

Comunicacions sense fil

Miquel Font Rosselló

PID_00147704



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu

Índex

Introducció	5
Objectius	7
1. Sistemes de comunicació de la telefonia mòbil	9
1.1. GSM (Global System for Mobile Communication)	10
1.2. GPRS	16
1.3. EDGE	18
1.4. UMTS	19
1.4.1. Equips mòbils	28
2. Xarxes sense fil	29
2.1. Infrarojos	30
2.2. Bluetooth	33
2.3. ZigBee	40
2.4. Wi-Fi	43
2.5. WiMAX	47
Resum	53
Bibliografia	55

Introducció

Les ones infraroges, microones i ones hertzianes són les anomenades *radiacions electromagnètiques*, que s'utilitzen en el camp de les telecomunicacions sense fil.

En les primeres comunicacions a llarga distància que es feien s'utilitzaven columnes de fum o llum creada amb torxes de foc. La llum s'ha utilitzat com a mitjà de comunicació per la facilitat de produir-la i perquè recorre distàncies llargues a una gran velocitat. L'avantatge de les ones infraroges, les microones i les ones hertzianes és que no són visibles per a l'ull humà malgrat que es puguin fer servir per a la comunicació d'informació.

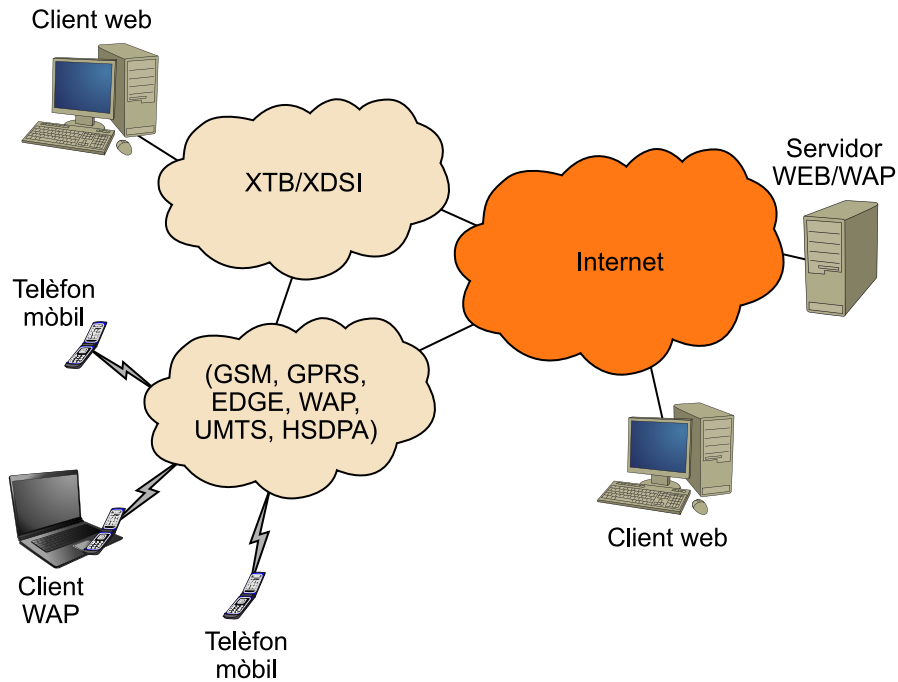
En els darrers anys el mercat de les comunicacions sense fil s'ha popularitzat a causa dels avantatges de les xarxes sense fil: la mobilitat, la flexibilitat, la facilitat d'instal·lació, l'escalabilitat, el dinamisme en els canvis de la topologia, i la possibilitat d'arribar on no pot arribar el cable. Com a principals inconvenients podem destacar el seu elevat cost inicial i la seva seguretat.

Dins el món de les comunicacions sense fil, podem distingir dos grans grups:

- Sistemes de comunicació amb telefonia mòbil.
- Xarxes sense fil.

Actualment la gran majoria de la població té un telèfon mòbil, i el seu ús ha experimentat un creixement exponencial arreu de tot el món en els últims anys. Inicialment, la telefonia mòbil, que només servia per a conversacions telefòniques, va evolucionar amb la possibilitat de fer enviaments de petits missatges de text (SMS). Més endavant es va possibilitar l'accés a Internet per mitjà del protocol WAP, l'augment de les velocitats d'accés a Internet amb GPRS i, finalment, les tecnologies UMTS, que permeten disposar de terminals mòbils (telèfons, ordinadors de butxaca...) multimèdia amb múltiples serveis i aplicacions amb connexions a altes velocitats.

Convergència Internet-mòbil



A tot el món s'ha assolit la xifra de 4.000 milions d'abonats mòbils, amb un índex de penetració entorn del 60%. El 2009, la Xina era el mercat més important, amb més de 600 milions d'usuaris. El sistema GSM era el més utilitzat, amb una quota entorn del 80%, amb més de 3.000 milions d'usuaris. El nombre d'usuaris de 3G al món superava els 900 milions (250 milions UMTS/HSPA).

L'evolució de les xarxes sense fil d'àrea local Wi-Fi, gràcies a la popularització dels accessos domèstics a Internet, s'ha estès en multitud de llars i empreses, i també la utilització del protocol Bluetooth per a interconnectar diferents accessoris i dispositius a ordinadors, impressores, ratolins, teclats, etc.

Objectius

L'estudi dels materials didàctics d'aquest mòdul ha de permetre que els estudiants assolís els objectius següents:

- 1.** Conèixer les tecnologies més habituals i actuals utilitzades en la telefonia mòbil comercial.
- 2.** Tenir una visió general de la ràpida evolució històrica de la tecnologia mòbil en els darrers trenta anys.
- 3.** Entendre bé les característiques i limitacions de cada tecnologia de telefonia mòbil.
- 4.** Conèixer quines són les funcionalitats actuals i futures que s'ofereixen als usuaris de la telefonia mòbil.
- 5.** Conèixer els estàndards i els noms de les xarxes sense fil d'ús més comú actualment.
- 6.** Entendre bé la diferència de les funcionalitats de les xarxes sense fil segons la seva tipologia: consum, prestacions, velocitat de transmissió, distància entre els equips, etc.
- 7.** Saber elegir una tecnologia sense fil concreta per a una situació particular.

1. Sistemes de comunicació de la telefonia mòbil

L'any 1985 va sorgir a Europa la primera generació (1G) de telèfons mòbils després d'adaptar el sistema Advanced Mobile Phone System (AMPS) als requisits europeus, anomenats *Total Access Communications System* (TACS). TACS engloba totes les tecnologies de comunicacions mòbils analògiques. Es podia transmetre veu però no dades. Actualment aquesta tecnologia està obsoleta i desapareixerà en el futur.

A causa de la senzillesa i les limitacions de la primera generació va sorgir el sistema Global System for Mobile Communications (GSM), que marcà el començament de la segona generació (2G) de la telefonia mòbil. Aquesta tecnologia pot transmetre dades, a més de les conversacions de veu prou conegudes, a una velocitat de 9,6 kbps; la transmissió de dades es va iniciar amb el servei de missatgeria curta o missatges SMS.

Després va aparèixer la tecnologia WAP, que consistia en unes pàgines web pensades per a veure-les amb les pantalles monocromes dels telèfons mòbils. Les primeres connexions es feien amb trucades al proveïdor telefònic, que transmetia les dades com si fos un mòdem tradicional i les transmetia a una velocitat de 9,6 kbps.

L'any 2001 va sorgir la denominada *segona generació i mitja* (2,5G), com a pas previ a la tercera generació (3G). En la 2,5G estan incloses totes aquelles tecnologies que permeten més capacitat de transmissió de dades i que sorgiren com a pas previ a les tecnologies 3G. Dins aquesta generació va néixer la tecnologia General Packet Radio Service (GPRS), que permetia accedir a Internet per mitjà del protocol TCP/IP. La velocitat de comunicació era de 54 kbps de baixada i de 9,6 kbps de pujada, i el servei es pagava per les dades descarregades, no pas pel temps de connexió.

Amb la finalitat de facilitar les comunicacions sense fil a causa de la seva generalització a tot el món, la International Telecommunication Union (ITU) va adoptar diferents interfícies d'accés radioelèctric anomenades *International Mobil Telecommunications-2000* (IMT-2000) o 'comunicacions mòbils internacionals'.

