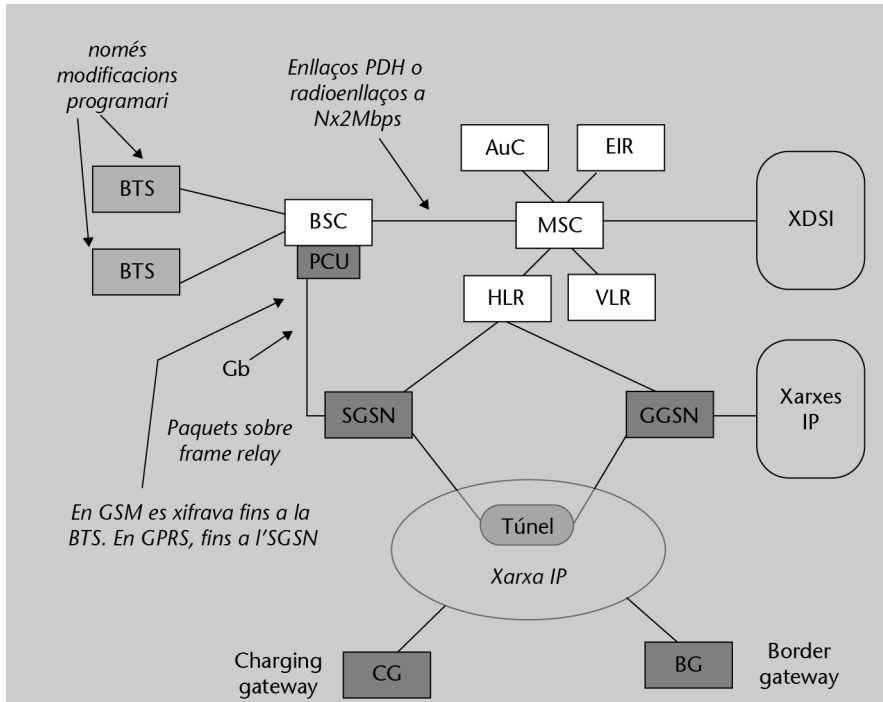
### 2.2.1. Arquitectura

Per a disposar de GPRS sobre una arquitectura GSM cal afegir dos elements:

- **SGSN** (nodes de suport de servei GPRS, *servicing GPRS support node*), que encamina les dades entre el troncal GPRS i les EB. Tot terminal tindrà un SGSN que el va seguint.
- **GGSN** (passarel·la GPRS, *gateway GPRS support node*), que és una passarel·la entre les xarxes externes i la xarxa GPRS. Estableix el procés de *tunneling*.

A més, s'afegeix un bloc **PCU** al **BSC**, que gestiona l'ús de les ranures per poder transmetre els paquets. També es disposa d'un element anomenat **BG**, que connecta de manera segura la xarxa GPRS amb altres xarxes GPRS i del **CG**, que facilita la feina al *billing system* de GSM. En la figura següent tenim tots els elements.

Arquitectura GPRS



- **Funcions de l'SGSN:**

- Gestionar l'autenticació. Si té èxit, es fa el registre en la xarxa GPRS i la seva gestió de mobilitat.
- Recollir dades de facturació (les envia al CG) i estadístiques de trànsit.
- Enrutar les dades al GGSN adient.
- Fer la recerca (*paging*) dels terminals (perquè el mòbil passi d'un estat de repòs a un estat actiu).

- **Funcions del GGSN:**

- Recollir dades de facturació (les envia al CG) i estadístiques de trànsit.
- Encaminar paquets generats pel mòbil.
- Quan el GGSN rep dades per un cert usuari, mirar si l'adreça és activa. Si ho és, el GGSN dóna les dades a l'SGSN que segueix el mòbil. Si no, es descarten (abans, mira d'activar-ho).
- Proporcionar adreces IP als terminals GPRS quan es fa servir adreçament dinàmic.

Hi ha tres tipus de terminals:

- **Classe A** (els més sofisticats): ús simultani de GSM i GPRS.

- **Classe B** (els més habituals): el terminal està registrat als dos serveis, però quan un d'ells està actiu, l'altre queda en suspens i es prioritza la veu (si parlem, les comunicacions de dades estan suspeses).
- **Classe C**: hem d'escollir manualment GSM o GPRS (típic dels mòdems GPRS).

També es poden classificar els terminals en funció del nombre de ranures que poden fer servir i com les distribueixen per les comunicacions de base a mòbil o de mòbil a base:

classe	down	up	max
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4

classe	down	up	max
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5

Així, un terminal de classe 6 pot destinar fins a 3 ranures per a les comunicacions *down* (de base a mòbil) i fins a 2 ranures per a les *up* (de mòbil a base) però simultàniament no en pot fer servir més de 4.

### Exemple

Un terminal classe 8 (també anomenat 4 + 1) pot fer servir 4 ranures per a rebre. Si l'esquema de codificació és el CS2, pot rebre a  $13,4 \cdot 4 = 53,6$  kbps teòrics (enfrent els 9,6 kbps de GSM).

Es tarifa per quantitat d'informació transmesa i rebuda (no per temps de connexió), cosa que permet a l'usuari estar sempre connectat. S'habiliten mecanismes d'acceptació d'informació (ja hem dit que també ens facturen per la informació rebuda).

### 2.2.2. Context PDP

El context PDP (*packet data protocol*) conté la informació per tal que un mòbil pugui enviar o rebre dades a través de GPRS. Sempre és el mòbil que sol·licita l'activació d'un context PDP, que consta del següent:

- *PDP address*: adreça IP (que s'ha assignat al terminal).
- *PDP type*: tipus de context (X25, IPv4, IPv6...).
- *QoS profile*: qualitat de la connexió negociada (extrem a extrem). Hi ha cinc paràmetres que defineixen la QoS:
  - Prioritat: hi ha tres classes (tres nivells) de prioritat.
  - Fiabilitat (probabilitat de pèrdua, duplicació... de paquets): tres classes.
  - Retard (hi ha quatre cues entre BSS i SGSN): quatre classes (cues).

- Cabal màxim: 9 classes.
- Cabal mitjà: 19 classes.
- A més, depenent de si aquest context el fa servir el mòbil, l'SGSN o el GGSN, encara hi ha un altre paràmetre:
  - *GGSN address* i TID: indica l'adreça del GGSN i l'identificador del túnel. El fan servir l'SGSN i el mòbil.
  - *SGSN address* i TID: indica l'adreça de l'SGSN i l'identificador del túnel. El fa servir el GGSN.

#### Túnel

El túnel és el camí que s'estableix entre l'SGSN i el GGSN dins la xarxa IP.

L'APN (*access point name*) és un paràmetre enviat des del terminal en activar un context PDP o és escollit per l'SGSN en el mateix procés. És una referència del node GGSN que s'ha de fer servir. L'APN, o punt de sortida, té dues parts:

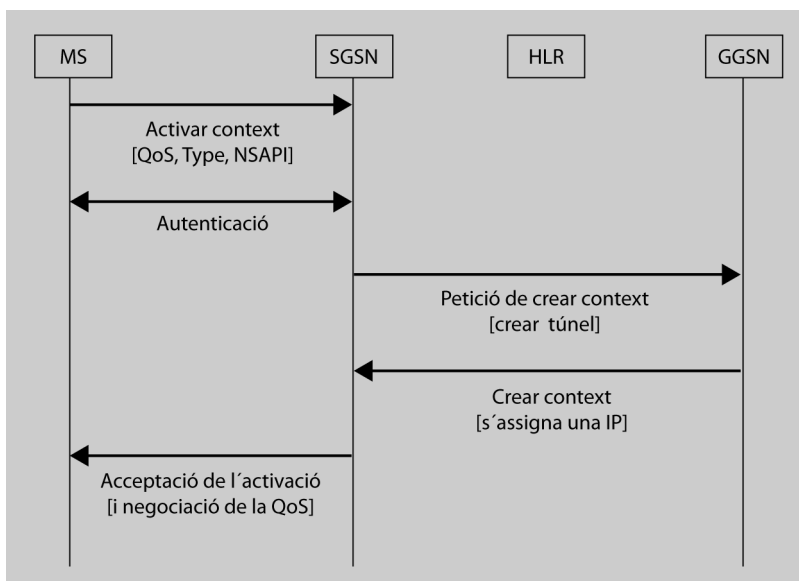
- *APN network identifier*: És obligatori. És habitual assignar els mateixos noms que dominis d'Internet ( p. ex., apn1.uoc.edu).
- *APN operator identifier*: Opcional, identifica l'operador al qual estem subscrits. Finalitza en gprs ( p. ex., MNC01.MCC214.gprs).

Els DNS permeten convertir els APN (nom de màquina) a adreces IP.

Per tal que un terminal mòbil pugui fer un intercanvi de dades amb un altre equip, és imprescindible activar el context PDP amb el GGSN corresponent. Els GGSN han de tenir funcionalitats de tallafoc *-firewall-*per evitar rebre paquets no volguts. L'usuari pot dir quin tipus de paquets i de quines adreces vol rebre.

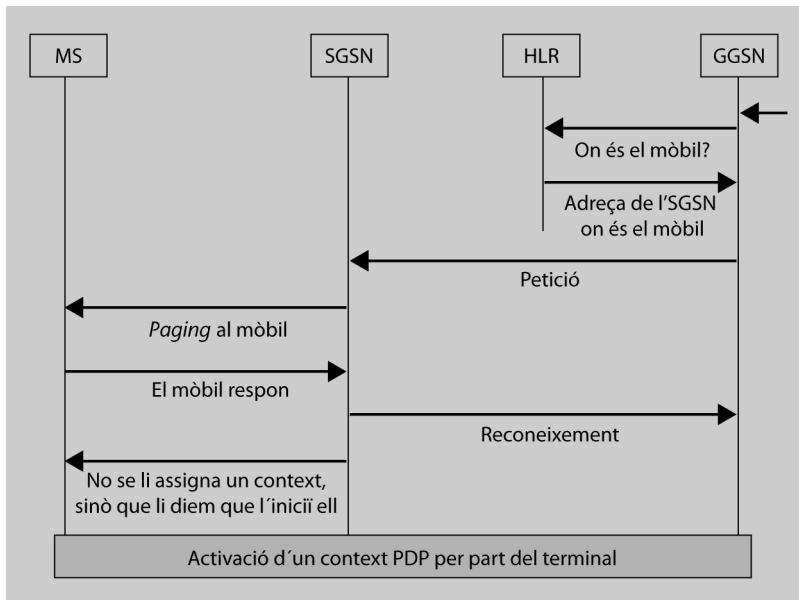
L'activació d'un context PDP per part del terminal (figura següent) s'inicia amb la petició d'activació que el terminal fa a l'SGSN. Un cop autenticat l'usuari, l'SGSN demana un túnel al GGSN, qui li assigna una IP. Finalment, l'SGSN confirma l'activació al terminal i negocien la QoS.

Context PDP activat per un terminal



Si és la xarxa qui vol activar un context PDP (figura següent), el GGSN consulta en les bases de dades on és l'usuari que busquem i demana a l'SGSN que faci un *paging*. Un cop el terminal ha estat localitzat, se li demana que sigui ell qui iniciï l'activació del context PDP.

Context PDP activat per la xarxa



### 2.2.3. Gestió de la mobilitat

L'SGSN és l'element encarregat d'aquesta gestió. La informació del context de mobilitat resideix en aquest element. Un context de mobilitat consta del següent:

- IMSI
- *Routing area*: ens diu en quin grup de cel·les és el terminal.
- *Cell ID*: ens diu en quina cel·la és el terminal.
- *MM state*: hi ha tres estats de mobilitat:
  - *idle*: desocupat/inactiu.
  - *ready*: preparat/actiu. Està actualitzat el *cell ID*.
  - *standby*: espera/repòs. Només està actualitzat el *routing area*.
- TLLI (*temporary logical link identity*) + NSAPI (*network layer service access point identifier*). Ens permet identificar perfectament l'aplicació i l'usuari.
  - TLLI: identitat del mòbil (32 bits), diferent per als mòbils sota un SGSN.
  - NSAPI: podríem tenir dues aplicacions diferents (p. ex., sobre X25 i IP), cadascuna amb un NSAPI diferent.
- També consta dels diferents contextos PDP. És per això que no hi pot haver contextos PDP si no estem actius quant a mobilitat.

#### Un mòbil està sempre...

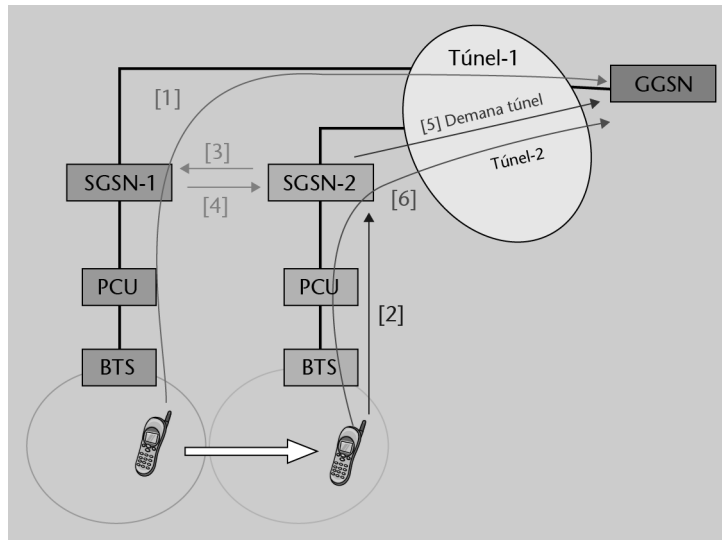
... en una determinada cèl·lula, que té un *cell ID* propi. Però per a evitar actualitzar la base de dades cada vegada que es canvia de cèl·lula, el que es fa quan el mòbil està en repòs és conèixer només en quin grup de cèl·lules es troba (i si algú el busca, el *paging* es farà a totes les cèl·lules d'aquest grup).

#### Observació

L'identificador del túnel conté l'IMSI i l'NSAPI.

Per a actualitzar el túnel degut al moviment del terminal (figura següent), cal una coordinació entre els SGSN implicats. L'identificador del túnel el crea l'SGSN i l'envia al GGSN. El TID també es fa servir per a enviar dades d'un SGSN a un altre després d'una actualització de la *routing area*.

## Actualització d'un túnel



### 2.2.4. Funcions de la PCU

La PCU és la unitat que és en el BSC i que discrimina si les informacions han d'anar per la xarxa GSM o per la xarxa GPRS.

Si les dades van cap al terminal, la xarxa parteix els paquets en radioblocs i la PCU decideix quan els envia a cada terminal (en ser asimètric, pujada i baixada es tracten de forma separada). Hi ha un identificador de flux (*temporary flow identity*, TFI, 5 bits) que assigna la xarxa per tal que cada terminal sàpiga quina és la seva informació. Aquest TFI s'inclou en els paquets per a permetre una repetició selectiva.

Si les dades es generen en el terminal, el terminal demana capacitat, la xarxa confirma la petició, el terminal explicita els recursos sol·licitats, les seves capacitats, el TLLI i el nombre de bytes i finalment s'assigna la capacitat.

Una vegada la xarxa ha assignat la capacitat, sorgeix un problema. En el *downlink* no hi havia cap problema perquè la PCU tenia tota la informació, però ara, com sap el terminal en quin moment pot transmetre? Per a solucionar-ho, en les negociacions de sol·licitud de capacitat, l'usuari rep un USF (*uplink state flag*, 3 bits), únic en aquella cèl·lula.

Cada radiobloc *downlink* porta un USF que indica que l'usuari amb aquell USF podrà fer servir el següent radiobloc *uplink*. Si USF = FREE, el següent radiobloc *uplink* està destinat a l'accés (P-RACH).

En un radiobloc *downlink* la xarxa ens diu:

- Per a qui és aquell radiobloc *downlink* (TFI). Màxim: 32 TFI.
- Qui podrà transmetre en el següent radiobloc *uplink* (USF). Màxim: 8 USF.

Observem que disposem de dues prestacions que GSM no tenia:

- 1) possibilitat de definir qualitats de servei
- 2) asimetria en l'enviament/recepció de dades

### 2.3. Serveis sobre GSM/GPRS

Sobre GSM i GPRS podem tenir diversos serveis, a més del servei de veu:

- **Servei de dades:** velocitats fins a 9.600 bps (en el cas de GSM), tot i que pot variar si entre els dos extrems establim protocols de correcció d'errors i/o de compressió.
- **Servei de missatges curts (SMS, *short message service*):** pot ser punt a punt (fins a 160 caràcters, amb la possibilitat d'enviar missatges més llargs encadenant diversos SMS), però també pot ser punt a multipunt (per exemple, una autopista que envii missatges amb l'estat del trànsit als mòbils que estan circulant per una determinada zona conflictiva). Més endavant, en aquest mateix apartat, parlarem dels SMS.
- **Datàfon:** servei adreçat a empresaris que no tenen al seu abast una línia telefònica fixa i que necessiten disposar de la possibilitat de cobrar amb targeta de crèdit.
- **Serveis de posicionament:** com que la xarxa GSM sap en quina estació base som i les operadores saben les coordenades de les estacions base, hi ha serveis que aprofiten aquesta informació per a poder localitzar el terminal. Més endavant, en aquest mateix apartat, parlarem d'aquests serveis.
- **Pagament per mòbil:** són sistemes en els quals escrivim el número de mòbil en el terminal punt de venda –TPV– en lloc del número de la targeta. El número de mòbil rep un missatge en què se'n demana autorització.
- **Altres:** correu electrònic, servei de fax, accés a Internet, telemedicina, etc.

#### 2.3.1. Serveis de missatges

Des que el desembre de 1992 es va enviar el primer SMS, han sorgit necessitats de transmetre quelcom més que text. Veiem a continuació els avantatges i inconvenients de l'SMS i dels sistemes emergents:

##### SMS (*short message service*)

La utilitat de l'SMS és enviar (i rebre) missatges de **text**.