Després sorgiren les tecnologies 3G, que es defineixen dins l'IMT-2000 (de la ITU), que marca l'estàndard perquè totes les xarxes 3G siguin compatibles unes amb altres. Actualment, el 3GPP (3rd Generation Partnership Project) està treballant en el Universal Mobil Telecommunications System (UMTS), una de les

tecnologies que utilitzen els mòbils de tercera generació (3G). Aquesta tecnologia permet descarregar dades fins a una velocitat de 2 Mbps, cosa que fomenta l'aparició de noves aplicacions i serveis.

Malgrat tot la tecnologia UMTS no està actualment pensada per a suplantat la tecnologia ADSL per cable de les llars, empreses i oficines, ja que encara només es factura per descàrrega de dades. També és necessari que a la zona on s'utilitza hi hagi cobertura per a aquesta tecnologia. Avui dia la tecnologia UMTS es pot utilitzar per a connexions a Internet, correu electrònic, FTP (transferència d'arxius), Telnet (terminal remot), videoconferències, comerç electrònic, etc.

"La quarta generació (4G) serà el futur de la tecnologia mòbil, amb velocitats de transmissió de 50 Mbps de pujada i 100 Mbps de baixada, i utilitzarà diferents tecnologies (MIMO, HSDPA, OFDM,)."

1.1. GSM (Global System for Mobile Communication)

El sistema global System for Mobile communication¹ (GSM) és un estàndard acceptat pels telèfons mòbils o cel·lulars. GSM és el nom d'un grup d'estandardització creat l'any 1982 pensat per a crear un estàndard de comunicació per als telèfons mòbils europeus.

⁽¹⁾En català, Sistema global de comunicació mòbil.

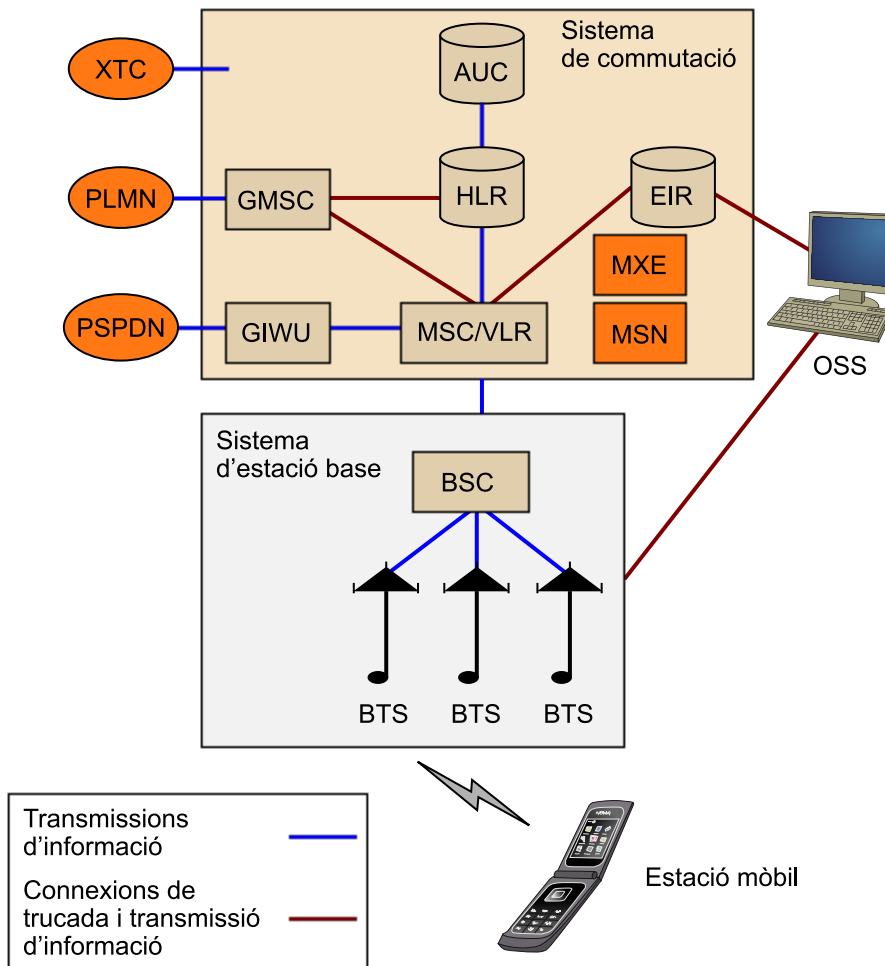
El sistema GSM té l'avantatge que, en ser un sistema estàndard, permet a l'usuari gaudir dels serveis contractats en mantenir-lo connectat de manera automàtica independentment de la part del món en què es trobi. Això és possible gràcies al fet que, en ser un sistema cel·lular global, l'espai es divideix en cel·les de manera que cadascuna disposa d'una estació de ràdio que li dona cobertura. D'aquesta manera, a mesura que un usuari es desplaça d'una cel·la a una altra, la cobertura i transmissió es repren de manera automàtica a la nova estació de ràdio gràcies al fet que es troben interconnectades (per un procés anomenat *traspàs de cel·la*). Per aquest motiu, i a causa de l'auge d'aquest sistema de comunicació, pot ocórrer que, en alguns llocs i èpoques de l'any, el sistema quedi congestionat quan la demanda de servei en una cel·la o zona geogràfica concreta supera la seva capacitat, com passa en algunes zones turístiques en temporades de gran afluència.

L'estàndard GSM proporciona recomanacions però no requisits. Les especificacions defineixen les funcions i els requisits de les interfícies amb detall, però no descriuen el maquinari dels equips. La raó de tot això és limitar el nombre de dissenyadors al màxim possible per fer possible que un mateix operador de telecomunicacions pugui adquirir els equips de diversos fabricants diferents.

La xarxa GSM es divideix en tres sistemes:

- 1) el sistema de commutació (*switching system, SS*),
- 2) el sistema d'estació base (*base station system, BSS*), i
- 3) el sistema d'operació i de suport (*operation and support system, OSS*).

Els elements bàsics d'una xarxa GSM es descriuen en la figura següent.



El sistema de commutació (SS) és el responsable de gestionar el processament de les trucades, i les funcions del subscriptor. La seva estructura està constituïda pels elements següents:

- **Registre de localització (HLR).** És una base de dades utilitzada per a guardar i gestionar les subscripcions. És considerada la base de dades més important i guarda la informació permanent sobre els subscriptors, els perfils de serveis dels subscriptors, la informació de localització, i l'estat de l'activitat. Quan una persona individual compra una subscripció (es dona d'alta amb un operador de telecomunicacions) a un dels operadors de telecomunicacions (operador PC), la persona és registrada en l'HLR d'aquest operador.

Subscriber

És el client usuari d'un operador de telecomunicació.

- **Centre de commutació dels serveis mòbils (MSC).** L'MSC proporciona les funcions de commutació de telefonia en el sistema. Controla les trucades d'altres telèfons i sistemes de dades.
- **Registre de localització dels visitants (VLR).** La VLR és una base de dades que conté informació temporal sobre els subscriptors que necessiten l'MSC com a subscriptors visitadors. El VLR s'integra dins l'MSC. Quan una estació mòbil roman en una nova àrea MSC, el VLR connectat en aquest MSC demanarà informació sobre l'estació mòbil a l'HLR. Després, l'estació mòbil fa una trucada, i el VLR tindrà la informació necessària per a fer l'establiment de trucada sense necessitat d'haver d'interrogar l'HLR constantment.
- **Centre d'autenticació (AUC).** L'AUC proporciona autenticació i xifratge per a determinar la identitat i assegurar la confidencialitat de cada trucada. Protegeix les operacions de xarxa de diferents tipus de fraus.
- **Registre de la identitat dels equips (EIR).** L'EIR és una base de dades que conté informació sobre la identitat dels equipaments mòbils, i que fa la prevenció que les trucades siguin escoltades, no autoritzades, o detecta estacions mòbils defectuoses.

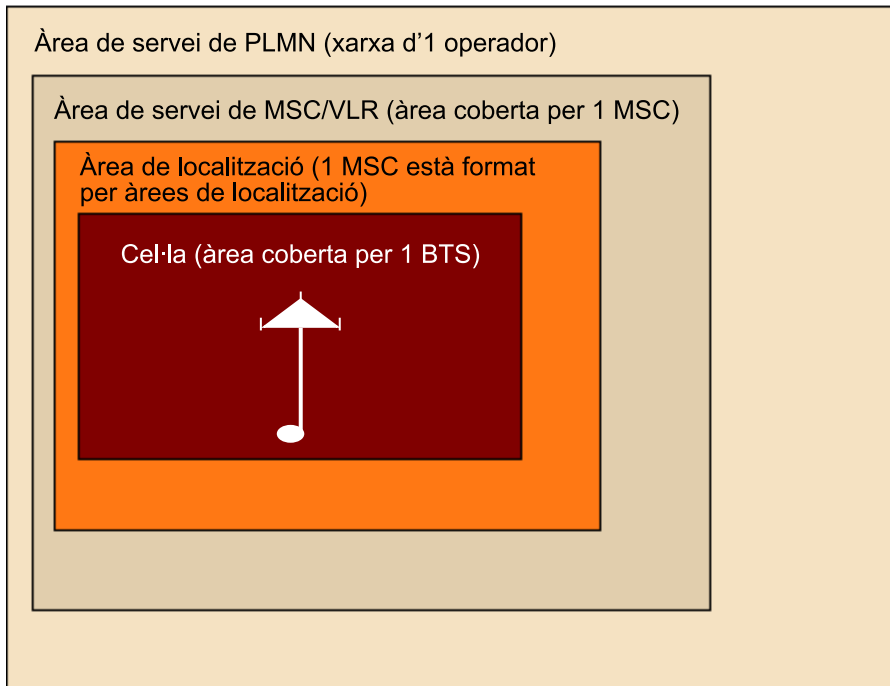
El sistema d'estació base (BSS) fa totes les funcions relacionades amb la transmissió per ràdio, que consisteix en controladors d'estació base (BSC) i les estacions transmissores base (BTS). Les seves funcions són les següents:

- La BSC proporciona tot el control de les funcions dels enllaços físics entre l'MSC i el BTS. És un commutador d'alta capacitat que proporciona funcions com el control de la radiofreqüència (RF), la informació de la configuració de cel·la i els nivells de potència a les BTS. Diverses BSC són servides per un mateix MSC.
- La BTS proporciona la interfície de ràdio cap a l'estació mòbil. El BTS és l'equipament de ràdio (transmissors i receptors i antenes) que es necessiten per a proporcionar servei a cada cel·la. Un grup de BTS és controlat per una BSC.

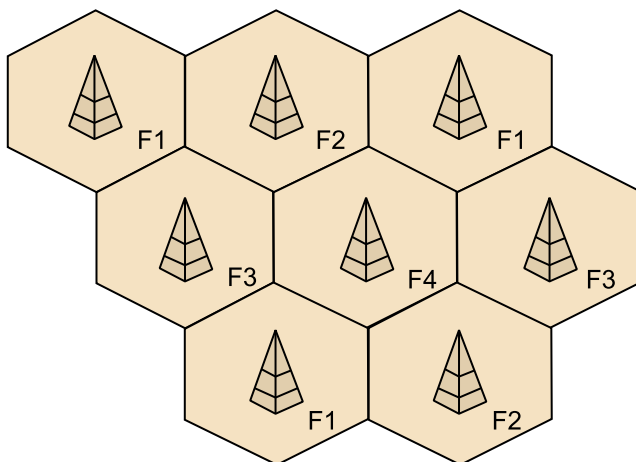
El centre de manteniment i operacions (OMC) es connecta a tots els equips en el sistema de commutació i als BSC. La implementació de l'OMC s'anomena *sistema de suport i operacions* (OSS). L'OSS és l'entitat funcional a partir de la qual l'operador de la xarxa controla i monitora el sistema. L'OSS ofereix al client suport per a les operacions de manteniment centralitzades, regionals i locals. Una funció important de l'OSS és proporcionar una visió global de la xarxa i donar suport a les activitats de manteniment de les diferents organitzacions.

Altres elements són el *message center* (MXE), que guarda els missatges de dades, de veu, i de fax; el *mobile service node* (MSN), que proporciona serveis de xarxa intel·ligents, el *gateway mobile services switching center* (GMSC), que serveix per a interconnectar dues xarxes, i la *GSM interworking unit* (GIWU), que consisteix en el maquinari i programari de la interfície de diverses xarxes.

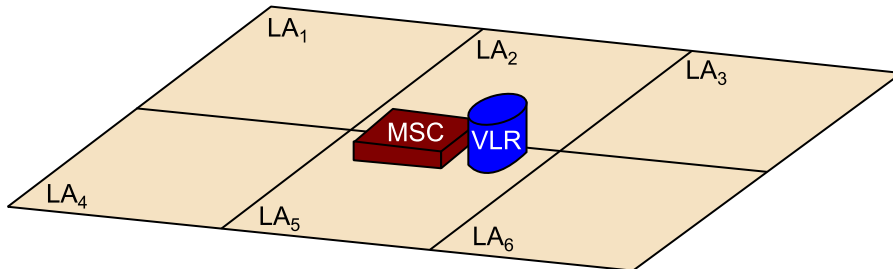
La xarxa GSM es construeix a partir d'àrees geogràfiques. La figura següent mostra les agrupacions en cel·les, en àrees de localització (LA), en àrees de servei MSC/VLR, i en àrees públiques mòbils de terra (PLMN).



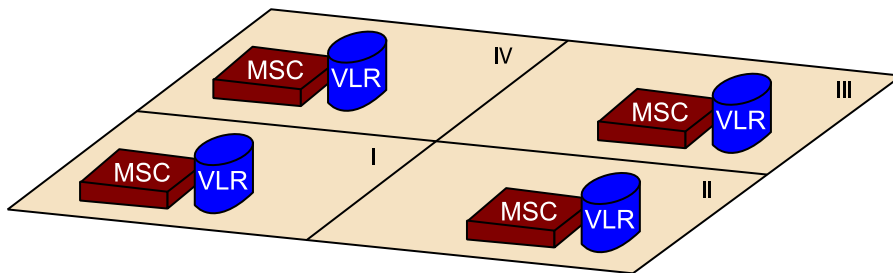
La cel·la és l'àrea de cobertura proporcionada per una estació base de transmissió (BTS). La distribució més habitual de posicionar les cel·les és crear-les hexagonals per a augmentar la cobertura de la xarxa i per a minimitzar els efectes dels transmissors de les cel·les contigües.



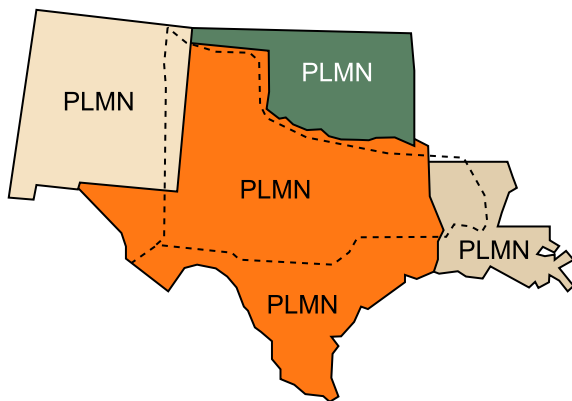
La xarxa GSM identifica cada cel·la per mitjà de la identitat global de cel·la (CGI), que és un nombre assignat a cada cel·la. Una àrea de localització és un conjunt de cel·les. En aquesta àrea és on el subscriptor està situat. Cada àrea de localització està servida per una o més controladores d'estacions base, per un sol MSC. A cada àrea de localització se li assigna un nombre anomenat *identitat de localització d'àrea*.



Cada àrea de servei MSC/VLR representa la part de la xarxa GSM que és coberta per un MSC, i es registra en el VLR de la MSC.



L'àrea de servei PLMN és una àrea servida per un operador de xarxa:



GSM transmet entre les freqüències de 1.850-1.990 MHz (telèfon mòbil i estació base), i la seva velocitat de transmissió màxima pot ser de 270 kbps.