##### El primer SMS...

... es va fer servir per a felicitar el Nadal.

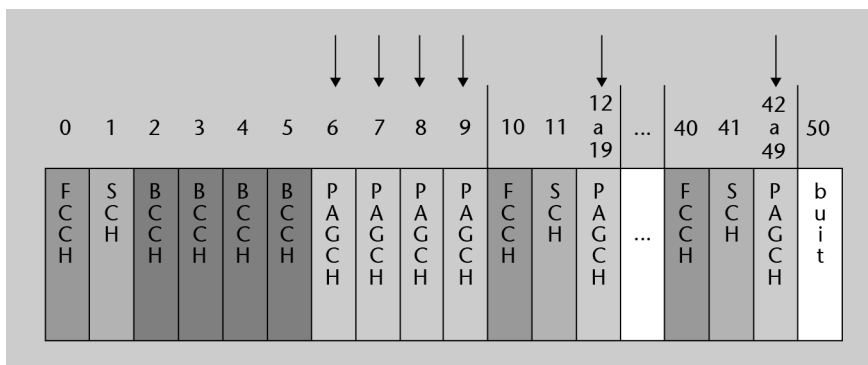
**a) Els avantatges són:**

- Els missatges van a un *SMS center*, que els guarda per si la destinació no està disponible. Quan ho està, li fa arribar (sistema *store and forward*).
- Atès que **guarda tots els missatges**, el sistema pot confirmar si el lliurament s'ha realitzat o no.

**b) Els inconvenients són:**

- Seria més òptim que el sistema fos *store and forward* només quan la destinació no està disponible, i que en la resta de casos fos només *forward*.
- Per limitacions dels canals de senyalització de la xarxa GSM (que és per on van els SMS), no poden tenir més de 140 bytes (són 160 caràcters castellans a 7 bits/caràcter –o 70 de japonesos a 16 b/c–).
- En els **canals de senyalització** van les senyalitzacions GSM i els SMS, per la qual cosa podem tenir sobrecàrrega:
  - Quan hi ha una conversa activa, els SMS van en la senyalització lenta (SACCH) associada a la conversa (multitràma de 26).
  - Quan no hi ha una conversa activa, els SMS van en la multitràma de 51 (figura següent) que substitueix canals PAGCH. En aquest cas els SMS es transmeten més ràpid que quan hi ha conversa activa.

Multitràma de 51

**EMS (*enhanced messaging service*)**

La utilitat de l'EMS és enviar (i rebre) missatges amb text que té format (negreta, centrat, subratllat...), dibuixos (en blanc i negre i amb mides reduïdes –màxim de 96 x 64 píxels–), sons (hi ha estàndards sobre com definir aquests sons) i animacions bàsiques (mida màxima de 16 x 16 píxels).

Forma part de l'especificació 3GPP (UMTS). Pel que fa a l'operador, es comporta com **diversos SMS encadenats** (una melodia o un logo no sempre caben en



1 missatge). A causa de les seves propietats multimèdia, els diversos fabricants (Nokia...) tenen protocols propietari exclusius per als seus terminals.

### MMS (*multimedia messaging service*)

A més de tot el que permetia EMS –i sense tantes restriccions–, també permet enviar (i rebre) vídeo.

MMS introdueix **nous elements** en la infraestructura de xarxa. Els terminals hauran de ser nous (MMS no és compatible amb terminals anteriors). Un dels nous elements és una base de dades que guarda el perfil dels usuaris (tipus de missatges que vol baixar instantàniament...).

#### El primer terminal MMS...

... va estar disponible l'any 2000, però no va ser fins a final de 2002 que els terminals MMS van ser massius.

Tot i que està pensat per a xarxes 3G, és aplicable a GPRS. Com que aquestes xarxes són de gran capacitat, això permet que els missatges no vagin per canals de senyalització sinó per **canals de trànsit**.

El principal atractiu per a les operadores és que un MMS es factura a un preu unes quatre vegades superior a un SMS. La mida màxima del missatge depèn del terminal però també de l'operadora. Amb 30 kB tenim suficient per a una foto, però si volem transmetre diverses fotos o un petit vídeo podem necessitar 100 kB o més.

El llenguatge de presentació dels missatges és SMIL (*synchronized multimedia integration language*), que està basat en XML. Situa els fitxers de *media* en l'ordre en què volem que apareguin i els combina en 1 flux. En la figura següent podem veure un d'aquests editors d'MMS.

Editor d'MMS

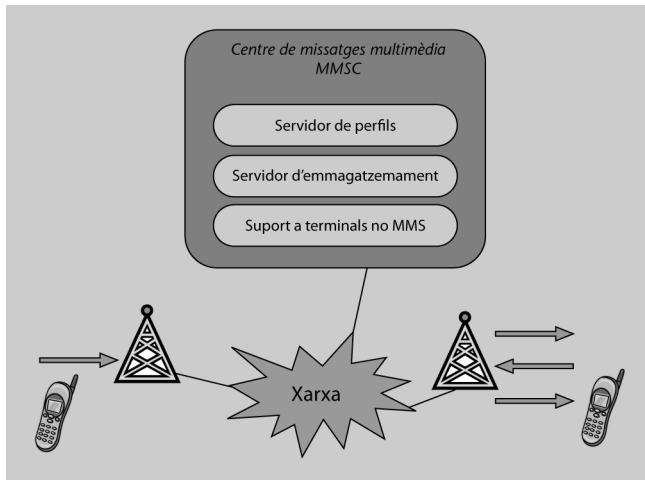


WEB

Es pot trobar la versió SMIL 2.1 (desembre de 2005) a [w3.org/TR/smil2](http://w3.org/TR/smil2).

L'arquitectura bàsica es fonamenta en un centre de missatges multimèdia (figura següent):

Centre de missatges multimèdia

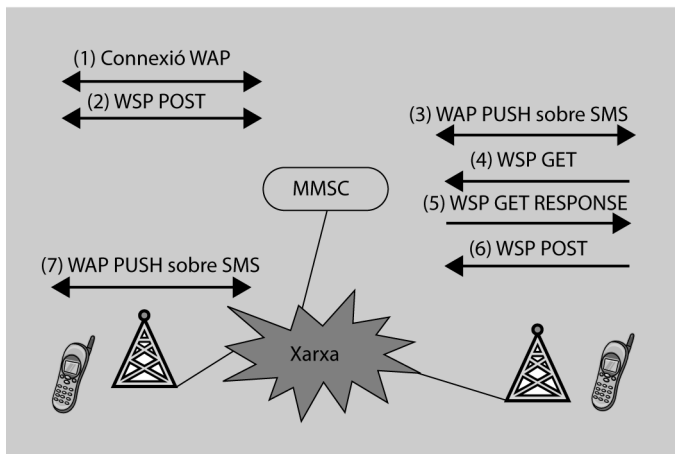


#### Observació

Wapforum, en l'UAPROF (*user agent profile*), ha definit un vocabulari de capacitats dels dispositius (CPU, tipus de navegador, mida de la pantalla...).

Si s'envia un MMS, aquest anirà a l'MMSC. Si el destinatari està disponible, se li envia un SMS que li ho notifica (li diu el número d'origen i la mida). El receptor el pot llegir, eliminar... L'emissor pot rebre una confirmació de lliurament. Tenim tot el procés en la figura següent.

Enviament d'un MMS



El servidor de perfils conté les preferències dels usuaris; el servidor d'emmagatzemament és on es guarden els missatges i el suport a terminals no MMS és per si enviem un MMS a un terminal que no en pot llegir. En aquest cas, al receptor li arriba un SMS que li diu que pot veure l'MMS en un determinat web.

Els missatges curts ofereixen moltes possibilitats per fer negocis. Com a exemple, l'any 2004 a Espanya es van enviar 52 milions de missatges al dia i les operadores van ingressar 2.000 milions d'euros per aquest concepte.

Una empresa que vulgui fer negoci amb els missatges pot connectar-se a través d'un W-ASP (*wireless application service provider*) o connectar-se a la plataforma de missatgeria dels operadors, on es paga un cost de connexió, quotes mensuals i el cost dels missatges. Aquesta última opció només és factible quan l'em-

#### Observació

Per Cap d'Any de 2007 a Espanya es van enviar més de 100 milions de missatges.

presa pensa gestionar molts missatges. A continuació s'enumeren alguns exemples d'aplicacions empresarials operatives:

- enviament diari del resum de vendes d'una empresa als directius
- enviament d'un mapa amb la posició de tots els camions d'una flota
- càmera detectora de moviment que envia un MMS quan s'activa
- votacions i concursos (ús habitual en les televisions)
- receptes de còctels
- enviament de mapes sol·licitats prèviament amb un SMS

### 2.3.2. Serveis de posicionament

Veurem aquí algunes tècniques de posicionament basades en GSM (sense la intervenció directa de sistemes de posicionament com el GPS...). Són els anomenats *LBS (location based services)*, que poden detectar la posició d'un mòbil sense que aquest hagi de trucar.

Els criteris més importants per a decidir entre tècniques basades en GSM i en GPS són:

- Economia del receptor: un receptor GPS és més car que un GSM.
- Cobertura: GPS no té cobertura en interiors.
- Resolució: GPS dóna més resolució.

#### COO (*cell of origin*) o *cell\_ID*

No requereix modificar ni els terminals ni la xarxa. És poc precís en general (ens diu a quina antena estem connectats). Té una precisió entre 80 i 500 m (ciutat) i 0,5 i 20 km (carretera). La precisió millora si es fa servir el *time advance* (en un factor  $2^6$ ). Així, de 35 km de precisió podem anar a 500 metres. Hi ha programaris que ens permeten saber el *cell\_ID* i el TA.

#### Observació

Es fa servir per a serveis d'emergència (protocol PO-SIC-112) i en el 010 dels ajuntaments que ho sol·licitin a les operadores.

Quan truquem al servei 112, es tradueix el número 112 al número complet del centre d'emergències de la zona on és l'usuari, es calcula la posició de qui truca i s'envia al centre d'emergències.

#### AOA (*angle of arrival*) o DOA (*direction of arrival*)

És com l'anterior però en torres que disposen d'antenes sectorials. En conèixer la direcció en què és l'usuari, encara es pot tenir més precisió.

#### E-CGI (*enhanced cell global identity*)

En GSM el terminal diu quin és el nivell de senyal de la cel·la que està usant i el de les estacions veïnes. Amb aquests nivells de senyal, si estíem les pèrdues de propagació (cal un model adient), podem estimar la posició.

### 3. Xarxes 3G

En aquest apartat parlarem de les xarxes de tercera generació. Tot i que esmentarem els diversos estàndards existents, ens centrarem en l'estàndard europeu UMTS.

#### 3.1. Panoràmica de les xarxes 3G

Les característiques que es demanen als sistemes de tercera generació (anomenats *IMT-2000* per la ITU) són:

- Alta densitat d'usuaris.
- Igual qualitat i cost que la xarxa fixa per a veu.
- Telèfons de butxaca amb diverses prestacions.
- Terminals d'alta velocitat per a serveis multimèdia en temps real.
- Velocitats fins a 2 Mbps.
- Integració de serveis en entorns tancats i cel·lulars en un sol equip (per exemple, un terminal GSM/DECT únic).
- Disseny flexible per a permetre futures ampliacions.
- Accés d'usuaris i traspassos gestionats de manera eficient.
- Facilitat d'itinerància entre operadors.
- Seguretat.
- Cobertura universal en terra, mar i aire (ús de satèl·lits, si s'escau).

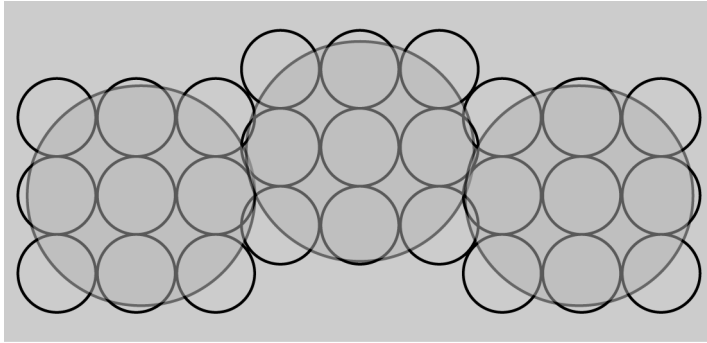
Alguns aspectes d'aquests nous sistemes són:

1) **Tipus de cèl·lules:** aquestes cèl·lules han d'interconnectar-se i funcionar de forma coordinada.

- **Picocèl·lules:** s'utilitzaran en interiors (radi aprox.: 30 m). Cobriran un passadís o una sala gran. N'hi haurà moltes, per la qual cosa serà necessari definir unes bones arquitectures d'interconnexió.
- **Microcèl·lules:** s'utilitzen en autopistes o àrees denses de ciutat (radi aprox.: 1 km). Típicament es posen en els pals d'il·luminació o en els ponts. L'ús d'antenes direccionals farà que el senyal no surti de la seva zona.
- **Macrocèl·lules:** radi menor als 40 km. Les seves dues principals aplicacions són donar cobertura en àrees rurals o com a cèl·lula paraigua en ciutats, com en la figura següent.

2) **Banda freqüencial:** l'any 1992 es va acordar reservar, a partir de l'any 2000, les bandes freqüencials 1.885-2.025 GHz i 2.110-2.200 GHz. Als Estats Units això no va ser possible.

3 cèl·lules paraigua



3) **Control de potència:** farem que els mòbils treballin a la potència justa que necessiten per assegurar que la probabilitat d'error està dins uns límits. Així, els mòbils propers a la base emetran amb menys potència.

4) **Assignació de canals:** dinàmica, en funció del trànsit. Es poden preveure més canals en cas d'esdeveniments especials.

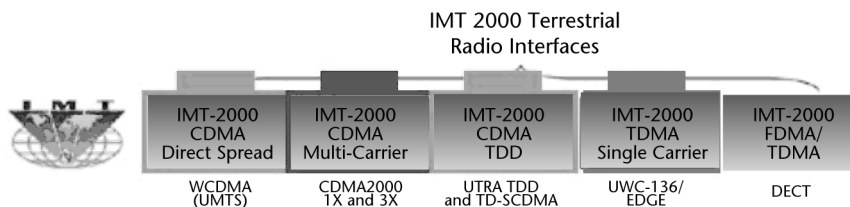
Actualment, l'IMT-2000 abasta tres estàndards (figura següent):

1) **UMTS** (també 3GPP WCDMA): és la proposta de l'ETSI per a actualitzar el GSM (i el PDC japonès). Defineix dos estàndards: UMTS-FDD i UMTS-TDD. El grup 3GPP està format per l'ETSI i altres organismes de la resta del món.

2) **UWC-136** (*universal wireless communications*): és la proposta de la TIA (Agència de Telecomunicacions dels Estats Units) per a actualitzar l'IS-136. Dels tres estàndards, és el menys important.

3) **CDMA2000:** és la proposta de la TIA per a actualitzar l'IS-95a de manera que arribi a 2 Mbps. El grup 3GPP2 està format per la TIA i altres organismes de la resta del món.

Estàndards de l'IMT-2000



L'estàndard per a Europa és UMTS, que el veurem en l'apartat 3.3. Als Estats Units és el CDMA2000, del qual esmentem les principals característiques (en l'apartat 3.2 en veurem el significat):

- Amplada de banda d'1,25 MHz. Té la mateixa canalització que l'IS-95, per la qual cosa podem fer servir bandes d'IS-95 per CDMA2000. Els americans volien aprofitar les bandes freqüencials de què disposaven.

- Velocitat de xip (o *chip*): 1,2288 M xips/segon ( $x1$ ,  $x3$ ,  $x6$ ,  $x9$  o  $x12$ ) en funció que s'agafin 1, 3, 6, 9 o 12 bandes consecutives d'1,25 MHz.
- Control de potència a 800 Hz (es controla la potència transmesa pels terminals unes 800 vegades per segon).
- Utilització de codis Walsh i M.

### 3.2. CDMA

L'accés múltiple en els sistemes multiusuari que utilitzen tècniques d'espectre eixamplat (*spread spectrum*) es coneix com a *CDMA*. Els sistemes d'espectre eixamplat van començar a desenvolupar-se a mitjan dècada dels cinquanta. Les primeres aplicacions es van produir en el camp militar per la robustesa que presentava enfront de les interferències.

*L'spread spectrum* és un mode de transmissió en què el senyal ocupa una amplada de banda més gran que l'estrictament necessària per a enviar la informació. L'eixamplament en freqüència es porta a terme amb l'ús d'una seqüència de codi independent de la seqüència d'informació. Per a la compressió en freqüència del senyal rebut i posterior recuperació de la informació, es fa una recepció sincronitzada amb la seqüència de codi en el receptor.

#### 3.2.1. Avantatges d'un accés CDMA

Una de les seves característiques bàsiques és la immunitat i diversitat inherents que presenta enfront de les interferències. El pla de reús de freqüències és més senzill i flexible que amb altres tècniques, ja que el mateix conjunt de freqüències pot ser reutilitzat en cada cèl·lula (millor eficiència espectral).

El traspàs (*handover*) és suau, ja que en passar d'una estació base a una altra, se substitueix gradualment el codi de l'antiga EB pel de la nova. En TDMA o FDMA era brusc, ja que cèl·lules adjacents usaven canals diferents.

Permet conviure amb altres sistemes de banda estreta ja existents (ni els afectem ni ens afecten). El senyal CDMA és vist com un soroll pels sistemes analògics. El CDMA veurà el senyal analògic com una interferència de banda estreta que s'eliminarà en correlar.

Per a demostrar la seva viabilitat, l'any 1992 es van realitzar quatre proves d'un sistema amb accés CDMA a San Diego (Califòrnia), Münster (Alemanya), Ginebra i Washington. Aquesta prova va permetre veure que la capacitat era 10 vegades la que suportava el sistema mòbil analògic que operava als Estats Units (AMPS).