Hi ha dos tipus de serveis bàsic oferts per GSM: telefonia i dades.

Els serveis de telefonia són bàsicament els serveis de veu, que proporcionen als subscriptors per a comunicar-se amb altres subscriptors (telefonia normal i trucades d'emergència). Els serveis de dades són bàsicament els següents:

- Servei de fax de grup III: permet que un fax GSM es pugui comunicar amb un fax analògic.
- Servei de transmissió de missatges curts SMS: 160 caràcters alfanumèrics entre estacions mòbils garantit que els missatges es guardin si l'altra estació no està connectada, i per tant, garantint la recepció del missatge.
- Servei de bústia de veu: una màquina de l'operador rep i guarda les trucades i els missatges de la bústia de veu.
- Servei d'enviament de missatges de difusió entre els subscriptors d'una àrea.
- Servei de correu de fax: el subscriptor pot rebre un missatge de fax en qualsevol màquina de fax.

Altres serveis que ofereix GSM

Altres serveis suplementaris que ofereix GSM són:

- readreçament de trucades entrants cap a un altre número de telèfon,
- prevenció o filtratge de determinades trucades sortints de l'estació mòbil,
- prevenció o filtratge de rebuda de determinades trucades,
- avís del cost d'una trucada o un missatge,
- conversacions telefòniques múltiples,
- etc.

El subscriptor utilitza per a comunicar-se dins la xarxa GSM el telèfon mòbil, que internament és un transmissor i receptor de senyals. El telèfon mòbil està format per diferents circuits de control. Té uns dispositius d'amplificació i modulació/desmodulació del senyal, circuits de codificació i descodificació de senyals A/D i D/A, un altaveu i un micròfon, una bateria, una pantalla, un teclat i una antena.



El telèfon mòbil porta una targeta intel·ligent anomenada *mòdul d'identificació de subscriptor* (SIM). És un element exclusiu del subscriptor del servei i constitueix la base del sistema d'abonat ofert per l'operador de la xarxa. Quan s'introdueix dins un telèfon mòbil, aquest adquireix el número de telèfon as-

sociat a la targeta SIM. Dins de cada targeta SIM hi ha desat l'International Mobile Subscriber Identity (IMSI), que és la identificació internacional del subscriptor.

1.2. GPRS

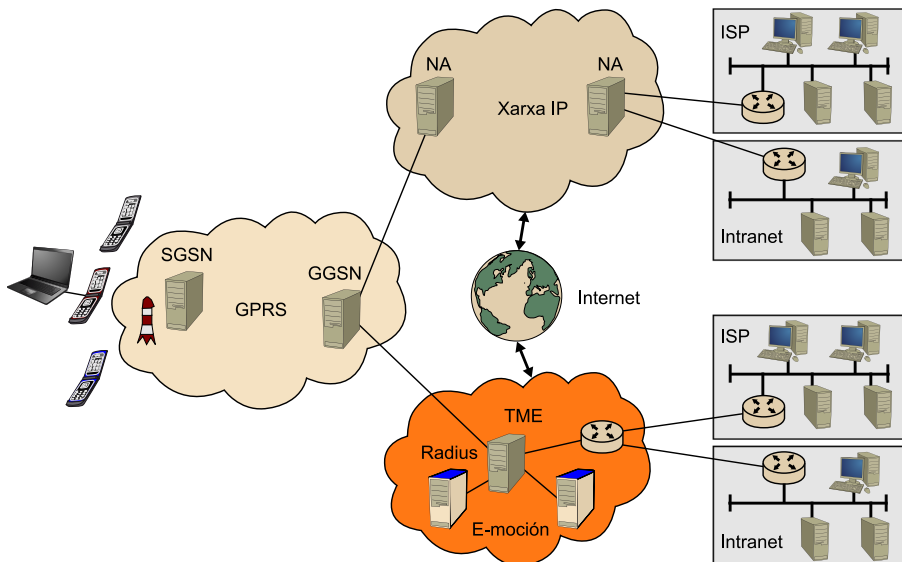
El General Packet Radio Service (GPRS), o servei general de paquets via radio, és una extensió del GSM, que permet la transmissió de dades per paquets, amb velocitats de transferència de 56 a 144 kbps. Serveis com el Wireless Application Protocol (WAP), el servei de missatgeria multimèdia (MMS), l'accés a Internet o SMS poden utilitzar el GPRS. La transferència de dades de GPRS es cobra per volum d'informació transmesa, no per temps, independentment de si l'usuari utilitza tota la capacitat del canal o està en estat d'inactivitat.

GPRS és una tecnologia de commutació de paquets que sorgeix com una evolució de les xarxes GSM per a proporcionar més velocitat i prestacions en l'accés mòbil a serveis de dades i Internet. Complementa les xarxes GSM, i no les substitueix. És una bona alternativa a la migració progressiva cap a la tercera generació de xarxes mòbils i permet una introducció gradual d'aplicacions i serveis per a avaluar la viabilitat i la rendibilitat de l'accés mòbil a Internet.

GPRS es basa en una xarxa de commutació superposada a la xarxa GSM. Va ser necessari instal·lar nous nodes i elements de xarxa sobre la xarxa GSM per a suportar serveis de commutació de paquets, però s'utilitza la mateixa infraestructura GSM en el subsistema de ràdio. Les estacions base són les mateixes en GSM que en GPRS.

El tipus de terminals GPRS poden ser:

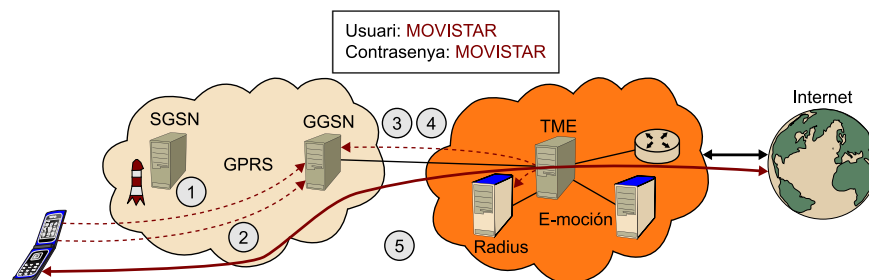
- **Classe A:** suporta tant serveis GSM com serveis GPRS de manera simultània.
- **Classe B:** suporta serveis GSM i serveis GPRS però de manera alternativa, no simultània.
- **Classe C:** suporta serveis GPRS de manera exclusiva habitualment en forma de targeta per a inserir en un PC portàtil.



Accés a Internet

Un accés propi a Internet podria ser de la manera següent amb APN: movistar.es. El perfil estaria configurat per defecte per a navegar per Internet amb el TME com a proveïdor del servei i accés als diferents serveis ubicats en la xarxa de TME. La seqüència d'accions seria:

- 1) MS sol·licita l'activació d'un context amb l'APN movistar.es.
- 2) L'MS proporciona un identificador i una contrasenya genèrics. Per exemple, usuari: MOVISTAR; clau: MOVISTAR.
- 3) El GGSN sol·licita l'assignació d'una adreça IP.
- 4) El servidor Radius del TME assigna una adreça IP a l'MS.
- 5) L'MS pot accedir a Internet per mitjà de la xarxa de TME.

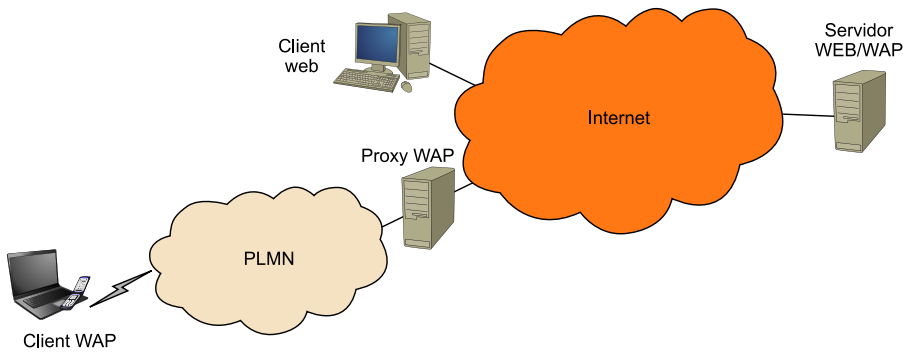


Per exemple, es pot crear una connexió a Internet en un ordinador portàtil de les maneres següents:

- Creant una connexió entre el portàtil i un telèfon mòbil mitjançant el protocol Bluetooth (o un enllaç d'infrarojos). El telèfon mòbil té la capacitat de crear una connexió a Internet per mitjà de la xarxa GPRS. La comunicació entre l'ordinador i el telèfon mòbil es fa per mitjà d'una aplicació que gestiona la connexió entre els dos equips.
- Connectant a l'ordinador directament amb una targeta PC Card amb un SIM GSM

El Wireless Application Protocol (WAP) és un protocol que té l'objectiu de combinar les tecnologies de comunicació sense fil i Internet. Funciona sobre GSM, però ho pot fer sobre GPRS o UMTS, com veurem més endavant. Es tracta d'un protocol que permet la connexió de terminals mòbils a fonts externes de manera interactiva, ja siguin servidors IP, bases de dades o multimèdia. Per exem-

ple, les estacions mòbils per a navegar per Internet incorporen un micronavegador WAP, que és equivalent a un navegador Web. El micronavegador és el visualitzador que permet veure pàgines WML, que és un llenguatge molt semblant a l'HTML. Les passarel·les WAP converteixen pàgines HTML a pàgines WML, tenint en compte la mida reduïda de les pantalles i les funcionalitats dels dispositius mòbils (telèfons mòbils, PDA...).

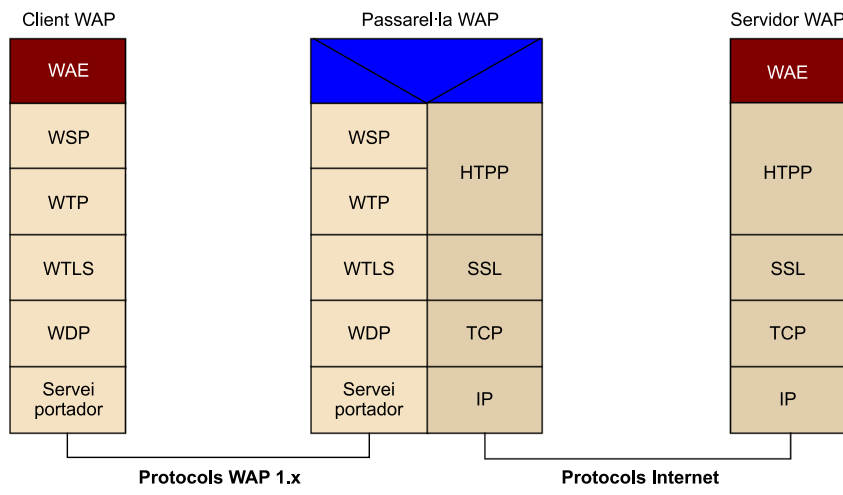


Altres usos de WAP

WAP també ofereix serveis per a la transferència asíncrona de missatges multimèdia (MMS), i també permet enviar i recuperar els missatges a un servidor de correu electrònic per mitjà de les conversions escaients.

Difusió d'EDGE

Últimament han aparegut targetes de xarxa i telèfons mòbils amb tecnologia EDGE de diversos fabricants, i l'augment de xarxes i operadors a diversos països amb aquesta tecnologia.



1.3. EDGE

Enhanced Data for Global Evolution (EDGE) i Enhanced Data Rates for GSM Evolution són unes tecnologies que permeten augmentar les velocitats de transmissió de dades i l'eficiència espectral, i faciliten noves aplicacions i l'augment de la capacitat per a l'ús en serveis de telefonia mòbil.

Representen un pas endavant en els serveis de dades de GSM i GPRS, i es distingeixen:

- Enhanced Circuit-Switched Data (ECSD).
- Enhanced General Packet Radio Service (EGPRS).

1.4. UMTS

L'espectacular desenvolupament que ha experimentat la tecnologia dels sistemes de comunicació i l'accés a tot tipus d'informació per part dels usuaris són algunes de les causes que han potenciat el desenvolupament d'una nova generació de terminals de comunicació capaç de facilitar la interconnexió de les distintes xarxes mundials.

Els sistemes UMTS (o UTMS) o sistemes de tercera generació (3G o W-CDMA) han anat desplaçant gradualment els sistemes GSM actuals a causa dels grans avantatges per als usuaris quan tinguin a disposició seva un sistema d'interconnexió global de totes les xarxes. UMTS equival a la tercera generació de comunicacions mòbils. Una generació més fiable i flexible que les dues anteriors.

IMT-2000 defineix un estàndard global per a la tercera generació, iniciativa de la ITU per a proveir d'accés sense fil a la infraestructura global de telecomunicacions per mitjà de sistemes via satèl·lit i sistemes terrestres. UMTS és la proposta europea (ETSI) per a promoure la utilització d'UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) en l'IMT-2000. 3GPP (Third Generation Partnership Project) és un fòrum format per organismes de diferents països (ETSI, TTA, TTC i CWTS) per a l'elaboració d'especificacions tècniques per a UMTS.

Els objectius d'IMT són: la convergència de xarxes fixes i mòbils, igualar la qualitat de servei, oferir serveis multimèdia simètrics i asimètrics, itinerància global, assignació dinàmica d'amplada de banda fins a un màxim inicial de 2 Mbps, accés personalitzat –concepte de *virtual home environment* (VHE) per a definir un perfil de servei constant i homogeni independent de la xarxa que li serveix l'abonat–, ús de la tecnologia de paquets i protocols IP, suport d'una àmplia gama de terminals, i capacitat per a una alta densitat d'usuaris.

En la implantació dels sistemes 3G té un paper molt important el fòrum UMTS, un organisme independent creat l'any 1996 en el qual participen quasi 170 companyies de 30 països pertanyents a les indústries subministradores d'equips, operadors de telecomunicacions i organismes de regulació. El fòrum està compromès en la formació del consens necessari per a introduir i desenvolupar amb èxit l'estàndard UMTS, i així poder satisfer la demanda del mercat d'unes comunicacions mòbils personals de baix cost i alta qualitat. Els països europeus han estat en cooperació amb les organitzacions d'estandardització en el desenvolupament del 3G.

UMTS a Espanya

Espanya fou un dels països pioners en la tecnologia UMTS, i ha estat uns dels primers països a llançar el servei. L'any 2000 es van adjudicar 4 llicències UMTS disponibles per a

Adreça web recomanada

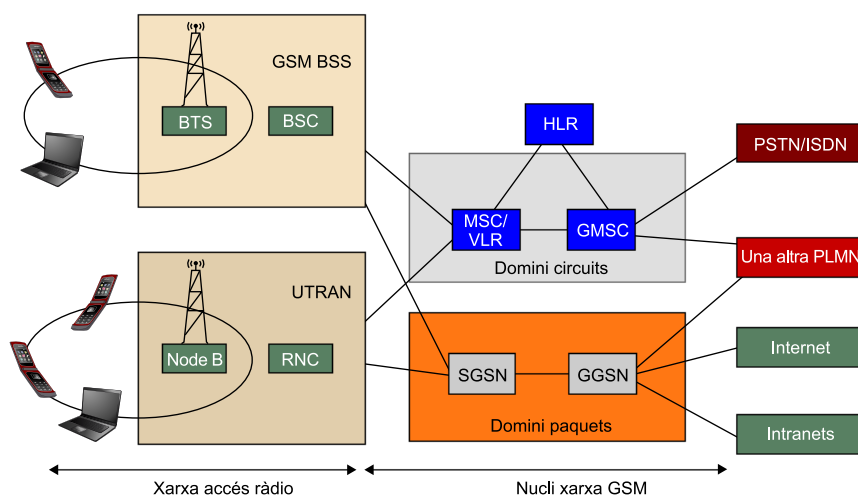
Podeu accedir al fòrum UMTS a la pàgina web <http://www.umts-forum.org>.

les operadores Telefónica Móviles (Movistar), Airtel (actualment Vodafone), Amena (actualment Orange) i el consorci Xfera (més conegut com Yoigo).