Es pot aconseguir eixamplar l'espectre fent ús de tècniques de seqüència directa (DS-CDMA) o de salts en freqüència (FH-CDMA):

### Direct-sequence CDMA

A l'estació base li arriben  $N$  senyals alhora i que utilitzen la mateixa banda. Per a separar-los s'usarà el producte escalar.

Quan s'utilitza un esquema DS-CDMA, l'ortogonalitat entre els senyals rebuts s'aconsegueix modulant el senyal d'informació (de període  $T_{bit}$ ) amb una seqüència codi (de període  $T_{chip}$ ). A cada usuari se li assigna una seqüència codi diferent i "ortogonal" a la resta de seqüències.

En modular el senyal d'informació amb la seqüència codi, s'eixampla l'espectre de potència en un factor  $G_p = T_{bit} / T_{chip}$ , conegut com a *guany de processament* o *spreading factor* (SF).

En la resta de l'apartat parlarem de la *direct-sequence*, que és la que fa servir UMTS.

### Frequency hopping

El transmissor varia la seva freqüència de portadora d'una manera pseudo-aleatòria d'un canal a un altre. Consta d'un sintetitzador de freqüència governat per un generador de codi pseudoaleatori. Per a poder desmodular, el receptor ha d'utilitzar el mateix codi (perquè el sintetitzador estigui sincronitzat).

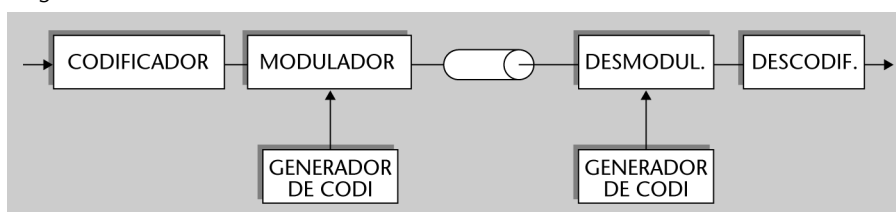
A causa d'aquests canvis freqüencials, el senyal ocupa una amplada de banda més gran, tal com passava en el DS.

Parlem de *slow frequency hopping* si en un o més temps de símbol no hi ha salt de portadora, i de *fast frequency hopping* si en un temps de símbol la portadora canvia. L'FFH és més robust a interferències però complex d'implementar. Per exemple, en un FFH on els bits vagin a 2 Mbps i tinguem 1.000 salts per bit, haurem de canviar la freqüència a 200 Msalts/segon.

### 3.2.2. Diagrama de blocs

En la figura següent tenim el diagrama de blocs d'un accés CDMA.

Diagrama de blocs d'un accés CDMA



#### Observació

Dos senyals  $s_1(t)$  i  $s_2(t)$  de període  $T$  són ortogonals quan

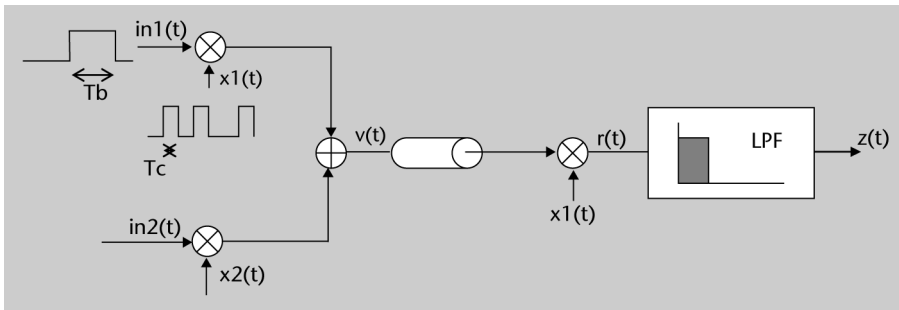
$$\int_T s_1(t) \cdot s_2(t) \cdot dt = 0$$

El codificador (i descodificador) és comú a qualsevol sistema de comunicacions. El codificador té dues funcions:

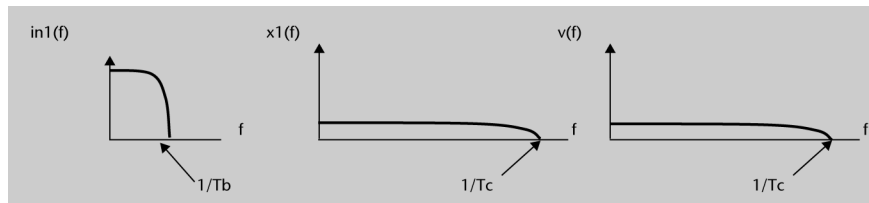
- 1) Afegir redundància, per a detectar o corregir errors.
- 2) Entrellaçar, perquè els bits consecutius a la sortida del codificador no siguin consecutius a l'entrada del canal. Amb això, trenquem possibles ràfegues d'error causades pel canal.

Analitzem ara (primera figura següent) la part de CDMA per a dos usuaris i un receptor que vol recuperar la informació del primer usuari ( $in1$ ). Com veiem en la segona figura següent, un senyal amb un espectre ample, però de poc nivell, va a parar al canal.

Esquema per a dos usuaris



Espectres associats a la figura anterior



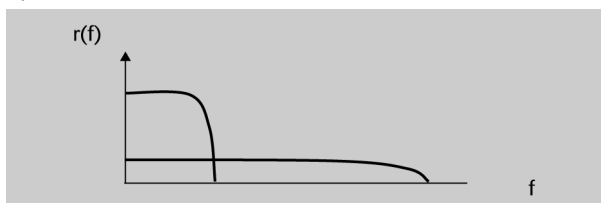
Veiem què recupera el primer usuari:

$$v(t) = in1(t) \cdot x1(t) + in2(t) \cdot x2(t)$$

$$r(t) = x1(t) \cdot v(t) = in1(t) \cdot x1^2(t) + in2(t) \cdot x2(t) \cdot x1(t)$$

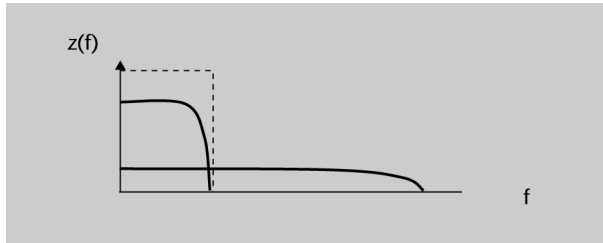
El primer terme és  $in1(t)$  (senyal de banda estreta). Com que  $x1(t) = \pm 1$ , aleshores  $x1^2(t) = 1$  i  $in1(t) \cdot x1^2(t) = in1(t)$ . El segon terme idealment val 0, ja que  $x2(t)$  i  $x1(t)$  són ortogonals (el seu producte val 0). A la pràctica, seran gairebé ortogonals i aquest valor serà molt petit però de banda ampla. En la figura següent tenim el seu espectre:

Espectre  $r(f)$





Com veiem en la figura següent, el filtre de pas baix fa que només quedi in1( $t$ ). Si volem reduir el nivell del senyal de banda ampla haurem de fer que el senyal d'alta freqüència sigui molt ràpid (així el seu nivell serà inferior).

Espectre  $z(f)$ 

Observem que una persona que estigui escoltant el medi no sap si estem transmetent (aplicacions militars). A més, si ens interfereixen, no ens molesten (útil per a comunicacions mòbils).

El sistema analògic afecta el sistema digital com una interferència més, i la distribuirà en l'espectre. El senyal CDMA afecta el sistema AMPS com un soroll blanc. Per això, són compatibles.

### 3.2.3. Problemàtica d'un accés CDMA

Hi ha alguns aspectes dels sistemes CDMA que requereixen una atenció especial:

- Hem de tenir tantes seqüències pseudoaleatòries (PN) com usuaris. A més, han de ser ortogonals.
- La seqüència rebuda ha d'estar sincronitzada amb la que es genera localment en el receptor.
- Fenomen *near-far*: consisteix en l'emascament del senyal d'un usuari més allunyat de l'EB per part dels senyals d'usuaris situats a prop de l'EB (això no ocorreria si les seqüències fossin perfectament ortogonals). Això no passa en TDMA ni FDMA perquè en CDMA els senyals no se separen ni en temps ni en freqüència. Per a evitar-ho, s'ha d'habilitar un **control de potència**. L'objectiu és que cada mòbil transmeti la potència justa perquè la potència rebuda a la base sigui la mateixa per a tots els mòbils. Així, un mòbil allunyat de la base haurà de transmetre més potència que un que estigui proper. Per CDMA hi ha dos tipus de control de potència:
  - En llaç obert: la base emet un to pilot de potència coneguda i el mòbil ajusta la seva potència en funció de la potència que rep del pilot. UMTS funciona amb un llaç obert a 1.500 Hz.

- En llaç tancat: la base envia comandes al mòbil que li diuen a quina potència ha de transmetre. CDMA2000 (el sistema 3G americà) funciona amb un llaç tancat a 800 Hz.

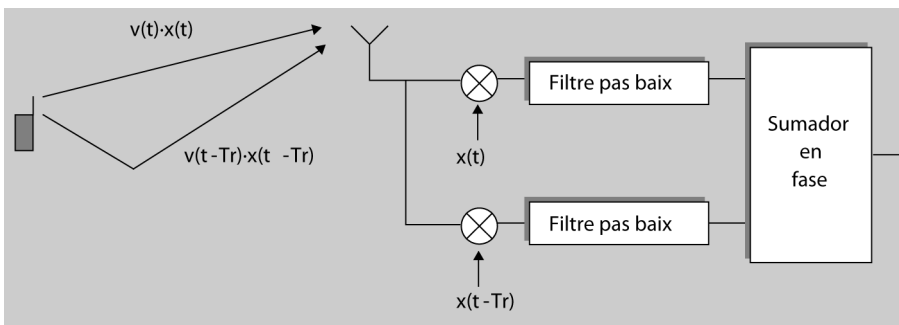
### 3.2.4. Macrodiversitat

En l'entorn mòbil, la propagació multicamí és habitual. El CDMA pot aprofitar el multicamí de manera constructiva. Per a fer-ho, utilitza un receptor *rake* ("rascllet") que haurà de funcionar com un sistema de diversitat MRC, combinant les còpies de senyal de què disposi.

Vam veure que els codis PN de dos usuaris havien d'estar incorrelats. A més, exigirem que cada codi estigui correlat amb si mateix quan el desplaçem un període de xip.

Amb aquest receptor, si un camí s'obstaculitza, ens en queden alguns. Veiem de manera molt simplificada en la figura següent l'estructura d'un receptor *rake* amb dues branques (a la pràctica en tenen més).  $T_r$  és un retard ajustable depenent de l'entorn:

Receptor *rake*



L'aprofitament dels senyals procedents de reflexions rep el nom de *microdiversitat*. CDMA, a més de microdiversitat, suporta **macrodiversitat**. Un sistema té macrodiversitat quan rebem de més d'una EB i transmetem a més d'una EB.

Un inconvenient és que, com que la interferència és doble, la capacitat és la meitat. En realitat la capacitat es redueix menys de la meitat perquè la diversitat fa que no calgui que arribi tanta potència al terminal.

Un avantatge és que podem fer *soft-handover* (traspàs suau). En CDMA no podem alliberar un canal i agafar-ne un altre, ja que en CDMA un canal és un codi. Les seqüències són llargues i estan sincronitzades, per la qual cosa necessitem un temps d'adaptació a la nova seqüència.

La macrodiversitat permet crear multicamins de manera artificial, ja que un mòbil pot estar servit al mateix temps per més de una estació base (cosa que

en GSM no és possible). El receptor *rake* d'UMTS permet la recepció de fins a sis estacions base alhora.

### 3.2.5. Seqüències pseudoaleatòries

S'anomenen **pseudo-aleatòries** perquè la seqüència es va repetint (semblen aleatòries però es generen de manera determinista). La seqüència requerida en CDMA ha de complir:

- Que els valors 0 i 1 siguin equiprobables (condició d'aleatorietat).
- Que quan estigui alineada amb si mateixa, l'autocorrelació tingui un pic gran, i valgui 0 quan estigui desplaçada (li direm **condició de bona autocorrelació**, útil per a sincronitzar seqüències).
- Fàcil de generar electrònicament.

També busquem famílies de seqüències PN que compleixin les següents condicions:

- Que cada seqüència compleixi les tres propietats anteriors.
- Que cada seqüència pugui ser fàcilment distingible d'una altra seqüència de la mateixa família (en direm **condició de bona correlació encreuada**).

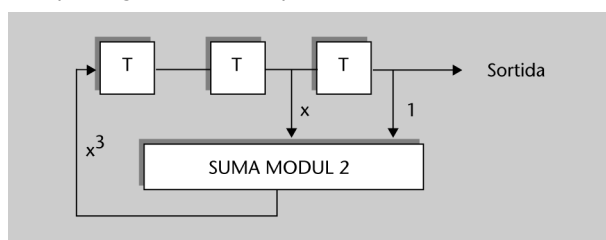
Les seqüències més usades són les seqüències M, les seqüències Gold i les seqüències de Walsh. Vegem en què consisteixen:

#### Seqüències M

Aquestes seqüències es generen a través d'un registre de desplaçament realimentat amb un polinomi primitiu. No entrarem en la descripció del que és un polinomi primitiu, però sí direm que hi ha taules amb un polinomi primitiu de cada grau (a la pràctica n'hi ha més d'un).

Per exemple, el polinomi  $x^3 + x + 1$  és primitiu. Amb aquest polinomi i un registre podem fer un generador de seqüència M segons la figura següent, on  $T$  és un retardador d'1 bit:

Exemple de generador de seqüència M



En un cas general, el registre tindrà  $m$  bits. El nombre màxim d'estats serà  $2^m$ . El període màxim d'una seqüència serà  $2^m - 1$  ja que, en el nostre exemple, si

entrem un 000 (la sortida dels tres retardadors és 0) sempre es quedarà en el 000. Així, aquests registres es poden inicialitzar amb qualsevol valor excepte el que sigui tot 0.

Si carreguem un 001, la seqüència de sortida és

0010111001011100101110010111.....

Observem que es va repetint la seqüència 0010111 (longitud 7). Aquesta és precisament la màxima longitud que podíem fer amb un registre de tres bits.

Per tant, podem concloure dient que si les realimentacions del registre són un polinomi primitiu, la seqüència resultant és de longitud màxima, i se l'anomena *seqüència M*.

Un inconvenient és que el nombre és limitat (tantes seqüències com polinomis generadors). Una seqüència  $M$  construïda amb un registre de longitud  $m$  té les següents característiques:

- En cada període té  $2^m - 1$  "1" i  $2^m - 1 - 1$  "0".
- No té un comportament massa bo en termes de correlació encreuada (no són fàcilment distingibles seqüències de la mateixa família).

### Seqüències Gold

Es va veure que certs parells de seqüències  $M$  de longitud  $N$  tenien una correlació encreuada que prenia 3 valors:  $-1$ ,  $-t(m)$  i  $t(m) - 2$ , on  $t(m) = 2^{(m+1)/2} + 1$  per a  $m$  imparell i  $t(m) = 2^{(m+2)/2} + 1$  per a  $m$  parell.

Així, per exemple, per a un registre de  $m = 10$  bits  $\Rightarrow t(10) = 2^6 + 1 = 65 \Rightarrow$  La correlació encreuada pren els valors  $-65$ ,  $-1$  i  $63$ .

Podem construir un conjunt de seqüències de longitud  $N$  fent la suma mòdul 2 de la primera seqüència  $M$  amb les  $N$  versions desplaçades de l'altra seqüència  $M$ . Així obtenim  $N$  noves seqüències, que es demostra que són de longitud màxima ( $N$ ). S'anomenen *seqüències de Gold* el conjunt d'aquestes  $N$  seqüències més les dues seqüències  $M$  d'origen. Per tant, obtenim  $N + 2$  seqüències de Gold.

Per tant, hem solucionat dos dels inconvenients de les seqüències  $M$ : el limitat nombre de seqüències i el mal comportament de la correlació encreuada.

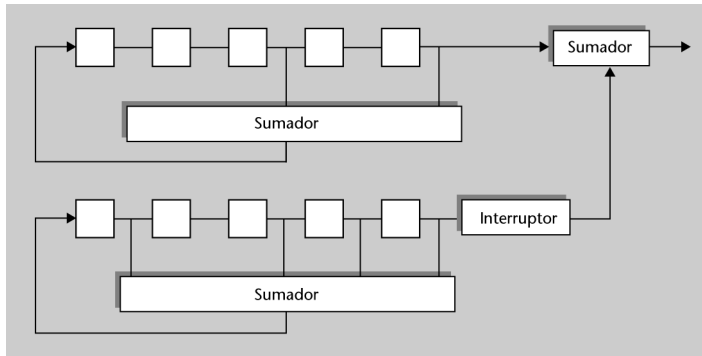
Un paràmetre que serveix per a avaluar la bondat d'una seqüència és el quocient entre el pic de l'autocorrelació i el pic màxim de la correlació encreuada. Interessa que sigui gran.

Per exemple, si tenim un registre de  $m = 8$  bits, podem generar una seqüència  $M$  on el pic de l'autocorrelació val  $2^8 - 1 = 255$  i el pic màxim de la correlació encreuada val 95 (aquesta dada es treu de taules). El quocient és  $255 / 95 = 2,68$ . Si el que generem són

codis de Gold, el pic de l'autocorrelació és el mateix (255), però el de la correlació encreuada és  $t(m) = 2^5 + 1 = 33$  (també el podríem treure de taules). Ara el quocient és  $255 / 33 = 7,33$  (ha millorat el comportament).