Les fases del desenvolupament d'UMTS han estat:

- **Primera fase.** Elaboració de les descripcions tècniques i avaluació de les solucions per UTRAN. Conclou amb una descripció detallada d'UTRAN, incloent-hi els protocols d'interfície de ràdio, els protocols interns i els protocols del subsistema de xarxa.
- **Segona fase.** Elaboració de les especificacions del Release 99 per a la integració d'UMTS amb les xarxes GSM/GPRS existents.
- **Tercera fase.** Correcció iterativa de les especificacions prevista per a acabar l'any 2001.
- **Quarta fase.** Increment de la taxa de bits per a assolir taxes superiors a 2 Mbps.

Arquitectura global GSM



UMTS és una tecnologia apropiada per a una gran varietat d'usuaris i tipus de serveis, i no únicament per a usuaris avançats. UMTS ofereix facilitat d'ús i costos baixos, serveis moderns i millorats, accés ràpid, transmissió de paquets de dades i velocitat de transferència de dades a demanda, entorns de serveis amigables i consistents.

Les característiques més excel·lents d'UMTS són: itinerància sense fissures, accés global ràpid, multimèdia, separació de serveis i plataformes, un terminal pot estar connectat a diversos nodes a la vegada, velocitat de transmissió fins a 2 Mbps, capacitat per a determinar la posició, mecanismes de seguretat, qualitat de servei (serveis de valor afegit o qualitat) molt desenvolupada, VHE (interfície per a qualsevol xarxa).

UMTS proporciona serveis d'ús fàcil i adaptable per a abordar les necessitats i preferències dels usuaris, una àmplia gamma de terminals per a efectuar un accés fàcil a diversos serveis i un baix cost dels serveis per a assegurar un mercat massiu. També ofereix la capacitat d'oferir diferents formes de tarifació i el servei d'itinerància internacional.

UMTS ha evolucionat per a integrar tots els serveis oferts per les distintes tecnologies i xarxes actuals (GSM, RDSI, Internet...) i es pot utilitzar en determinats terminals (telèfon fix, sense fil, cel·lular, terminal multimèdia...), tant en ambients professionals com domèstics, ofereix més qualitat de serveis i suporta la personalització de l'usuari i els serveis multimèdia mòbils en temps real. Els terminals són multimode i multibanda, amb càmera incorporada, pantalla de color i una gran memòria.

Els serveis 3G combinen l'accés mòbil d'alta velocitat amb els serveis basats en el protocol IP. Però no solament porta una connexió ràpida al World Wide Web (WWW), sinó que implica, a més, noves formes de comunicació, d'accedir a la informació, de fer negocis, d'aprendre i gaudir del temps lliure deixant en el passat les connexions fixes i lentes. Com que la 3G pot fer múltiples connexions simultàniament des d'un mateix terminal mòbil, un usuari es pot connectar a una base de dades remota per a obtenir informació sense necessitat d'interrompre una sessió de videoconferència.

Per assegurar l'èxit dels serveis 3G, es proporcionen als usuaris unes comunicacions molt eficients, amb una alta velocitat i qualitat i fàcils d'utilitzar. Per això ofereixen: transmissió d'alta fiabilitat, fins a 384 kbps en espais oberts i 2 Mbps amb baixa mobilitat, ús de l'amplada de banda dinàmic en funció de l'aplicació, suport tant de commutació de paquets com de circuits, accés a Internet (navegació WWW), videojocs, comerç electrònic, vídeo i àudio en temps real, diferents serveis simultanis en una sola connexió, qualitat de veu amb la xarxa fixa, més capacitat i ús eficient de l'espectre, personalització de serveis segons el perfil d'usuari, serveis dependents de la posició, incorporació gradual en coexistència amb els sistemes actuals de 2G, itinerància (incloent-hi la internacional) entre diferents operadors i cobertura mundial amb serveis terrestres i per satèl·lit.

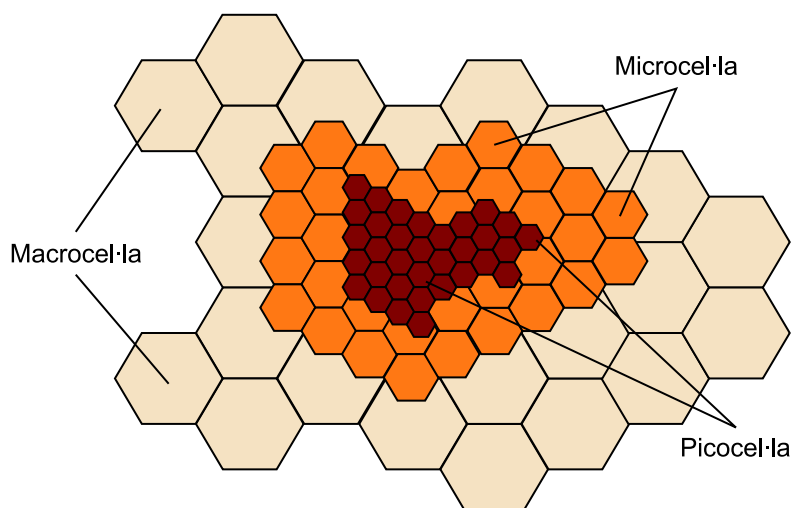
L'estructura de les xarxes UMTS està composta per dues grans subxarxes: la xarxa de telecomunicacions i la xarxa de gestió. La primera és l'encarregada de sustentar el transvasament d'informació entre els extrems d'una connexió. La segona té com a objectiu la provisió de mitjans per la facturació i tarifació dels abonats. Té els elements següents:

- Nucli de la xarxa (*core network*).
- Xarxa d'accés a ràdio (UTRAN).
- Terminal mòbils.

La velocitat de transferència de dades que la Unió Internacional de Telecomunicacions (UIT) requereix en la seva solució IMT-2000 va des dels 144 kbps sobre vehicles a gran velocitat, fins als 2 Mbps sobre terminals en interiors d'edificis (xifra almenys 60 vegades superior a la que es tenia quan s'utilitzava un mòdem convencional per la xarxa telefònica commutada, la telefonia de tota la vida), passant pels 384 kbps en usuaris mòbils en vehicles de baixa velocitat.

El tipus de cel·les en UMTS són:

- Macrocel·les (radi entre 1 i 40 km). Cobertura cel·lular en grans àrees obertes; les cel·les serveixen de paraigües per a cobrir forats entre zones amb microcel·les.
- Microcel·les (radi entre 50 i 1.000 metres). Són la cobertura cel·lular en àrees urbanes i autopistes. Usen antenes direccionals, i serveixen també per a cobrir les zones obscures en macrocel·les.
- Picocel·les (radis inferiors a 50 metres). S'usen en entorns residencials i interiors d'oficines. La zona coberta depèn de l'estructura de l'edifici i els materials utilitzats.



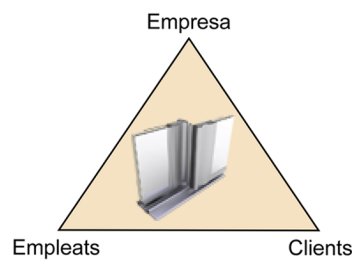
Després de la implantació del sistema UMTS, el concepte de telèfon mòbil ha canviat radicalment, i ha passat de ser un simple instrument de comunicació a convertir-se en un terminal multimèdia amb múltiples capacitats per a la comunicació i l'oci, gràcies a la gran quantitat de serveis oferts, que creixen cada dia. A més, per a zones a les quals la telefonia mòbil no arriba o arriba de manera deficient, la tecnologia UMTS habilita la possibilitat de fer arribar els serveis de telecomunicacions avançats.

Nous serveis per mitjà d'UMTS

Actualment alguns operadors ja ofereixen videotrucades, videomissatgeria, descàrrega de jocs, música de qualitat MP3, clips de vídeo, i imatges en directe de temes d'actualitat i la connexió a Internet per a navegar des del mòbil. Alguns operadors ja prometen canal de televisió 24 hores en directe, cursos en línia, etc.

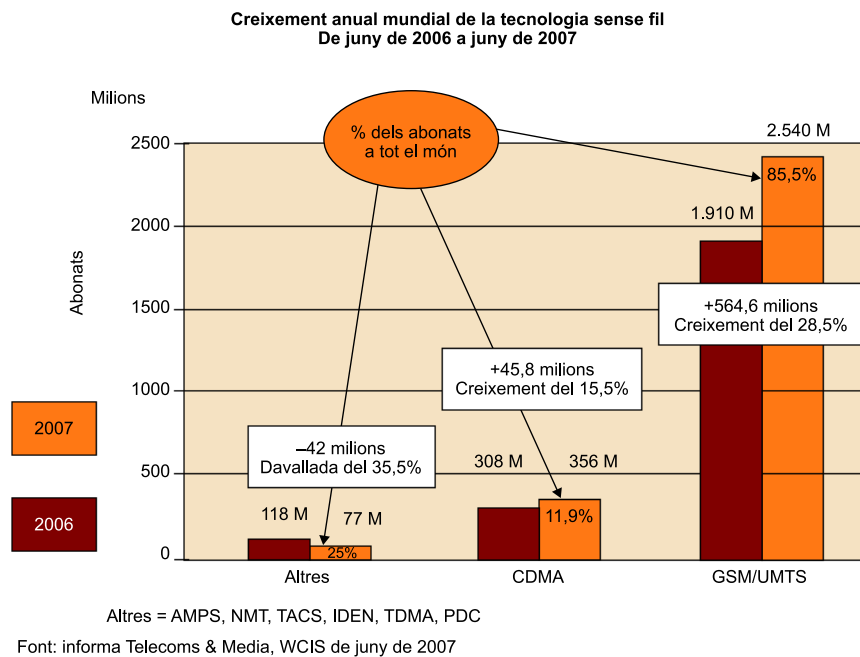
Els models de mercat UMTS són:

- Models d'interrelació:
 - B2B: *business-to-business*.
 - B2E: *business-to-employee*.
 - B2C: *business-to-consumer*.



- Classes de serveis bàsics:
 - Intranet o extranet mòbil.
 - Serveis de localització.
 - Serveis de veu.
 - Serveis de missatgeria multimèdia.
 - Accés mòbil a Internet.
 - Oci personalitzat.

Gràfic de la implantació d'UMTS



UMTS ofereix serveis bàsics de telecomunicació:

- **Serveis portadors:** serveis de commutació de circuits per transmissió de veu i àudio, serveis de commutació de paquets (trucades virtuals, canals virtuals permanents, connectivitat XDSI –interactiva: conversació, missatgeria a demanda–, distribució –enviament continu a múltiples usuaris–, senyalització als usuaris). En la transferència de la informació pot oferir una taxa binària constant garantida d'informació, una taxa binària variable dinàmicament no garantida, una taxa binària variable dinàmicament en temps real amb una taxa binària mínima garantida. El trànsit pot ser punt a punt o unidireccional punt-multipunt (multidestinació, difusió). Respecte a la qualitat de la informació, pot tenir un màxim retard en la transferència, una variació en el retard, una taxa d'error de bit i una taxa de dades.

Taxes de transmissió en xarxes d'accés mòbil. Temps de descàrrega d'aplicacions típiques

Aplicació	XDSI	GSM	GRPS	UMTS
Correu electrònic (10 KB)	1 s	8 s	0,7 s	0,04 s
Pàgina web (20 KB)	2 s	20 s	1,6 s	0,1 s
Fitxer PowerPoint (2 MB)	4 min	28 min	2 min	7 s
Videoclip (4 MB)	8 min	48 min	4 min	14 s

- **Teleserveis:** serveis de telecomunicació que proporcionen la capacitat de comunicació completa entre els usuaris, incloent-hi les funcions dels equips terminals, en funció dels protocols acordats entre els operadors de

xarxa: telefonia (veu, fax, transmissió de dades), teleconferència (multi-part, trucades múltiples, trucades en grup), serveis propis UMTS (àudio, vídeo, multimèdia, emergència, missatgeria, mobilitat), serveis multimèdia interactius (IMN: dades, gràfics, imatges, àudio i vídeo interactiu).

Teleserveis d'UMTS

Alguns exemples de teleserveis propis d'UMTS són: petició de bases de dades, servei de llista telefònica, navegació i localització, correu electrònic, trucades d'emergència, trucades d'emergència massiva, serveis de missatgeria curta (fax, missatges de veu, correu electrònic), control d'equips remotament, telecompria, monitorització de vídeo, missatges de veu, paginació, transmissió d'àudio i vídeo...

Servei	Durada de la trucada	Taxa de dades (kbps)	Error de bit	Retard (ms)
Telefonia				
• Veu	2 min	8-32	10^{-4}	40
• Teleconferència	1 h	32-128	10^{-4}	40
Videotelefonia	2 min	64-348	10^{-7}	40-90
Videoconferència	1 h	348-768	10^{-7}	90
Missatgeria				
• SMS	Sense connexió	1,2-9,6	10^{-6}	100
• Bústia de veu	2 min	8-32	10^{-4}	90
• Videomissatge	Sense definir	64	10^{-7}	100
• Correu electrònic	Sense connexió	1,2-64	10^{-6}	100
Bases de dades	Sense definir	2,4-768	10^{-6}	200+
Telecompria	Sense definir	2,4-768	10^{-6}	90
Teleacció/control	Sense definir	1,2-64	10^{-6}	100-200

- **Serveis suplementaris:** serveis que modifiquen o complementen un servei bàsic de telecomunicació, com per exemple la identificació de número (marcació abreviada, rebuig de trucades, identificació de grups de trucades), redireccionament de trucades i acabament de les trucades, comunicació multipart (trucades entre grups tancats d'usuaris), tarifació (informació addicional sobre la trucada), restricció de trucades (rebuig de trucades entrants)...
- **Serveis de valor afegit:** serveis addicionals específics d'un usuari, com per exemple, mobilitat personal (transferència de números de telèfon a qualsevol terminal per mitjà d'USIM, entorn virtual on l'usuari pot establir la seva pròpia llista de serveis), amplada de banda a demanda, utilització eficient de recursos per a serveis que depenen críticament de variacions en la taxa de transmissió MMS i vídeo segons la qualitat-cost que vulgui l'usuari...

El *virtual home environment* (VHE) és l'entorn portable de serveis personals disponibles per a l'usuari entre les diferents xarxes i terminals. Els usuaris accedeixen a les mateixes característiques personalitzades, interfície d'usuari i serveis particulars amb independència de la xarxa i el terminal, a qualsevol lloc on estigui localitzat. Així els serveis personalitzats inclouen les dades d'usuari personalitzades, el conjunt de serveis integrats des de la perspectiva de l'usuari independentment de la xarxa d'accés (fixa, mòbil, sense fil...).

Les classes de qualitat de servei en UMTS són:

- **Classe conversacional:** permet la conversació en directe (*real time*) entre els usuaris. El retard màxim està determinat per la percepció humana d'àudio i vídeo.
- **Classe de trames (*streaming*):** recepció d'àudio i vídeo en un sol sentit. Conserva la relació temporal entre les entitats (retard limitat).
- **Classe interactiva:** una màquina o un humà rep dades sota demanda. Depèn del patró d'interacció i de la càrrega de dades (per exemple, accés al Web o a una base de dades).
- **Classe de fons (*background*):** l'usuari envia i rep dades en segon pla i la destinació no espera les dades en un període de temps precís (correu electrònic, SMS, recepció de registres de dades...).

Els atributs de la qualitat de servei poden ser:

- Trànsit unidireccional o bidireccional.
- Classe de trànsit: conversacional, en temps real, interactiu, de fons.
- Taxa binària màxima (kbps) i taxa binària garantida (kbps).
- Ordre d'enviament (sí/no).
- Mida màxima de l'SDU² (bytes).
- Informació de format de l'SDU (bits).
- Taxa d'error d'SDU i taxa d'error de bit en l'SDU.
- Reenviament de l'SDU errònia (sí/no).
- Retard en la transferència (ms).
- Prioritat de gestió de trànsit.
- Prioritat en l'assignació o retenció de canal.
- Descriptor estadístic de la font.
- Indicació de senyalització (sí/no).

⁽²⁾Sigla d'unitat de dades del servei.