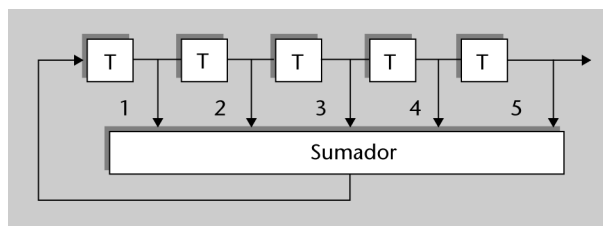
Veiem un exemple de codi Gold: amb els polinomis  $p_1(x) = 1 + p^2 + p^5$  i  $p_2(x) = 1 + p + p^2 + p^4 + p^5$ , generem  $32(+2)$  seqüències Gold de longitud 31. El diagrama de connexionat el tenim en la figura següent, on els elements amb forma de quadrat són retardadors d'1 bit.

Exemple de generador de seqüència Gold



És molt important no oblidar que si els polinomis no són primitius, la seqüència no serà Gold. Per exemple, per a  $m = 5$  (vegeu figura següent), els polinomis que connecten 3,5 (polinomi 1) i 2,3, 4,5 (polinomi 2) formen un Gold. Això vol dir que l'autocorrelació té dos valors i el seu pic màxim és  $2^5 - 1 = 31$ , i que la correlació encreuada té tres valors i el seu màxim és  $2^3 + 1 = 7$ . En canvi, els polinomis que connecten 5,4 i 5,1 no són primitius, i l'autocorrelació i correlació encreuada prenen molts valors.

Connexions genèriques



## Seqüències de Walsh

Amb aquestes seqüències podem obtenir codis de longitud  $K = 2^n$  ( $n$  enter). Podrem obtenir  $K$  codis de longitud  $K$ . L'inconvenient és que l'autocorrelació és pobra.

Les seqüències de Walsh s'obtenen a partir de les matrius de Hadamard. Aquestes matrius s'obtenen de forma iterativa a partir de la matriu  $2 \times 2$ :

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_K = H_{K/2} \otimes H_2$$

$\otimes$ : producte de Kronecker. S'obté multiplicant cada element de la matriu  $H_{K/2}$  per la matriu  $H_2$ .

Exemple:

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Si reordenem les columnes de menys a més canvis, obtenim les quatre seqüències de Walsh:

$$W_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

### 3.2.6. Capacitat

Definim el guany de processament  $G_p$  com el quocient entre el període de bit i el de xip. La interferència que provoquen altres usuaris ve ponderada per  $G_p$ . Però l'inconvenient és que si volem que  $G_p$  sigui gran, l'amplada de banda també ho serà.

Si tenim un sistema amb  $N$  mòbils (1 útil i  $N - 1$  interferents),

$$P_{\text{útil}} = S; \quad P_{\text{interferent}} = J = (N - 1) \cdot S \quad \Rightarrow \quad \frac{J}{S} = N - 1$$

(Suposant que tots els senyals arriben a l'EB amb el mateix nivell  $S$ .)

on  $W$  és l'amplada de banda del senyal eixamplat [Hz],  $R_b$  és la velocitat del senyal [bps] i  $E_b / N_0$  depèn de la modulació (per a una certa qualitat ( $pb$ ) necessitem una certa  $E_b / N_0$  en funció de la modulació).

Per tant,

$$N - 1 = \frac{J}{S} = \frac{W \cdot N_0}{R_b \cdot E_b} = \frac{W}{R_b} \cdot \frac{1}{E_b / N_0} \quad \Rightarrow \quad N = 1 + \frac{W}{R_b} \cdot \frac{1}{E_b / N_0}$$

Per exemple, el sistema CDMA americà de segona generació ocupava una amplada de banda d'1,25 MHz, requeria una  $E_b / N_0 = 5$  i oferia 9.600 bps per usuari. Segons la fórmula anterior, la seva capacitat és  $N = 27$ . El gran avantatge és que no cal fer planificació freqüencial, ja que en cèl·lules contigües podem fer servir els mateixos canals. En canvi, en els sistemes FDMA calia deixar uns marges de separació per a evitar interferències (per això definíem els clústers).

Si en un sistema FDMA volem posar canals de 30 KHz d'amplada de banda en els 1,25 MHz anteriors, podem posar fins a 41 canals. Però com que cal definir clústers, el nombre real serà menor (amb clústers típics de 7 cèl·lules, ens quedem amb una capacitat de  $41 / 7 = 6$ , enfront dels 27 de CDMA).

Finalment, hem de comentar que un altre avantatge de les tècniques CDMA és que empitjorant la qualitat sempre podem posar algun usuari més. En les tècniques FDMA, estem limitats per l'amplada dels canals. Així, si la capacitat FDMA és 7, un vuitè usuari no pot entrar perquè no hi ha amplada de banda disponible; en CDMA si la capacitat és 27, un 28è. usuari podria entrar, però a costa de reduir la velocitat a la qual es pot transmetre, com ens indica la fórmula de la capacitat.

### 3.3. UMTS

UMTS és l'estàndard europeu de tercera generació per a les xarxes de gran abast sense fils. El 3GPP (*3rd generation partnership project*) és un grup de treball de l'ETSI que va actualitzant les versions d'UMTS.

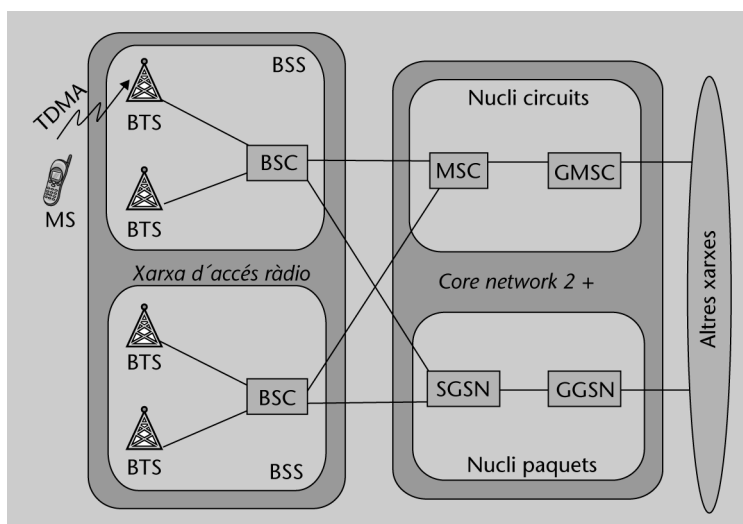
En l'actualització de 1999 (R99), la xarxa troncal d'UMTS era la de GPRS. Des de l'any 2000 les actualitzacions no s'anomenen per l'any sinó de manera contínua (R4 és la versió de març de 2001, R5 és la de desembre de 2001...).

Les especificacions d'UMTS són 5 MHz d'amplada de banda per canal, taxa de xips de 3,84 Mcps i guanys de processament ( $G_p$ ) entre 4 i 512.

#### 3.3.1. Arquitectura

En la figura següent tenim l'arquitectura GSM/GPRS.

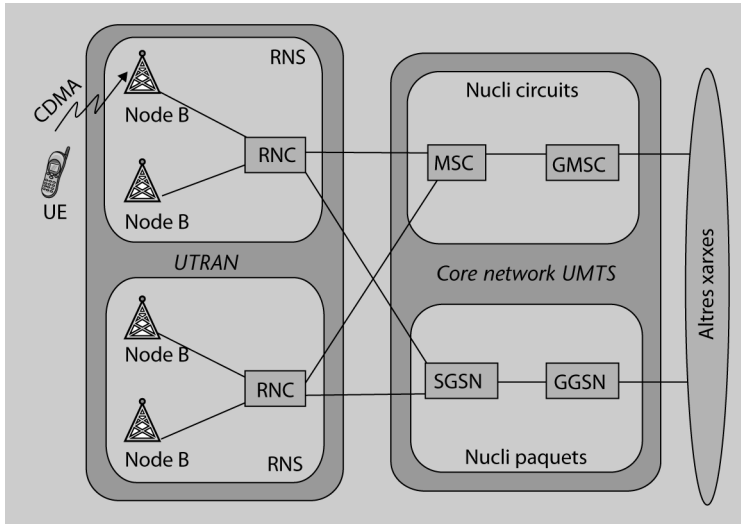
Arquitectura GSM/GPRS



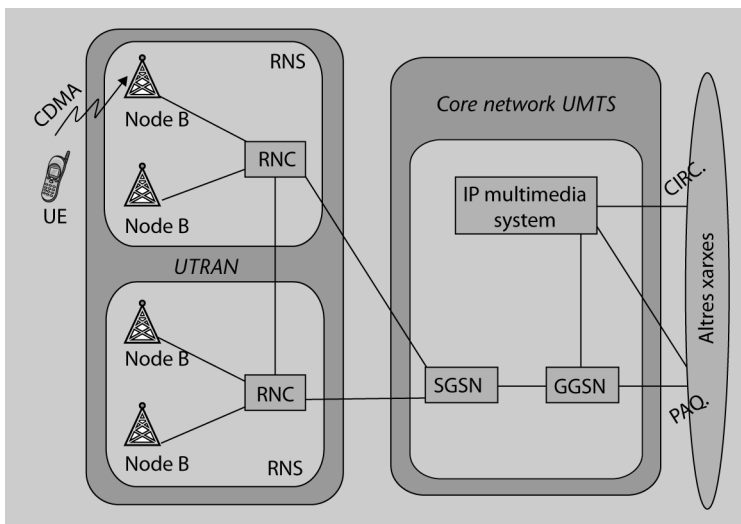
WEB

El web del 3GPP és [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).  
La versió actual la trobarem a [www.3gpp.org/ftp/specs/latest](http://www.3gpp.org/ftp/specs/latest).  
El significat de la numeració el trobem a [www.3gpp.org/specs/numbering.htm](http://www.3gpp.org/specs/numbering.htm).

L'arquitectura UMTS de la *release 99* (la que es basava en GPRS) aporta un canvi de nomenclatura en els elements (els que eren BTS ara es diuen *node B* i els que es deien *BSC* ara es diuen *RNC*) i afegeix enllaços directes entre els *RNC*. La tenim en la figura següent.

Arquitectura UMTS *release 99*

En la *release 5 i 6* desapareix l'MSC i les seves funcions queden integrades en l'IMS, que maneja tot el trànsit (veu i dades) com a trànsit IP. Ho veiem en la figura següent.

Arquitectura UMTS *release 5 i 6*

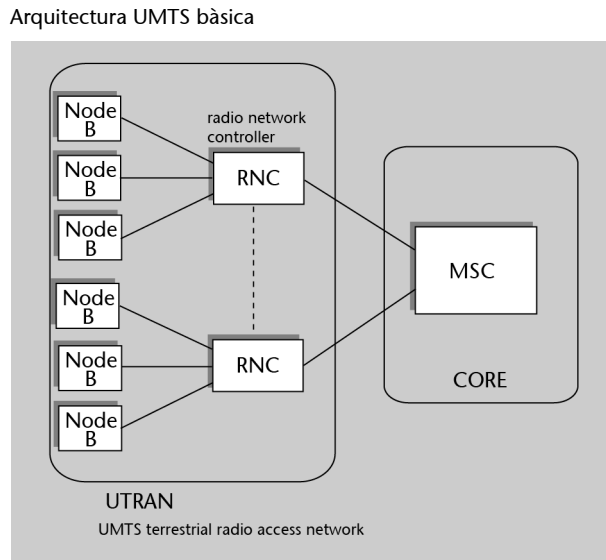
Bàsicament, UMTS conté:

- Els elements de les fases 1 i 2 de GSM (MSC/IMS, VLR, HLR, AuC, EIR). És possible algun canvi de nomenclatura (p. ex., la targeta SIM ara es diu *USIM*).
- Les millores de la fase 2+:
  - GPRS (SGSN, GGSN)
  - SGSN: semblant al VLR (gestor de mobilitat).
  - GGSN: semblant al GMSC.



- CAMEL service environment (CSE): accés a serveis específics de cada operador.
- Nou accés ràdio UMTS: UTRAN (*UMTS terrestrial radio access network*)
- RNC (*radio network controller*): semblant al BSC.
- Node B: semblant al BTS.

En la figura següent tenim l'arquitectura UMTS bàsica.



Els elevats costos del desplegament UMTS per les operadores plantegen la possibilitat de compartir infraestructures. Així, si es comparteixen tots els elements, l'estalvi pot ser d'un 55%, si compartim RNC i node B podem estalviar el 40% i si només compartim els nodes B l'estalvi pot ser fins al 25%, depenent de si compartim emplaçament, antenes o transmissió. Els avantatges d'una compartició són clars (estalvi en inversió i en personal, més cobertura, possibilitat d'oferir preus més baixos), però també hi ha inconvenients, com la dificultat de controlar la capacitat que usa cada operador i els problemes que podem tenir si necessitem més capacitat a mitjà termini.

Respecte a la velocitat, podem tenir més o menys velocitat en funció de la cel·la que ens dona servei (2 Mbps en picocel·les, 384 kbps en microcel·les, 144 kbps en macrocel·les, 9,6 kbps si fem ús de satèl·lits), però també podem dir que tenim més o menys velocitat en funció de la mobilitat:

- Fins a 2 Mbps (multimèdia) amb baixa mobilitat (10 km/h).
- Fins a 384 kbps (Internet) amb mitja mobilitat (120 km/h).
- Fins a 144 kbps (veu d'alta qualitat) amb alta mobilitat (500 km/h).

Els sistemes 2G solen ser simètrics. Els 3G poden ser asimètrics (això implica que en l'enllaç de més velocitat caldrà emetre amb més potència). Per exemple, un sistema a 384 kbps (DL) i 64 kbps (UL), es diu que és un sistema a 384KbpsDL & 64KbpsUL.

Les funcions del node B són:

- Convertir dades a la interfície de ràdio i des de la interfície de ràdio: correcció d'errors, fer l'exemplament d'espectre, modular i adaptar velocitats.

- Mesurar qualitat i potència i transmetre-ho a l'RNC (que gestiona els traspasos i la macrodiversitat).
- Fer el *softer-handover* (*soft-handover* entre sectors del node B). Es pot donar *softer-handover* en el 10%-15% dels enllaços.
- Permetre al mòbil ajustar la seva potència a partir d'ordres de control de potència que li envia pel *downlink* (a 1.500 Hz en llaç tancat en mode FDD).

Les funcions de l'RNC són:

- Gestionar i optimitzar els recursos de ràdio (control de potència, establir i alliberar connexions...).
- Controlar la mobilitat dels terminals.
- Fer el *soft-handover*, decidint a quins nodes B (fins a 4) connecta el mòbil. Es pot donar *soft-handover* en el 30%-40% dels enllaços.

### 3.3.2. Interfícies UMTS

És molt important la definició d'interfícies per a assegurar la interoperativitat de sistemes de diferents fabricants. Es defineixen quatre interfícies (figura següent):

1) **Uu**: de mòbil (*user equipment*) a node B (amb 2 modes: WCDMA o TD-CDMA)

Gestiona *broadcasts*, connexions, xifratges, control de potència, *time advance*, *paging*...

2) **Iub**: de node-B a RNC

Gestiona els recursos, la sincronització...

3) **Iur**: d'RNC a RNC (a causa de la diversitat, un mòbil pot ser ajudat per més d'un RNC)

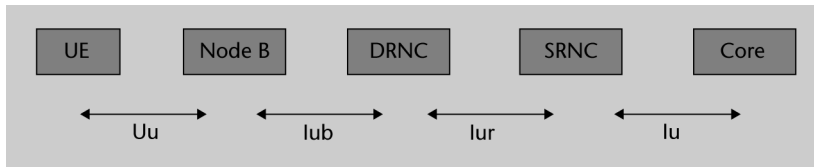
Un RNC es pot comportar com a *drift-RNC* (DRNC) o com a *serving-RNC* (SRNC) depenent de si està connectat al node B o a l'MSC.

Gestiona els *pagings*, la macrodiversitat (permet *soft-handover* entre bases de diferents RNC), mesura recursos...

4) **Iups**: d'RNC al nucli

Fa la gestió de portadores, *pagings*, gestió d'errors...

## Interfícies UMTS



### 3.3.3. Canals i estructura de trames

UMTS defineix els següents canals lògics (després es fa el mapatge a canals físics):

a) De trànsit:

- DTCH (*dedicated traffic channel*)
  - Veu del còdec a 12,2, 10,2, 7,95,..., 4,75 kbps
  - Veu de còdec GSM
  - Dades en commutació de circuits i/o paquets
- CTCH (*common traffic channel*)
  - Missatges *cell broadcast*
  - Etc.

b) BCCH (*broadcast control channel*)

- Informació de sistema (freqüència, *ID\_cell*, *max uplink power*...)

c) PCCH (*paging control channel*)

- Per a localitzar a un terminal

d) DCCH (*dedicated control channel*)

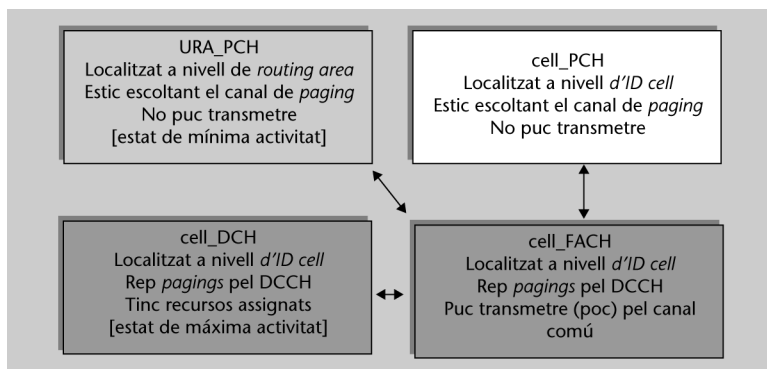
- Per a enviar missatges a un mòbil concret (traspassos, *pagings* a mòbils amb connexió establerta...)

e) CCCH (*common control channel*)

- Assignació d'identificadors temporals C-RNTI i U-RNTI (*cell/user radio network temporary identifier*) per a terminals que accedeixen per primera vegada.

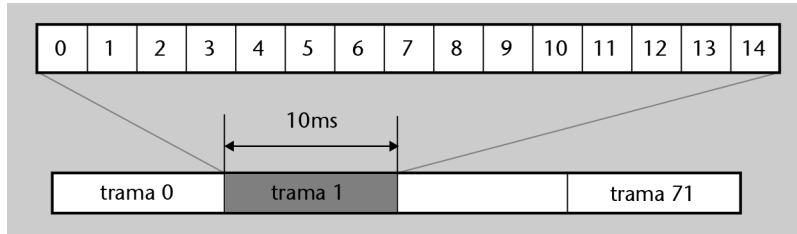
Un terminal mòbil pot estar en estat *idle* o en estat dedicat. Quan està en *idle*, el mòbil es comunica amb el node B. Quan està en estat dedicat, el mòbil es comunica amb l'SRNC i pot estar en quatre possibles estats, en la figura següent (des de l'URA\_PCH, de mínima activitat, al cell\_DCH, de màxima activitat):

Estats d'un terminal mòbil



Igual com GSM, UMTS també té una estructura de trames. Per al cas UTRAN-FDD (una portadora per a les comunicacions de base a mòbil i una altra per a les de mòbil a base), l'estructura és la de la figura següent:

Estructura de trames



Una ranura consta de 2.560 xips. Com que la velocitat de xip és 3,84 Mxips/segon, una ranura dura 0,66 ms. Una trama consta de 15 ranures (o sigui, dura 10 ms). Una supertrama consta de 72 trames i dura 720 ms.

Es fa control de potència cada ranura (15 ranures/trama i 10 ms/trama  $\Rightarrow$  control de potència a 1.500 Hz).

En la següent taula tenim el nombre de bits que hi ha a cada ranura depenent del guany de processament. Per exemple, podem aconseguir  $G_p = 512$  posant només 5 bits en cada ranura. La velocitat serà molt petita però la comunicació serà molt robusta.

$G_p$	bits/ranura
4	640 (960 kbps)
8	320
16	160
...	...
512	5 (7,5 kbps)
$G_p$ (UL)	4 a 256
$G_p$ (DL)	4 a 512

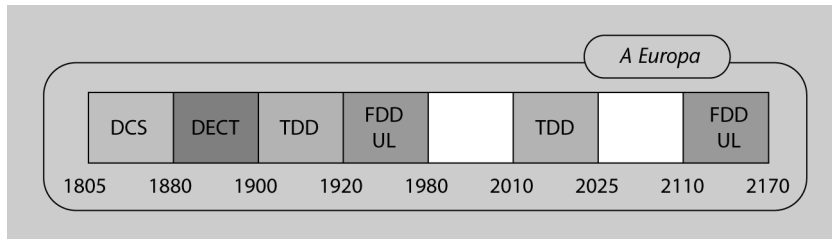
### 3.3.4. Penetració 3G

Espanya va ser el segon país europeu (Finlàndia va ser el primer) a atorgar les llicències de tercera generació. Ho va fer el 10 de març de 2000. Hi havia la previsió inicial que els quatre operadors (Movistar, Vodafone, Orange, Yoigo) poguessin donar servei a 23 ciutats de més de 200.000 habitants l'agost de 2001, amb una assignació de banda de 20 MHz per a cadascun (figura següent):

3 canals UMTS FDD (de 5 + 5 MHz cadascun) i

- 1 canal UMTS TDD (de 5 MHz)

## Espectre 3G a Europa



A la pràctica, el llançament va ser l'any 2004, excepte Yoigo, que no tenia xarxa GSM pròpia i no ho va fer fins al 2006. En tots els casos, l'UMTS instal·lat és l'FDD. El febrer de 2006, a Espanya hi havia 1,3 milions d'usuaris d'UMTS. La velocitat de transmissió/recepció de dades que es podia aconseguir era de 384 kbps.

Si mirem a la resta del món, la primera trucada UMTS (experimental) es va fer de Madrid a Tòquio el 20 de desembre de 2001. De totes maneres, al Japó tenien un sistema anomenat *FOMA* i a finals de 2005 hi havia 99 xarxes UMTS a 45 països, amb 50 milions d'usuaris.

## 4. LPWAN (*low power wide area networks*)

Les xarxes de tipus LPWAN, com indica la sigla, es caracteritzen per un baix consum energètic. Aquesta propietat fa que els seus elements puguin tenir una autonomia molt elevada i, per tant, es puguin implantar dades amb molts elements que no necessiten tenir a prop una font externa d'energia. Aquesta característica, en general, es donarà quan es transmetin poques dades i de manera no contínua; en cas contrari, el consum energètic serà més gran i, per tant, l'autonomia del dispositiu serà menor.

En els darrers anys, la importància d'aquestes xarxes ha augmentat en paral·lel amb aplicacions conegudes com a *smart*. És fàcil imaginar aplicacions relacionades: *smart meters*, perquè les companyies subministradores d'electricitat no hagin d'anar físicament als comptadors a recollir les lectures; *smart lighting*, perquè l'encesa de llums d'un carrer no depengui només de l'hora, sinó d'altres factors, com ara celebracions especials a la via pública, o *smart water*, per controlar la qualitat de l'aigua de les fonts, etc.

Han sorgit moltes tecnologies per cobrir aquest nínxol: en són alguns exemples SigFox, LoRa, RPMA, DASH7 o Weightless-P, cadascuna amb les seves particularitats. En aquest apartat descriurem les més esteses: SigFox i LoRa.

Sigfox i LoRa són dos exemples de xarxes d'àrea global (com seria GSM), però amb la característica que necessiten poca potència i permeten baixes velocitats de dades. Per a això utilitzen tècniques que inicialment eren pròpies de les xarxes d'àrea personal.

**SigFox** és una companyia francesa que es posiciona com a proveïdor de xarxa IoT. En aquesta xarxa, els dispositius envien les seves dades a través de la xarxa SigFox cap a un *backend* Sigfox. SigFox és una tecnologia *ultra-narrowband* que funciona amb freqüències de sub-GHz en bandes de ràdio: 868MHz a Europa i 902MHz als Estats Units. La companyia desplega les seves antenes amb l'ajuda de companyies locals de telecomunicacions al voltant del món, de manera que el proveïdor IoT no ha de preocupar-se per la creació de la infraestructura.

L'accés al medi de SigFox (capa MAC) està basat en ALOHA en dues dimensions: temps i freqüència. En concret, cada transmissió d'un dispositiu SigFox es fa en un canal de 100 Hz aleatori dins la banda corresponent. Aquesta transmissió es repeteix tres vegades (en diferents canals dins la banda) per a cada paquet. Amb la utilització de canals extremament estrets (100 Hz), la selecció aleatòria del canal i les tres repeticions es minimitza la probabilitat de col·lisió. Amb tot, per evitar una situació de congestió que pugui fer créixer excessivament la probabilitat de col·lisió, SigFox imposa un seguit de restriccions en els

missatges transferits a través de la xarxa, on cada dispositiu pot enviar només 140 missatges per dia amb un límit de set missatges per hora (cada missatge pot tenir fins a 12 bytes de longitud). Els mòduls de ràdio també són capaços de rebre quatre transmissions entrants per dia.

SigFox gestiona completament la comunicació entre el dispositiu IoT i el *backend* de l'aplicació, per la qual cosa la integració del mòdul de ràdio és un procés bastant senzill per als desenvolupadors. Per interaccionar amb el mòdul de ràdio es proporciona una sola API i no es requereix cap configuració. Per començar a integrar SigFox cal adquirir un mòdul de ràdio compatible i un pla de subscripció renovable per al dispositiu.

**LoRa** és un estàndard patentat de tecnologia sense fil de llarg abast que opera en l'espectre de freqüències radioelèctriques: 863-870 MHz a Europa i 902-928 MHz als Estats Units. És un protocol de capa física que ofereix un mitjà de comunicació de llarg abast i baixa potència per a aplicacions de màquina a màquina (M2M) i IoT.

La tecnologia LoRa va ser desenvolupada originalment per Semtech, però ara pertany a l'«Aliança Lora». Qualsevol fabricant de maquinari pot construir mòduls LoRa, però ha d'obtenir un certificat de compliment de l'aliança. A diferència de SigFox, LoRa Alliance no desitja posicionar-se com a proveïdor de xarxa, sinó que el seu objectiu és desenvolupar un estàndard i vendre xips.

LoRaWAN és un protocol obert construït sobre la capa física LoRa. Mentre que LoRa ofereix un lliurament simple de missatges punt a punt, el protocol LoRaWAN gestiona la comunicació dels dispositius amb el *backend* de l'aplicació i proporciona un esquema de xifrat i autenticació d'extrem a extrem. LoRaWAN accedeix al medi mitjançant una variació del protocol ALOHA. En concret, es tracta del protocol ALOHA (sense ranura), però amb restriccions de *duty-cycle* (un temps mínim sense transmetre entre dues transmissions consecutives). A més, gràcies a la capa física LoRa, és possible evitar col·lisions entre transmissions simultànies de diferents dispositius mitjançant l'ús de diversos *spreading factors*.

A diferència de SigFox, els mòduls estàndard LoRa poden funcionar de manera bidireccional. Amb el mateix mòdul ràdio, un receptor pot fer de transmissor. Per tant, LoRa està més adaptat als escenaris de comandament i control.

LoRaWAN defineix tres classes de dispositius: classe A, classe B i classe C. Totes les xarxes LoRaWAN han de suportar els dispositius de la classe A. La principal diferència entre les tres classes rau en la possibilitat de transmetre paquets a l'enllaç descendent:

- **Classe A.** Els dispositius només poden rebre paquets en l'enllaç descendent després de la transmissió d'un paquet a l'enllaç ascendent. Així, després de

la transmissió d'un paquet a l'enllaç ascendent, el dispositiu obre dues finestres de recepció per rebre (no és obligatori) paquets a l'enllaç descendent. Durant la resta del temps, el dispositiu no podrà rebre paquets. Aquesta característica permet reduir el consum d'energia.

- **Classe B.** El funcionament dels dispositius de classe B és igual que el dels dispositius de classe A. Tot i això, els dispositius de classe B se sincronitzen amb el *gateway*/servidor per tal de rebre paquets de *beacon* transmesos a l'enllaç descendent. Aquests paquets de *beacon* permeten que el *gateway* anunciï transmissions a l'enllaç descendent sense la necessitat que es transmeti un paquet a l'enllaç ascendent. Fora dels períodes de *beacon* i després de les transmissions a l'enllaç ascendent, el dispositiu no pot rebre paquets a l'enllaç descendent. L'aspecte negatiu és que els dispositius de classe B tenen un consum més alt d'energia.
- **Classe C.** Els dispositius de classe C sempre escolten el canal. D'aquesta manera, sempre es poden rebre paquets a l'enllaç descendent. Com a conseqüència de l'alt consum energètic d'aquests dispositius, es tracta de dispositius que acostumen a estar connectats a una font d'energia.

Si es vol utilitzar LoRa, hi ha dues opcions:

- **Desplegar una xarxa pròpia.** Qualsevol pot comprar xips i crear la seva pròpia xarxa de dispositius, passarel·les i *backends*. A més, haurà d'implementar i mantenir tant les passarel·les com els dispositius, però tindrà un control total sobre la seva xarxa. Podrà adaptar-lo i modificar-lo a mesura que creixi el seu producte i podrà canviar-ne les necessitats.
- **Utilitzar la xarxa d'un operador de xarxa.** Diversos operadors ofereixen xarxes LoRaWAN en certes àrees.

Tal com s'ha pogut observar, les xarxes LPWAN tenen els objectius següents:

- baix consum energètic
- baix cost dels dispositius

Tots dos objectius s'assoleixen mitjançant la simplificació dels protocols d'accés al medi. Gràcies a això, els dispositius poden ser simples (baix cost) i tenir baix consum (períodes curts de transmissió i recepció). Ara bé, hi ha un compromís entre els objectius de cost i estalvi energètic, i la capacitat de la xarxa (quantitat de paquets que es poden transmetre en cadascuna de les direccions) i la fiabilitat de les transmissions (probabilitat que el paquet sigui rebut correctament).



## 5. Comunicacions per satèl·lit

En aquest apartat parlarem dels sistemes on els usuaris no es connecten a estacions base terrenals sinó a satèl·lits que orbiten al voltant de la Terra.

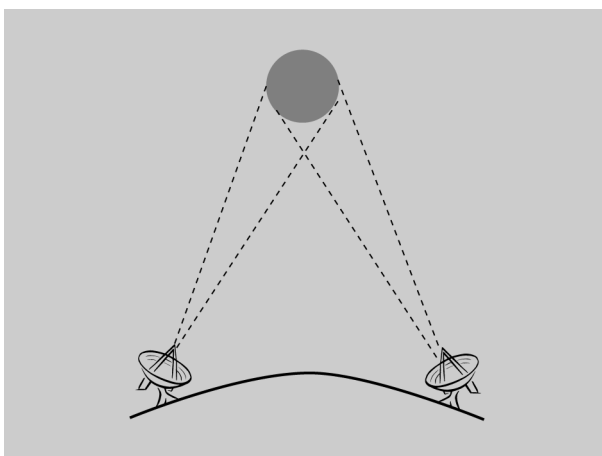
### 5.1. Antecedents històrics

Podríem dir que les comunicacions per satèl·lit s'inicien l'any 1945. Aquell any, Clarke (escriptor de ciència-ficció) publica un article en què proposa situar un satèl·lit a 42.000 km d'altura respecte al centre de la Terra i en un pla coincident amb l'equador (el que ara anomenem *òrbita geostacionària*). Només és una idea però el ràpid desenvolupament de l'electrònica en els següents anys (primer ordinador amb vàlvules el 1946 i descobriment de l'efecte transistor el 1948) va propiciar la construcció de satèl·lits.

El 1957 es produeix el llançament del primer satèl·lit (Sputnik-I, URSS), que no és útil per a comunicacions civils, sinó només per a usos militars. El 1958 es crea la NASA, i llença el primer satèl·lit americà (Score) també exclusiu per a usos militars.

El 1960 es llença el **primer satèl·lit passiu** (satèl·lit ECHO). És un globus de 31 m de diàmetre que només reflecteix el senyal (figura següent). Es va quedar a 10.000 km de la Terra per la poca potència dels coets de l'època. A aquesta alçada, **el satèl·lit va més ràpid que la Terra** i les estacions terrenals han de reorientar contínuament les seves antenes. Presenta com a problema la gran atenuació en el trajecte Terra-satèl·lit-Terra.

Satèl·lit passiu



El **primer satèl·lit actiu** (Telstar-I) es va llançar el 1962. Ja era útil per a comunicacions entre Europa i Amèrica. El problema és que en ser satèl·lits d'òrbita baixa, la comunicació només es pot establir en certs instants de temps (quan

dues estacions terrenals el tenien a la vista, cursaven les seves comunicacions). Per tal que la comunicació pugui ser contínua, els americans agafen la idea de Clarke i el 1963 llencen el Syncom-I (no va funcionar) i el Syncom-II. El 1964 es llença el Syncom-III, gràcies al qual els americans van poder veure imatges dels Jocs Olímpics de Tòquio.

El 1964 es crea l'organització Intelsat (Organització Internacional de Telecomunicacions per Satèl·lit). Els propietaris són els 114 països membres, que utilitzen el sistema per a comunicacions internacionals o nacionals. COMSAT (Communications Satellite Corporation) representa els Estats Units i és un dels membres més importants. Disposa de catorze satèl·lits, i el seguiment es fa des de Washington. Potser per això gairebé no hi ha representants de països de l'Est. El 1965 s'inaugura la sèrie de satèl·lits Intelsat amb el llançament del satèl·lit geostacionari comercial Intelsat-I (2.400 canals de veu o 1 de televisió). El mateix any es llença el primer satèl·lit comercial soviètic de la sèrie Molnya.

Hi ha unes taules que diuen, per cada satèl·lit, a quin angle d'elevació hem de tenir l'antena depenent del lloc del món on siguem.

Els satèl·lits sobre el pla equatorial van bé quan els països són a prop de l'equador. Aquest no és el cas de l'URSS i per això van llençar un satèl·lit d'òrbita el·líptica **HEO** (*heliptic earth orbit*) (la Terra és un dels focus de l'el·lipse) amb una declinació de 64° sobre l'equador (64° entre el pla equatorial i el pla orbital). Aquesta òrbita està gairebé tot el temps a sobre de l'URSS (una de les lleis de Kepler diu que a igual àrea escombrada, igual temps a recórrer el perímetre). L'inconvenient és que el satèl·lit no es veu com a estàtic des de la Terra, i cal que les antenes terrenals el segueixin. Al poc temps l'URSS va llençar dos satèl·lits més per tenir-ne sempre algun visible.

El 1966 es fa el llançament de la sèrie Intelsat-II i el 1968 el de la sèrie Intelsat-III. El 1969 es va veure l'arribada de l'ésser humà a la Lluna gràcies a Intelsat.

A partir d'aquí el desenvolupament de satèl·lits internacionals va ser molt ràpid: Intelsat-IV (4.000 canals telefònics i 2 de televisió), Intelsat IV-A (6.000 canals telefònics i 2 de televisió), Intelsat V (12.000 canals telefònics i 2 de televisió), Intelsat-VI (36.000 canals telefònics i 2 de televisió)...

Fins llavors, les tecnologies de satèl·lit les feien servir les operadores de comunicacions. El 1983 es va disposar del **primer satèl·lit amb serveis DTH** (*direct-to-home*), que ofereix serveis de televisió que arriben directament a la llar. Les primeres plataformes de televisió digital a Espanya van arribar el 1997.

El 2002 vam tenir la **primera xarxa DVB-RCS** (*digital video broadcasting - return channel system*) a Espanya. Aquestes xarxes es caracteritzen perquè l'usuari pot enviar informació directament al satèl·lit. El 2005 vam disposar de la primera xarxa DVB-RCS amb processament a bord, que abaratia els equips que necessitem a la llar per a fer comunicacions per satèl·lit.

Tots els sistemes anteriors són geostacionaris (el satèl·lit i qualsevol punt de la Terra sempre mantenen la mateixa posició relativa), cosa que fa que l'antena

apunti cap a un punt del cel on sempre és el satèl·lit. Però també s'han desenvolupat sistemes on els satèl·lits són més a prop de la Terra (òrbita mitjana o òrbita baixa) i que garanteixen que des de qualsevol punt de la Terra tenim visible algun satèl·lit. Parlarem d'aquests sistemes en la part final d'aquest capítol.

## 5.2. Conceptes bàsics

Els sistemes tradicionals via ràdio requereixen un enllaç visual directe entre emissor i receptor, per la qual cosa de vegades cal situar repetidors o utilitzar la propietat de reflexió de les ones a la ionosfera (a 100 km de la Terra). Això podria evitar-se amb un satèl·lit (repetidor) situat en una òrbita geostacionària.

La transmissió s'origina en un sol punt: des d'una estació terrestre s'envia cap al satèl·lit (repetidor), el qual envia el senyal cap a tota una zona. Existeix un retard entre el moment en què es genera el senyal i el moment en què es rep (72.000 km), per la qual cosa caldrà prendre precaucions en les transmissions bidireccionals (telèfon, dades..) col·locant cancel·ladors d'eco.

Els satèl·lits porten entre 6 i 30 transponedors o *transponders* (un transponedor és un repetidor que recull el senyal, el trasllada de freqüència i el re-envia) i, per tant, es poden tractar diversos senyals alhora. Cal tenir clar que si el satèl·lit és passiu, les bandes freqüencials ascendent i descendent són la mateixa. Es traslladen les freqüències per a evitar interferències.

Els avantatges de les comunicacions per satèl·lit són:

- Fins a 3.000 canals per repetidor (i entre 6 i 30 repetidors per satèl·lit).
- Cost independent de la distància emissor-receptor (especialment útil per a països amb poca població i molta extensió).
- Es pot cobrir tota la Terra amb només tres satèl·lits.
- Molta amplada de banda.
- Molt adequat:
  - Quan hi ha poques dades de retorn (dades web).
  - Quan s'han d'enviar moltes dades (imatges en moviment...) a llocs remots.
- Pot ser afectat per barreres naturals.

També hi ha inconvenients:

- Cal codificar les dades si volem seguretat.
- Hi ha un retard important entre l'instant d'emetre i el de rebre.
- Problemes de funcionament quan hi ha eclipsis en el satèl·lit:
  - Cal activar unes bateries quan no arriba la llum solar al satèl·lit.

Això succeeix quan la Terra s'interposa entre el Sol i el satèl·lit. Aquests eclipsis només es donen 21 dies abans o després dels equinoccis i poden durar fins a 70' (17,4° / 360°·24 h = 70').

### Òrbita geostacionària

Un satèl·lit en òrbita geostacionària és aquell que és a 36.000 km de la Terra. A aquesta alçada, el satèl·lit fa una volta a la Terra per sobre de l'equador en 24 hores.

- Cal desconnectar l'enllaç quan el Sol i el satèl·lit es troben dins el feix de radiació de l'antena terrenal (conjunció solar).

Per exemple, per a una antena terrenal amb un feix de 2°, com a màxim durant tot l'any hi haurà 80' de conjunció. Pensem que la temperatura de soroll de l'Univers és de 3 °K, però quan passa el Sol per davant és de 3.000 °K.

- Un error en el llançament és molt car (cal tenir un satèl·lit de reserva).
- Un possible impacte de meteorits pot acabar amb el satèl·lit.
- En un enllaç per satèl·lit, a més de les pèrdues degudes a la distància, s'han de considerar pèrdues per desajustament del feix, pèrdues degudes a l'atenuació de la pluja i pèrdues degudes a l'absorció dels gasos O<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. La potència rebuda és determinada per la següent expressió, on  $P_r$  és la potència rebuda,  $P_t$  la potència transmesa,  $G_t$  el guany del transmissor,  $G_r$  el guany del receptor,  $\lambda$  la longitud d'ona i  $R$  la distància:

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2} \cdot \frac{1}{\text{Pèrdues}}$$

- Són sistemes de vida limitada als quals no tenim un accés directe. El desgast és determinat, principalment, per dos aspectes:
  - De tant en tant cal fer correccions d'òrbita en els satèl·lits (la Terra no és una esfera homogènia perfecta ni el satèl·lit tampoc). Això es fa actuant uns motors que consumeixen combustible. Abans que s'acabi el combustible, cal portar-lo a una òrbita que caigui a la Terra.
  - Les plaques solars es desgasten ràpid a causa de les diferències de temperatura i de la pols còsmica.

Tots aquests inconvenients fan que, en comunicacions transoceàniques, els satèl·lits actualment convisquin amb els cables submarins.

Normalment s'utilitza la banda C (enllaç descendent *downlink* entre 3,7 i 4,2 GHz i enllaç ascendent *uplink* entre 5,9 i 6,4 GHz), que permet *full-duplex* i a més no l'afecta la pluja. S'incorporen entre 6 i 20 repetidors amb una amplada de banda de 35 MHz cadascun. Per a evitar interferències entre satèl·lits cal separar-los un mínim de 720 km si utilitzen la mateixa banda. Si augmentem la freqüència, hi ha menys interferència, i això ens permet tenir més satèl·lits, ja que poden estar més a prop. Per contra, les estacions terrenals han d'estar perfectament orientades al satèl·lit volgut.

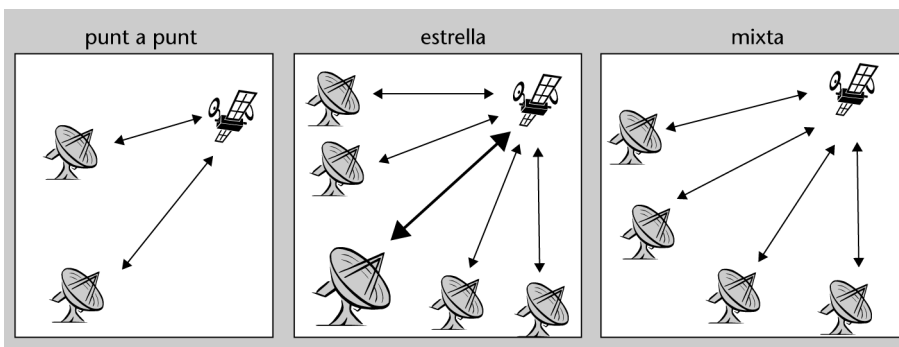
Un altre avantatge és que com més freqüència, es requereixen antenes més petites. Per contra, tenim més pèrdues (la pluja afecta). Així, per a 6 GHz ( $\lambda = 5$  cm), es necessita un diàmetre d'antena de 5 m. En canvi, a 15 GHz ( $\lambda = 2$  cm), el diàmetre requerit és 2 m.

En comunicacions per satèl·lit s'utilitzen les bandes UHF (*ultra high frequency*; 0,3-3 GHz) i SHF (*super high frequency*; 3-30 GHz). Dins aquestes bandes hi ha una altra partició a partir d'1 GHz (a partir d'1 GHz, els efectes de la refracció i l'atenuació ionosfèrica són negligibles): banda L d'1 a 2 GHz, S de 2 a 4 GHz, C de 4 a 8 GHz, X de 8 a 12 GHz, Ku de 12 a 18 GHz, K de 18 a 27 GHz i Ka de 27 a 40 GHz.

En la banda *C*, les antenes han de tenir un diàmetre entre 2 i 3 metres. En la banda *Ku* ( $\lambda = 21$  mm aprox.), les antenes són d'uns 50 cm de diàmetre i la pluja atenua 1 dB/km. En la banda *Ka* ( $\lambda = 10$  mm aprox.) les antenes no cal que siguin parabòles i la pluja atenua uns 5 dB/km.

En els sistemes VSAT (*very small aperture terminal*) es treballa amb tres configuracions bàsiques (figura següent): la punt a punt, on s'estableix un enllaç entre dues estacions de terra a través d'un satèl·lit; la d'estrella, on hi ha una estació de terra que controla les diverses transmissions punt a punt; i la mixta, que és com la d'estrella però sense estació de coordinació.

Configuracions bàsiques VSAT



Els sistemes que viatgen dins un satèl·lit de comunicacions són:

- **Subsistemes de comunicació** (càrrega útil)
  - Repetidors: la seva funció és amplificar els senyals que li arriben i traslladar els espectres. De vegades, també poden regenerar la informació, amb la qual cosa eliminem el soroll de l'enllaç de pujada. Aquests circuits han de generar poc soroll i ser capaços de donar potència.
  - Antenes: han de rebre i transmetre els senyals. Els paràmetres en joc són el guany i la cobertura. Si la cobertura ha de ser molt gran, el guany no podrà ser-ho, ja que segurament agafaríem molt soroll.
- **Subsistemes de missió** (control d'orientació i òrbita del satèl·lit)
  - Propulsió: amb coets, es proporcionen increments de velocitat.
  - Telecomandament: envia i rep informació de control. Cal que sigui molt segur.
  - Control tèrmic: ha de permetre regular la temperatura.
  - Energia elèctrica: plaques solars i bateries.

En funció del tipus d'òrbita, els satèl·lits poden ser d'òrbita geoestacionària, d'òrbita mitjana o d'òrbita baixa:

- **GEO** (*geosynchronous earth orbit*)

- Són a 36.000 km de la Terra i ja sabem que a aquesta alçada, el satèl·lit pot girar a la mateixa velocitat que la Terra. Per tant, les antenes terrenals saben on han d'apuntar (sempre al mateix lloc). El seu principal inconvenient és que el retard entre que s'emet i es rep és gran (250 ms). Un avantatge és que amb tres satèl·lits es pot cobrir tota la Terra.

Com que la distància del satèl·lit al centre de la Terra és de 42.164 km, aquest ha de recórrer  $2\pi \cdot 42.164$  km en un dia. O sigui, la seva velocitat és de 3 km/s.

- La vida útil d'aquests sistemes és entre 10 i 15 anys.
- No donen servei a latituds elevades (expedicions als pols, plataformes de petroli...).

- **MEO** (*medium earth orbit*)

- Situada entre el primer i el segon cinturó de Van Allen, presenta una òrbita circular entre 10.000 i 20.000 km. A aquestes distàncies es pot tenir una cobertura total de la Terra amb uns deu satèl·lits.
- Retard: 100 ms (no interfereix notablement una conversa).

- **LEO** (*low earth orbit*)

- Presenta una òrbita baixa, inclinada respecte al pla equatorial, situada entre 500 i 1.500 km. Els principals avantatges que els satèl·lits estiguin a prop de la Terra és que els terminals de la Terra poden ser més petits (no necessiten emetre amb tanta potència com en els GEO) i que els retards són també petits (50 ms).
- L'inconvenient és que en haver-hi més satèl·lits per a cobrir una zona, el control és més difícil (un punt fix sobre la Terra canviarà de satèl·lit en uns quants minuts). La proximitat a la Terra també fa que la seva vida útil quedi reduïda a uns 5-10 anys.
- Poden donar cobertura als pols.
- Llançament econòmic degut a la distància i al menor pes dels sistemes.

**Els cinturons de Van Allen...**

... són certes zones de l'atmosfera on es concentren gran quantitat de partícules carregades (protons i electrons).

### 5.3. Sistemes d'òrbita mitjana

El **GPS** (*global positioning system*) és un sistema d'òrbita mitjana unidireccional. És el sistema més estès per a localitzar la posició d'un mòbil en qualsevol punt del planeta.

L'any 1950 apareixia el sistema **LORAN** com un sistema on diverses estacions terrenals informaven de la seva posició als terminals LORAN que hi hagués per la zona. Aquests, per triangulacions, podien calcular la seva posició. El sistema LORAN:

- No disposa de satèl·lits i per tant no calcula alçada.
- Només cobreix un 5% de la Terra, ja que per a donar cobertura a una àrea, cal posar a prop aquestes estacions terrenals.

- Té una precisió entorn dels 250 metres.

Aquests inconvenients van fer veure la necessitat d'un sistema de satèl·lits per a ajudar a obtenir la posició.

És un sistema de 24 satèl·lits (6 plans de 4 satèl·lits inclinats  $55^\circ$  respecte a l'horitzó) situats en una òrbita MEO (20.000 km amb un període orbital de 12 h) que transmeten contínuament informació d'identificació (número del satèl·lit i instant de temps), anomenada *efemèrides*. Amb aquestes dades l'usuari podrà calcular la seva latitud, longitud, alçada, rumb i velocitat. Per a fer-ho, es basa en el temps que triguen a arribar els senyals dels satèl·lits (triangulació) i en la desviació de la freqüència rebuda (Doppler). Aquest sistema assegura que des de qualsevol punt (amb més de  $5^\circ$  d'elevació sobre l'horitzó) es veuen com a mínim quatre satèl·lits de manera simultània.

Un GPS triga minuts a trobar la primera posició, ja que en principi desconeix en quina part de la Terra es troba. Combinat amb GSM, aquest temps és menor (perquè la xarxa GSM, a través del canal BCCH –vegeu l'apartat 1.2.4 d'aquest mateix mòdul– ja li diu en quin país es troba). A més, augmenta l'autonomia ja que poden connectar i desconnectar l'equip i així es redueix el consum.

Com que cal conèixer exactament on són els satèl·lits en cada moment per a poder fer la triangulació, els **rellotges** dels satèl·lits i els terminals GPS són un punt clau.

En els satèl·lits es posen rellotges atòmics ( $10^{-12}$  segons d'error cada 3 hores). Per a reduir encara més aquest error, es monitoritzen des de la Terra amb estacions de control que disposen de deu rellotges atòmics. Per motius de cost, en els terminals no es posen rellotges atòmics.

El rellotge d'un receptor GPS té un error aproximat d'1  $\mu$ s per cada segon. És per aquest motiu que per a fer la triangulació no n'hi ha prou de tenir visió de tres satèl·lits (per les tres incògnites de la posició), sinó que cal un quart satèl·lit que permeti reduir els efectes de l'error en el rellotge.

La triangulació és més correcta si els satèl·lits que s'estan seguint estan allunyats entre si (és per això que els actuals receptors GPS tenen capacitat per a seguir més de quatre satèl·lits, sempre que els tinguin en el seu camp de visió).

El GPS té un error d'uns 15 metres. El GPS diferencial (**DGPS**) aconseguix precisions entorn de 3-5 metres combinant els senyals dels satèl·lits amb senyals procedents d'**estacions terrenals perfectament conegudes**.

La idea del DGPS està donant lloc a molts sistemes en què gràcies a tenir estacions terrenals de posició coneguda a prop d'on és el receptor, podem estimar

#### El primer satèl·lit GPS...

... es va llançar el 1978, i el 1986 es va donar llum verda a tot el sistema. El 1991, tot i no estar del tot operatiu, va ser de molta utilitat en la guerra del Golf. L'URSS disposa del seu propi (GLONASS, *global orbitography navigation satellite system*).

#### Observació

Un retard d'1 ns representa  $3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9} = 0,3$  m d'error ( $e = v \cdot t$ , on  $v = c$ , que és la velocitat de propagació de l'ona electromagnètica).

quins errors està introduint el sistema GPS. Els més importants són els disturbis ionosfèrics i els errors en les òrbites. Aquests tipus de sistemes poden tenir errors d'un metre aproximadament. En comentarem dos: el RASANT i el WAAS.

L'Institut Cartogràfic de Catalunya difon a través de l'estàndard **RASANT** (*radio aided satellite navigation technique*) les correccions (error i velocitat de l'error a cada satèl·lit) que calcula en l'estació de Bellmunt de Segarra, equipada amb GPS. Podem tenir errors d'un metre amb una degradació addicional de 0,5 m per cada 100 km de distància a l'estació de Bellmunt (que està situada prop del centre geogràfic de Catalunya). Ho difon amb el *radio data system* (**RDS**). Diversos organismes europeus volen que RASANT sigui el sistema europeu per a la difusió de correccions diferencials GPS a partir de l'RDS de les emissions FM.

L'estació de Bellmunt calcula l'error de cada satèl·lit i la velocitat de canvi d'aquest error i l'empaqueta en un format RTCM SC-104. Aquest format s'envia a través de l'RDS (*radio data system*) d'alguna emissora d'FM. En el cas de Catalunya, s'utilitza Catalunya Música, que abasta el 90% del territori i el 95% de la població.

Per a posicionar necessitem un receptor RASANT (receptor FM amb capacitat RDS i capacitat de descompressió de dades RASANT) i un receptor GPS amb capacitat d'entrades RTCM SC-104. Hi ha aparells integrats.

El sistema **WAAS** està inicialment pensat per als Estats Units, però és extrapolable a qualsevol territori. Vint-i-cinc estacions base sobre els Estats Units monitoritzen les dades dels satèl·lits. Dues estacions base recullen les dades de les vint-i-cinc anteriors i creen un missatge de correcció que envien a satèl·lits geostacionaris. Aquests satèl·lits geostacionaris envien la informació als receptors GPS.

Les tres aplicacions bàsiques del GPS són:

- **Navegació marítima:** els terminals en tenen prou de calcular dues dimensions i, per tant, són econòmics.
- **Navegació aèria:** els terminals han de calcular tres dimensions.
- **Control de flotes:** per a redirigir vehicles (carreteres col·lapsades), localitzar vehicles perduts, localitzar vehicles que han activat un estat d'emergència, optimitzar la logística en empreses de transport de mercaderies...

EGNOS és una millora del GPS disponible des de març de 2003. Rebem correccions des d'uns satèl·lits geostacionaris, que donen **integritat** a GPS. Així, mentre amb GPS la resolució és baixa a tot el món, amb GPS i EGNOS la resolució millora a la zona d'Europa i amb GPS, EGNOS i Galileu la resolució és bona a tot el món.

#### RASANT

El sistema RASANT va ser desenvolupat a Alemanya i va iniciar els serveis el 1996, amb un ús intensiu per a serveis topogràfics i flotes de vaixells a partir de 1999.



El sistema Galileu constarà de trenta satèl·lits a 24.000 km (el primer es va llançar el 2005). Aquest sistema, que s'espera que el 2013 ja tingui un ús comercial, oferirà tres nivells de servei amb precisions fins a 1 cm per a serveis de pagament:

- 1) Bàsic (i gratuït): pensat per al món de l'oci. El seu objectiu és que sigui tan fàcil saber l'hora com la posició.
- 2) De pagament i amb millors prestacions, per al món empresarial.
- 3) Molt restringit amb QoS el 100% del temps, per a aplicacions de seguretat.

**WEB**

Podem trobar més informació a [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/).

### Avantatges:

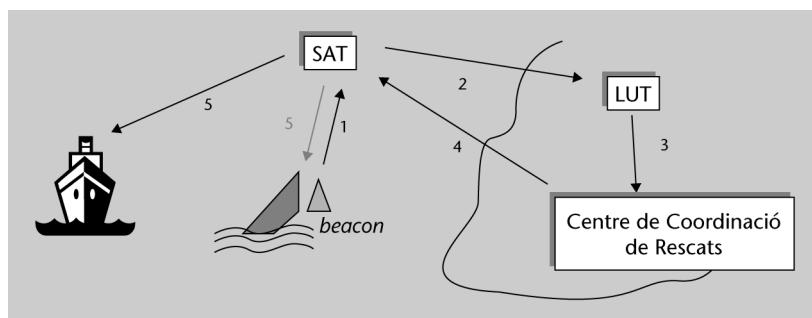
- **Independitza** Europa respecte del GPS, que és propietat del Departament de Defensa dels Estats Units.
- Donarà **integritat** (no caldrà el vídeo com a suport legal).

Amb GPS, cal el vídeo com a suport legal. Amb Galileu es podran establir sistemes de peatge automàtic, sense risc de confondre carreteres.

- Es podrà combinar amb GLONASS i GPS per a reduir els efectes de la propagació multicamí a les ciutats. Per exemple, pot millorar els sistemes de guiatge per a invidents.
- Millorarà els sistemes de recerca i rescat **SAR** (*search and rescue*).

En la figura següent veiem l'estructura general d'un sistema SAR.

Estructura general d'un sistema SAR



A grans trets, quan arriba la petició d'ajuda al satèl·lit (1), es trasllada a la unitat LUT de terra (2), que la deriva al centre de coordinació de rescats (3). Aquest centre, a més, pot comunicar-se amb l'element que ha demanat ajuda a través del satèl·lit (4,5).

Galileu oferirà dues millores als actuals sistemes:

- 1) Augmenta el nombre de satèl·lits que poden rebre una alarma (fins ara teníem els GPS i Glonass; amb Galileu tindrem trenta satèl·lits més) i així es redueix el temps de rebre les alertes.
- 2) Millora el que s'anomena *return link*. Aquest canal permet comunicar el centre de coordinació de rescats amb l'element que ha activat l'alarma i així es pot detectar una falsa alarma o donar ajuda psicològica a les persones que han sol·licitat auxili. Actualment aquest canal existeix però és de molt baixa velocitat.

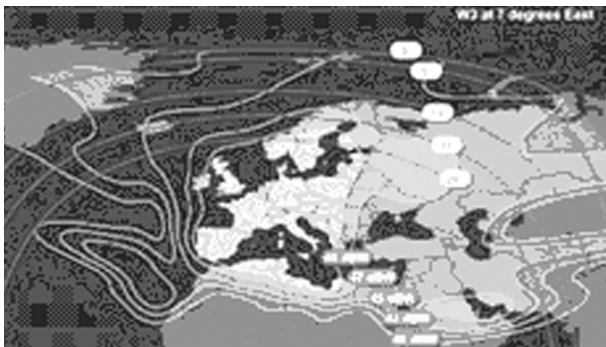
## 5.4. Sistemes d'òrbita geostacionària

En aquest apartat descriurem algunes de les constel·lacions de satèl·lits geostacionaris existents actualment.

### Eutelsat

Eutelsat és una constel·lació de vint-i-dos satèl·lits creada el 1977. En ser geostacionaris, amb un d'ells es pot cobrir gairebé un terç de la superfície terrestre. En la figura següent es mostra la cobertura d'un d'ells.

Cobertura d'un satèl·lit Eutelsat



La constel·lació Eutelsat permet oferir serveis per satèl·lit a diferents sistemes:

- **Euteltracs** presta serveis de dades a baixa velocitat (p. ex., posició). Implantat als Estats Units per Qualcomm com a Omnitrac. Fa servir un satèl·lit.
- **Aramiska**, empresa belga que permet accedir a banda ampla per satèl·lit per a pimes europees. A final de 2006 oferia fins a 1.024 kbps en l'enllaç ascendent (*uplink*) i 3.072 kbps en el descendent (*downlink*).
- **OpenSky** ofereix fins a 2 Mbps en el *downlink*, amb diferents tarifes dependent de la velocitat mínima que garanteix. Requereix una antena parabòlica i una unitat de recepció de satèl·lit DVB.
- Hi ha altres sistemes que fan ús d'Eutelsat, com Flash10 ([www.flash10.com](http://www.flash10.com)), Satconxion ([www.satconxion.es](http://www.satconxion.es)), Divona ([www.divona.com](http://www.divona.com)), Web-Sat ([www.web-sat.com](http://www.web-sat.com))...

### Inmarsat

Inmarsat (International Maritime Satellite Organization) és una organització constituïda el 1979 a escala mundial per tal de donar servei a tota la superfície marítima, encara que després es va ampliar també a terra i aire. El sistema Inmarsat funciona des de 1982.

Disposa d'onze satèl·lits en quatre ubicacions, dels quals set són de reserva. Com que és un sistema GEO, no pot cobrir els pols. Disposa d'unes trenta-nou

WEB

Podem trobar més informació a [eutelsat.com](http://eutelsat.com).

WEB

Podem trobar més informació a [www.aramiska.com](http://www.aramiska.com).

WEB

Podem trobar més informació a [eutelsat.net](http://eutelsat.net), [broadsat.com](http://broadsat.com) i [opensky.net](http://opensky.net).

estacions terrestres que uneixen els satèl·lits amb les xarxes nacionals i internacionals. Les comunicacions satèl·lit-mòbil són en la banda *L* (a uns 1,6 GHz) i les satèl·lit-Terra en la banda *C* (3,2 GHz en un sentit i 6,4 GHz en l'altre).

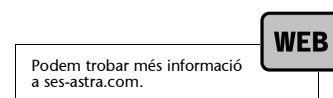
Inmarsat té definits diferents estàndards. Alguns d'ells són:

- Inmarsat-A (1982): sistema analògic que ofereix telefonia bidireccional, fax i dades a 9,6 kbps. Alguns models tenen opció de dades d'alta velocitat (64 kbps). Es necessiten paràboles d'un metre (si són a sobre d'un vehicle en moviment, s'han d'orientar electrònicament).
- Inmarsat-B (1992): és un sistema digital que substituirà completament l'Inmarsat-A: té més capacitat d'usuaris i és més econòmic per a l'usuari.
- Inmarsat-C: sistema *store and forward* de missatgeria (600 bps) per al control de flotes. És molt senzill fer trucades de grup. Els missatges poden ser de fins a 32 KB. Evoluciona cap al mini-C.
- Inmarsat-D: sistema de missatgeria bidireccional (no simètric). El D+ inclou GPS.
- Inmarsat-E: sistema per a emergències (p. ex., enfonsaments de vaixells). Al contacte amb l'aigua, i combinat amb GPS, emet missatges de socors.
- Inmarsat mini-M (1997): ofereix telefonia, fax i dades a 2,4 kbps, però pot utilitzar-se en terra, mar i aire. Dimensions com un PC portàtil.
- Inmarsat també té estàndards només aeronàutics.

En els últims anys Inmarsat està definint nous sistemes que anomena *GAN* (velocitats fins a 64 kbps) i *BGAN* (*broadband GAN*, fins a 492 kbps).

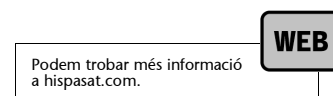
### Astra

ASTRA va ser, el 1988, el primer satèl·lit privat d'Europa. Disposa de tretze satèl·lits geostacionaris en quatre posicions i ofereix serveis de ràdio, televisió i dades (2 Mbps de pujada i 12 Mbps de baixada).



### Hispasat

El 1989 es crea Hispasat (hispasat.com). Disposa de sis satèl·lits (B, C, D, Amazonas, Xtar-Eur, Spainsat). Cobreix Europa, Amèrica i part de l'Àsia i l'Àfrica.



Alguns dels serveis que ofereix són:

- Xarxes VSAT de telecontrol (Repsol, Cepsa, Unión Fenosa...) i corporatives (Loteries, Aena, Correus...).

- Xarxes de distribució de dades de ràdio (RNE, SER, COPE...) i televisió (distribució de senyal entre cadenes, Digital+, RTVE...).
- Enllaços punt a punt i troncats (Península-Balears, Península-Canàries...).
- Internet de banda ampla.

Els serveis de banda ampla SmartBand ofereixen accés a Internet unidireccional (retorn per línia telefònica) però també punt a punt amb DVB-RCS (ideal per a llocs on no hi ha cap accés a xarxa, com benzineres o cabines telefòniques rurals).

WEB

Podem trobar més informació a [www.satconxion.es](http://www.satconxion.es).

## Thuraya

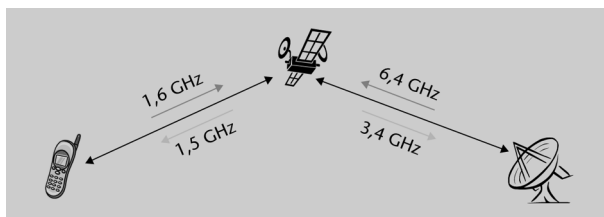
El 2000 es llença un satèl·lit que dona lloc al sistema Thuraya. Dona cobertura a Europa, l'Àsia central i l'Àfrica del Nord.

Les seves principals prestacions són una qualitat de veu GSM, dades fins a 9.600 bps, SMS i altres serveis típics de GSM, prepagament o postpagament, GPS i transmissió de posició GPS via GSM. En la figura següent veiem les bandes freqüencials de treball.

WEB

Podem trobar més informació a [satlink.es](http://satlink.es) i [thuraya.com](http://thuraya.com).

Sistema Thuraya



## 5.5. Sistemes d'òrbita baixa

En aquest apartat descriurem algunes de les constel·lacions de satèl·lits d'òrbita baixa existents actualment.

### Iridium

La teoria dels sistemes LEO data del 1987. Iridium va ser el primer sistema LEO impulsat per Motorola. Pensat inicialment amb setanta-set satèl·lits, es va quedar amb seixanta-sis. En ser sistemes d'òrbita baixa, els satèl·lits poden tenir més pes i el processament es fa a bord.

Disposa de seixanta-sis satèl·lits en òrbita circular polar a 765 km d'alçada distribuïts en sis plans. A aquesta alçada, el satèl·lit va més ràpid que la Terra.

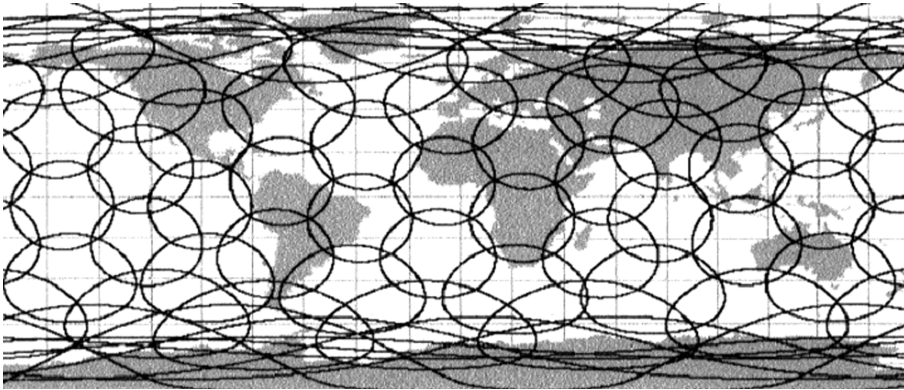
Cada satèl·lit projecta quaranta-vuit feixos (amb un diàmetre de la cèl·lula de 650 km) en la banda *L*. En aquesta banda (1 GHz) la pluja no influeix. A més d'aquestes comunicacions entre mòbils i satèl·lit, també es fan comunicacions entre satèl·lits i entre satèl·lits i estació fixa en la banda *Ka*. En total cada satèl·lit projecta un feix global de 4.400 km de diàmetre.

No necessita freqüències aparellades com l'Inmarsat; aquí la mateixa banda s'utilitza per a transmetre en els dos sentits.

Les cel·les (de dimensió constant, com veiem en la figura següent) es mouen juntament amb els satèl·lits. Per tant, és la cel·la la que passa d'uns usuaris a uns altres i no al revés com fins ara. Les cel·les es mouen sobre la superfície a 23.760 km/h i, per tant, cal fer traspassos contínuament.

Si les cel·les es mouen a 23.760 km/h i el diàmetre del feix és de 650 km, cal fer uns  $23.760 / 650 = 40$  traspassos en 1 hora.

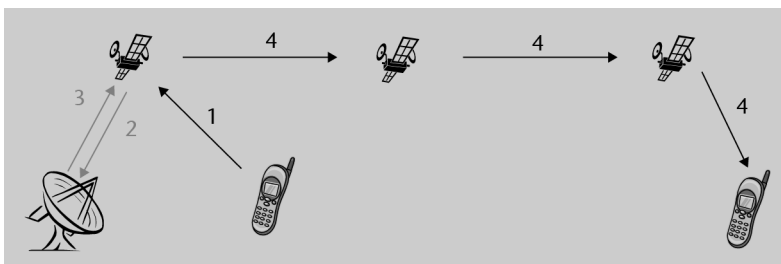
Cel·les Iridium



Quan un mòbil vol establir una trucada, se segueix el procés de la figura següent:

- 1) El seu senyal arriba al satèl·lit més proper (1).
- 2) El satèl·lit reenvia el senyal a la Terra per veure si aquest usuari té l'accés permès (2,3).
- 3) Després reenvia el senyal per terra o bé per aire a través dels altres satèl·lits (4).

Comunicacions Iridium



Iridium va iniciar el servei de veu el 1998, el 1999 va fer suspensió de pagaments i un any després va fer fallida. L'any 2001 va reemprendre les activitats amb el nom d'**Iridium Satellite**.

WEB

Podem trobar més informació a [iridium.com](http://iridium.com) i [fibertel.es](http://fibertel.es).

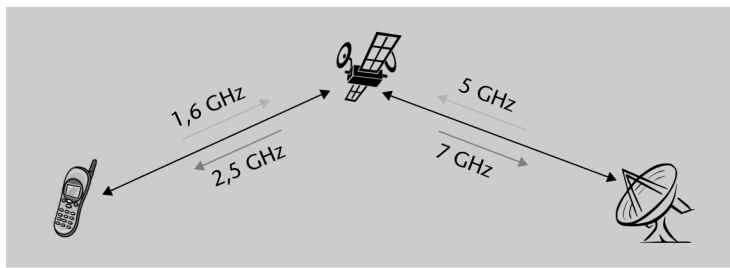
## Globalstar

Mentre que el consorci Globalstar existeix des de 1991, el servei s'ha posat en marxa el 1999. Globalstar és un sistema de quaranta-vuit satèl·lits operatius (vuit plans de sis satèl·lits) i quatre de reserva, a 1.400 km, molt semblant a Iridium però amb la diferència que mentre que Iridium era una xarxa independent, Globalstar és un complement d'altres xarxes. Globalstar fa servir la xarxa mòbil terrestre del lloc més proper a l'usuari, i per això **els terminals són duals** (GSM per defecte). Els satèl·lits només són repetidors. El senyal va del terminal al satèl·lit i aquest el rebota a l'estació més propera (*gateways*), que és qui fa la connexió (figura següent).

El sistema funciona amb uns cinquanta *gateways* (aproximadament) i ofereix cobertura entre les latituds 70° nord i 70° sud, a excepció de bona part de l'Àfrica i Àsia.

**WEB**  
Podem trobar més informació a [globalcom-insa.com](http://globalcom-insa.com).

Globalstar

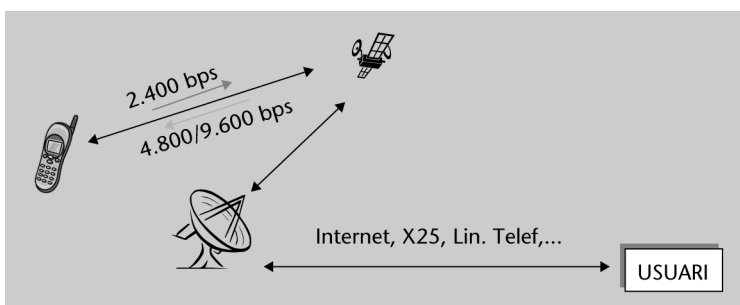


## Orbcomm

Orbcomm és una constel·lació de satèl·lits LEO que ofereix missatgeria bidireccional (6 a 250 bytes) i localització precisa de mòbils. En la figura següent veiem les velocitats en l'enllaç d'usuari.

**WEB**  
Podem trobar més informació a [globalcom-insa.com](http://globalcom-insa.com).

Orbcomm



## Activitats

1. Un dels elements del sistema GSM són les BTS (*base transceiver station*). Aquests elements fan d'enllaç entre els terminals mòbils i la xarxa GSM i bàsicament consten d'antenes per a transmetre/rebre, amplificadors i equips de radiofreqüència. Les antenes són la part més visible (solen ser la part més elevada de la BTS) i la resta d'equips són a prop, típicament en un armari de comunicacions dins una caseta.

Hi ha diferents tipus de BTS depenent del lloc al qual es vulgui donar cobertura.

- BTS mòbils que poden servir per a reforçar la cobertura en llocs que tenen puntes de trànsit (grans celebracions esportives...).
- BTS per a llocs amb característiques especials de propagació (metro, túnels llargs, pàrquings...).
- BTS repetidores, pensades per a posar en llocs on la cobertura està molt ajustada i que fan la funció d'augmentar el nivell de senyal.
- BTS clàssiques (cobertura en ciutats, cobertura de carreteres...).

Molt sovint els equips són els mateixos i les diferències entre BTS estan només en les antenes.

Es demana que feu una recerca de com són per dins les BTS (equips i antenes) dels diferents tipus que es troben en el mercat (atenent les necessitats dels llocs on es vol donar cobertura). Algunes de les dades que podeu esbrinar són:

- Les potències de transmissió (en W i/o dBm).
- Els guanyos típics de les antenes més habituals, els diagrames de radiació i la forma d'aquestes antenes.
- El preu d'aquestes instal·lacions.
- El nombre de portadores GSM que poden manejar (i, per tant, el nombre d'usuaris als quals poden donar servei).
- Si són sistemes vàlids per a 900 i 1.800 MHz alhora.
- Etc.

2. El sistema de telefonia mòbil GSM ha estat a Europa el gran dinamitzador de les comunicacions mòbils. El gran nombre de xarxes instal·lades a tot Europa fa que la tecnologia GSM sigui molt robusta, i fins i tot s'han creat algunes variants d'aplicació en sectors més específics.

Una d'elles és l'anomenat *GSM-R (GSM-railway)*. Aquest sistema, basat en GSM, pretén donar solució a les cada vegada majors necessitats de comunicació de les empreses ferroviàries. Així, per exemple, el mes de juny de 2003 va saltar a la llum el cas d'un accident mortal de tren a Chinchilla (Albacete) en un tram de via única en què el sistema de comunicació no estava operatiu.

El GSM-R ha estat adoptat per diversos països europeus (entre els quals, Espanya) i actualment està en una fase inicial d'implantació.

Aquest exercici pretén que us introduïu en aquest tema, i que parleu del sistema GSM-R i de la seva situació a Espanya. Alguns dels temes per tractar són:

- Respecte al sistema GSM-R: els seus orígens, països que l'adopten, avantatges, fonaments tècnics...
- Respecte a la seva situació a Espanya: terminis d'implantació, proves que s'estan realitzant, subministradors dels equips...

## Exercicis d'autoavaluació

1. Suposeu una estació base en què hi ha un únic operador GSM transmetent amb tres portadores. Per a complir la normativa de distàncies de seguretat, suposeu que aquest operador ha de garantir una distància de seguretat de cinc metres. Si doblem el nombre de portadores, es doblarà també la distància?

2. Suposeu que en un país existeix una operadora que només disposa de llicència GSM900 i una altra operadora que només disposa de llicència DCS1800. Suposant que les dues operadores tenen un nombre d'estacions base similars, raoneu quina estarà en millors condicions de donar servei en àrees rurals allunyades de nuclis de població i quina ho estarà per a donar servei en zones urbanes amb alta demanda de trànsit.

3. El sistema GSM, a través del canal SCH, ens dóna informació de sincronització. Una de les informacions més importants és dir-nos en quina trama de la hipertrama estem situats. Recordem que en GSM una hipertrama està formada per 2.048 supertrames, i cada supertrama està formada per 26 multitrames de 51 trames. Amb 19 bits té suficient per a dir-nos en quina trama som. Bàsicament la hipertrama és tan llarga per motius de seguretat. Suposeu ara que

una millora en els algorismes de seguretat ens permetés reduir la mida de la hipertrama i, en concret, fos suficient amb 250 supertrames. Quants bits ens caldrien per a dir-nos en quina trama som?

4. En GSM, els algorismes d'autenticació, coneguts com a A3 i A8, poden ser diferents entre diferents operadors. Quan anem a un país estranger amb el nostre mòbil i ens autèntiquem, l'operador estranger no coneix la nostra clau secreta ni els algorismes A3 i A8 que es fan servir, però és capaç de fer l'autenticació totes les vegades que li calgui. Com ho fa?

5. Les antenes de les estacions base GSM poden ser orientables manualment, elèctricament o remotament. Expliqueu les diferències entre elles.

6. Per a protegir-nos davant les radiacions de ràdio hi ha diverses normatives, una de les quals fa referència al paràmetre anomenat SAR (*specific absorption rate*). Els fabricants de terminals mòbils han de donar el valor del SAR dels seus equips. Per exemple, el Nokia 6610i té un SAR de 0,73 W/kg i el Nokia 7280 té un SAR de 0,83 W/kg. Expliqueu què és el SAR i digueu quin dels dos terminals anteriors és millor quant a les radiacions que ocasiona.

7. El PAGCH (*paging access grant channel*) és un dels canals de GSM. Expliqueu quines informacions van en aquest canal i dieu també si va de base a mòbil o de mòbil a base.

8. Expliqueu entre quines entitats de GPRS s'estableix el procés de *tunneling*, deixant clara quina de les entitats fa la sol·licitud del túnel i quina és la utilitat del túnel.

9. En l'enllaç descendent de GPRS, la xarxa transmet als terminals el TFI (*temporary flow identity*, 5 bits) i l'USF (*uplink state flag*, 3 bits). Expliqueu què són aquests dos paràmetres.

10. A continuació s'esmenten quatre sistemes de localització a través de GSM: a) COO; b) COO + TA; c) COO + TA + AOA; d) COO + AOA. Recordeu que COO indica *cell of origin*, TA vol dir *time advance* i AOA indica *angle of arrival*. Raoneu quin dels sistemes anteriors és més adient per a localitzar un usuari que es troba en un entorn rural i quin és més adient per a localitzar un usuari que es troba en un entorn urbà.

11. En GPRS es parla del context PDP i del context de mobilitat. Quina de les entitats GPRS (SGSN i GGSN) té més responsabilitat en la creació de cadascun d'aquests contextos? Raoneu-ho.

12. Una altra manera d'anomenar un terminal GPRS de classe 9 és dir que es tracta d'un terminal GPRS 3+2. Quin és el significat d'aquest 3+2?

13. En un sistema CDMA amb 20 dB de guany de processament ( $G_p = 20$  dB), quants bits es generen a la sortida de l'emissor quan la seqüència que s'ha de transmetre és 0 0 1 1 0 1? Raoneu-ho.

14. UMTS defineix una interfície que uneix els RNC (interfície Iur). En GSM aquesta interfície no era necessària (entre els elements que feien funcions similars a les de l'RNC). Per què?

15. Comenteu les funcions dels dos elements bàsics de l'accés de ràdio UMTS (RNC i Node\_B) i identifiqueu els elements de GSM amb funcions similars.

16. Els sistemes RASANT i WAAS serveixen per a millorar les prestacions del sistema GPS. Quines són les diferències entre aquests dos sistemes?

17. En el sistema GPS és fonamental tenir els receptors perfectament sincronitzats, però no es poden posar rellotges atòmics pel seu elevat preu (entre altres consideracions). Com es fa perquè els receptors puguin funcionar correctament sense disposar d'aquests rellotges atòmics?

18. Indiqueu els avantatges del futur sistema de posicionament Galileu respecte a l'actual sistema GPS.



## Solucionari

1. No, ja que  $d = \sqrt{\frac{PIRE}{S_{LIM} \cdot 4\pi}}$

Doblar el PIRE implica multiplicar la distància per  $1,41 (\sqrt{2})$ .

2. Com més freqüència, més dificultats per a la propagació. Així, l'operadora que té llicència a DCS1800 tindrà més dificultats per a disposar estacions base amb un gran radi de cobertura. A canvi, en la banda de 1.800 MHz hi ha més canals que en la banda de 900 MHz, i es podran tenir més comunicacions simultànies en entorns que ho requereixin. Així, GSM900 està en millors condicions de donar servei en àrees rurals allunyades de nuclis de població i DCS1800 ho està per a donar servei en zones urbanes amb alta demanda de trànsit.

3. Observem que entre el cas de GSM i el cas que ens plantegen, només canvia el nombre de supertrames. On abans havíem de codificar 2.048 supertrames, ara només n'hem de codificar 250. En el primer cas, ens calen 11 bits ( $2^{11} = 2.048$ ), però ara només en calen 8 ( $2^8 = 256$ ). Hem pogut reduir 3 bits i, per tant, en lloc de 19 bits, amb  $19 - 3 = 16$  bits en tenim prou.

4. L'autenticació es realitza gràcies a les tripletes, que independitzen els algorismes. Així, l'operador estranger demanarà tripletes a la xarxa pròpia de l'usuari. Aquestes tripletes s'hauran construït amb els algorismes propis, que han de coincidir amb els de la SIM del terminal.

5. L'orientació manual és quan movem físicament l'antena; l'elèctrica és quan des de l'antena ajustem un senyal per tal que canviï l'orientació del feix sense moure l'antena; la remota és com l'elèctrica però sense que calgui fer l'operació sobre la mateixa antena.

6. El SAR indica els watts que arriben a cada quilogram de massa corporal. Les proves es fan en laboratori, posant el terminal al costat d'un cos artificial i mesurant les radiacions que li arriben. Així, un mòbil amb un SAR de 0,73 W/Kg és menys nociu que un altre amb un SAR de 0,83 W/kg.

7. Aquest canal l'envia la base cap a tots els mòbils i porta els *pagings* (quan la xarxa busca telèfons mòbils perquè, per exemple, estan trucant) i les confirmacions d'accés (quan un mòbil ha demanat un accés i la xarxa li diu que l'ha aconseguit).

8. Un túnel es fa entre l'SGSN i el GGSN a petició del primer. Si un terminal GPRS vol accedir a xarxes externes, es comunica amb l'entitat que el va seguint (SGSN) i li demana que es comuniqui amb un GGSN (que són els que tenen contacte amb les altres xarxes).

9. El TFI indica per quin terminal és aquell bloc *downlink*, i l'USF indica quin terminal pot transmetre en el següent bloc *uplink*.

10. En un entorn urbà les distàncies són molt curtes, i el *time advance* no ens dóna una bona aproximació de la distància a la qual som de la base. A més, en aquests entorns les cèl·lules solen ser sectorials, i el millor mètode seria el COO + AOA. En un entorn rural, no se sol aplicar sectorització, i el mètode COO + TA seria el més adient.

11. El context PDP el demana el terminal mòbil per poder enviar o rebre dades a través de GPRS. El GGSN (element en contacte amb les xarxes externes) és el que té una responsabilitat més gran.

El context de mobilitat depèn de l'SGSN, ja que és l'element que va seguint el terminal encara que aquest es mogui.

12. Significa que el terminal pot fer ús de 3 ranures de baixada i 2 de pujada. Si la velocitat per ranura és de 13,4 kbps (aprox.), aquest terminal podria rebre dades a  $13,4 \times 3 = 40,2$  kbps i enviar a  $13,4 \times 2 = 26,8$  kbps.

13. Un guany de processament de 20 dB es correspon amb un guany de 100 ( $10^{20/10}$ ). Això vol dir que cada bit de dades es multiplicarà per 100 xips. Com que a l'entrada tenim 6 bits, a la sortida tindrem  $6 \cdot 100 = 600$  xips.

14. En UMTS és molt important la coordinació entre els RNC perquè un terminal pot estar connectat a més d'un RNC (macrodiversitat). En GSM, un terminal només està connectat a un BSC i no cal coordinació.

15. El node B fa funcions similars al BTS de GSM. Adapta els senyals a la interfície de ràdio i des de la interfície de ràdio, mesura qualitat i potència, fa *handover* entre sectors del mateix node B i gestiona el control de potència.

L'RNC fa funcions similars al BSC de GSM. Gestiona els recursos de ràdio (traspassos...), controla la mobilitat dels terminals i fa el *handover* entre diferents nodes B. Per a facilitar aquesta feina, els RNC estan units entre ells amb una interfície pròpia.

16. Tant RASANT com WAAS pretenen informar els terminals GPS de possibles errors introduïts pel medi. Per a fer-ho, hi ha unes estacions de referència que disposen de terminals GPS i, com que coneixen la seva posició exacta, poden determinar l'error existent i transmetre'l als receptors GPS. En RASANT, aquesta transmissió es fa a través d'emissores FM a través d'RDS, mentre que en WAAS es fa a través de satèl·lits geostacionaris que informen d'aquestes correccions als receptors.

17. En el sistema GPS es considera que a més de les tres incògnites de la posició ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) hi ha una quarta incògnita, que és l'error del rellotge del terminal. En tenir quatre incògnites, el sistema necessita treballar amb les dades de quatre satèl·lits, que ha de tenir en visió de manera simultània. Si l'error dels receptors fos zero, amb les dades de tres satèl·lits en tindria prou.

18. GPS es va pensar per a ús militar i després es va adaptar per a ús civil, mentre que Galileu està pensat per a ús civil (de pagament i gratuït). La resolució de Galileu serà superior a la de l'actual GPS. A més, encara tindrà millor resolució si el receptor rep dades de la constel·lació Galileu i de la constel·lació GPS alhora.

## Glossari

**AuC** *m* Centre d'autenticació de l'estàndard GSM.

**BSC** *m* Controlador d'estacions base de l'estàndard GSM.

**BTS** *f* Estació base de l'estàndard GSM.

**CDMA** *m* Accés múltiple per divisió en codi.

**CEPT** *f* Conferència Europea d'Administracions de Correu i Telecomunicacions. És un organisme europeu que agrupa els reguladors de comunicacions.

**DCS** *m* Estàndard de telefonia mòbil similar a GSM però que treballa a 1.800 MHz.

**DL** *m* Enllaç descendent.

**DS** *f* Seqüència directa (un dels dos tipus de CDMA).

**EDGE** *m* Estàndard de telefonia mòbil similar a GSM però que aconsegueix velocitats de transmissió més elevades (384 kbps).

**EMS** *m* Servei de missatges curts ampliat (te més prestacions que l'SMS).

**ETSI** *m* Institut d'Estàndards Europeus de Telecomunicacions.

**FACCH** *m* En GSM, és el canal ràpid de control en mode dedicat.

**FDD** *m* Duplexat en freqüència.

**FDMA** *m* Accés múltiple per divisió en freqüència.

**GEO** *m* Satèl·lit en òrbita geostacionària.

**GGSN** *m* Node de suport passarel·la en l'estàndard GPRS.

**GPRS** *m* Servei de ràdio de paquets. És una evolució de la xarxa GSM.

**GPS** *m* Sistema de posicionament global amb satèl·lits.

**GSM** *m* Sistema global de comunicacions mòbils. És l'estàndard europeu de comunicacions mòbils de segona generació.

**HLR** *f* Base de dades d'usuaris locals en GSM.

**HSCSD** *f* Millora del GSM que permet assignar més de un canal a un usuari, garantint la velocitat.

**HSDPA** *m* Accés de paquets d'alta velocitat en l'enllaç descendent. És una evolució de la xarxa UMTS.

**IMEI** *m* Identificador de l'equip mòbil en GSM.

- IMSI** *m* Identificador de l'abonat mòbil en GSM.
- ITU** *f* Unió Internacional de Telecomunicacions.
- LEO** *m* Satèl·lit en òrbita baixa.
- MEO** *m* Satèl·lit en òrbita mitjana.
- MMS** *m* Servei de missatges multimedia
- MSC** *m* Centre de commutació en l'estàndard GSM.
- OMS** *f* Organització Mundial de la Salut.
- OVM** *m* Operador mòbil virtual.
- PAGCH** *m* Canal de *paging* en l'estàndard GSM.
- PCU** *f* Unitat de control de paquets en l'estàndard GPRS.
- PDP** *m* El context PDP, en l'estàndard GPRS, conté tota la informació perquè un terminal es pugui comunicar amb un altre.
- PIRE** *f* Potència isotròpica radiada equivalent.
- QoS** *f* Qualitat de servei.
- RACH** *m* Canal d'accés aleatori en GSM.
- RAM** *f* Memòria de lectura i escriptura.
- RNC** *m* Controlador de ràdio d'UMTS, amb una funció similar al BSC de GSM.
- ROM** *f* Memòria només de lectura.
- SACCH** *m* En GSM, és el canal lent de control en mode dedicat.
- SAR** *f/m* En telefonia mòbil, el SAR és la taxa d'absorció específica d'un terminal. En sistemes per satèl·lit, els SAR són els sistemes de recerca i rescat.
- SAT** *f* Eines per a crear aplicacions basades en la targeta SIM dels terminals mòbils.
- SGSN** *m* Node de suport de seguiment en l'estàndard GPRS.
- SIM** *m* Mòdul que s'insereix en un terminal mòbil i que conté les dades de l'abonat.
- SMS** *m* Servei de missatges curts.
- TA** *m* En GSM, és el *time advance* i dóna una idea de la distància entre el terminal i l'estació base que li està donant servei.
- TDD** *m* Duplexat en temps.
- TDMA** *m* Accés múltiple per divisió en temps.
- TIA** *f* Agència Industrial de les Telecomunicacions dels Estats Units.
- TMSI** *m* En GSM, és una versió abreujada i temporal de l'identificador d'abonat IMSI.
- TRAU** *f* Unitat adaptadora de velocitat definida en l'estàndard GSM.
- UL** *m* Enllaç ascendent.
- UMTS** *m* Estàndard europeu de telefonia mòbil de tercera generació.
- VLR** *f* Base de dades d'usuaris visitants en GSM.
- VSAT** *m* Sistema de satèl·lits que es poden rebre amb antenes de petit diàmetre.
- WAP** *m* Protocol d'accés sense fils, pensat per a xarxes que no permeten grans velocitats, com per exemple GSM.

## **Bibliografia**

**Lluch, C.; Rábanos, J. M.** (2001). *Comunicaciones móviles 3G UMTS* (vol. 1 i 2). Madrid: Telefónica Móviles.

**Calvo, M.** (2004). *Sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación*. Madrid: Fundación Airtel-Vodafone.