Classe de trànsit	Conver-sional	Tècnica trames	Interactiu	Rerefons
Taxa de bits màxima (kbps)	<=16.000	<=16.000	<= 16.000 – temps de sistema	<= 16.000 – temps de sistema
Ordre de lliurament	Sí/no	Sí/no	Sí/no	Sí/no
Mida màxima d'SDU (unitat de dades de servei) (octets)	<= 1.500 o 1.502	<=1.500 o 1.502	<= 1.500 o 1.502	<= 1.500 o 1.502
Informació en format SDU	Sí	Sí		
Lliurament d'SDU errònies	Sí/no/-	Sí/no/-	Sí/no/-	Sí/no/-
BER (probabilitat d'error de bit) residual				
Percentatge d'errors d'SDU				
Retard de transferència (ms)	100 – valor mínim	300 – valor mínim		
Taxa de bits garantida (kbps)	<=16.000	<=16.000		
Prioritat de gestió del trànsit			1, 2, 3	
Prioritat d'assignació/retenció	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
Descriptor estadístic d'origen	Parla/ desconegut	Parla/ desconegut		
Indicació senyalitzadora			Sí/no	

El valor afegit de les aplicacions i serveis segueix les normes de les 4 Q:

- Qualsevol lloc: oficina, casa, carretera i mitjà de transport.
- Qualsevol xarxa: GSM / GPRS, EDGE, UMTS.
- Qualsevol dispositiu: telèfon mòbil, PDA, portàtil.
- Qualsevol situació: negocis, oci, educació.

Les característiques clau seran la universalitat, que sempre estarà engegat, l'abast, la personalització, l'accessibilitat i la localització.

L'evolució d'UMTS serà envers les tecnologies High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) (3,5G i 3,75G) amb terminals HSUPA i els telèfons de quarta generació (4G) per a millorar el rendiment per l'ús simultani d'aplicacions i millorar la cobertura de tecnologies 3G, amb un increment de fins a un 81% del rendiment de la xarxa respecte a GPRS; s'espera una evolució en milions d'usuaris els propers anys.



UMTS

1.4.1. Equips mòbils

Perquè els usuaris utilitzin els serveis 3G calen nous telèfons i altres terminals capaços de proporcionar els serveis que vulguin, des de la telefonia mòbil fins a la multimèdia (veu, dades i vídeo).

Els telèfons mòbils UMTS són molt útils per a un viatger cosmopolita. Estan dissenyats de tal manera que puguin fer la itinerància en altres xarxes UMTS (en el supòsit que el seu proveïdor UMTS s'associï amb el proveïdor local UMTS) en altres zones del món. A més, quasi tots els telèfons UMTS, a excepció del Japó, són UMTS/GSM de mode dual; això significa que durant una trucada, si ens sortim fora dels límits de la zona UMTS, la trucada serà transferida per una cobertura GSM.



Telèfon mòbil UMTS

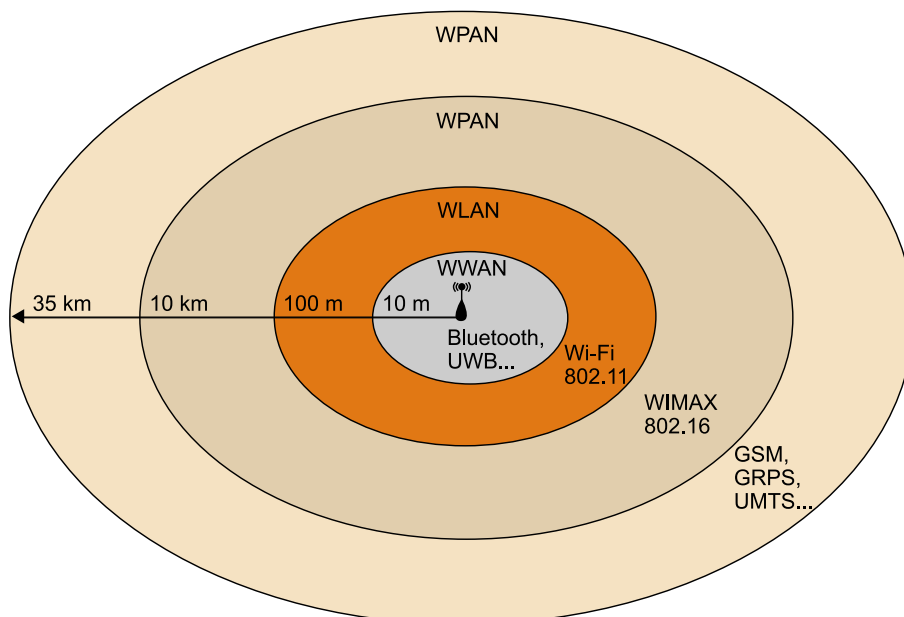
Els telèfons UMTS suporten una gran varietat de freqüència, ja que s'han de poder utilitzar per tot el món. Molts països aporten diferents freqüències UMTS. Igual que les targetes SIM per a telèfons GSM, hi ha la targeta USIM per als telèfons UMTS. Són semblants a les targetes SIM, les targetes USIM són una manera d'identificar i autenticar a escala local els clients itinerants. Si les xarxes UMTS tenen un acord entre elles, a continuació, un usuari mòbil pot utilitzar els seus telèfons UMTS en una altra xarxa, malgrat que els preus poden canviar. Les targetes USIM tenen espai per a emmagatzemar els contactes, els missatges i altra informació. D'igual manera que les targetes SIM, les targetes USIM també es poden col·locar d'un telèfon a un altre telèfon, i el nou telèfon mantindrà la identificació de la targeta.

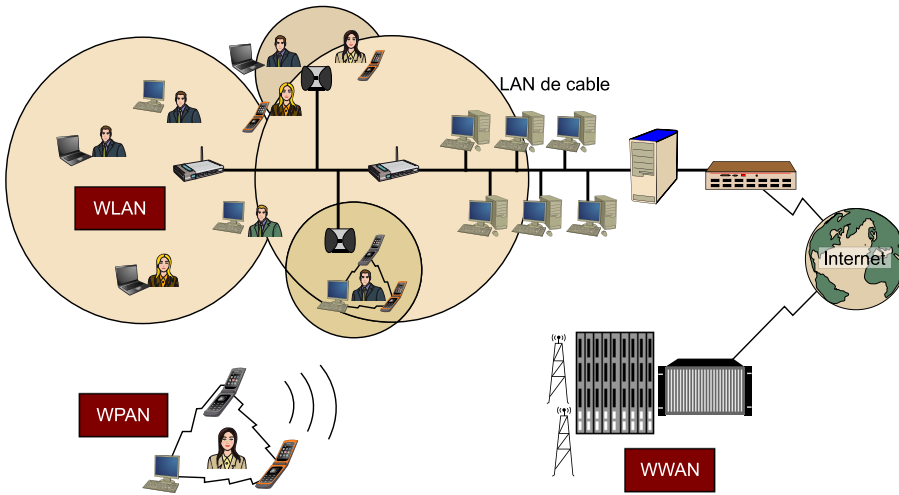
2. Xarxes sense fil

Les diferents tecnologies sense fil (*wireless*) se solen agrupar basant-se en el radi d'acció (l'abast) de cadascuna:

- **Xarxes personals sense fil (WPAN, *wireless personal area network*).** Aquest concepte s'aplica quan la distància que es vol cobrir és d'uns quants metres. La família d'estàndards més representatius és el 802.15.1 (Bluetooth), 802.15.3a (UWB) i el 802.15.4 (Zigbee).
- **Xarxes locals sense fil (WLAN, *wireless local area network*).** Permeten donar servei a distàncies d'un centenar de metres (un pis, una planta d'un edifici, una nau industrial, uns quants carrers, etc.). L'estàndard més destacat en aquest camp és el 802.11 (Wi-Fi).
- **Xarxes metropolitananes sense fil (WMAN, *wireless metropolitan area network*).** Permeten donar servei a distàncies d'uns quants quilòmetres (un barri, un poble, una urbanització...). L'estàndard més destacat en aquest camp és el 802.16 (WiMAX).
- **Xarxes de gran abast sense fil (WWAN, *wireless wide area network*).** Tenen una cobertura més àmplia. La família d'estàndards més representatius són GSM, GPRS i UMTS.

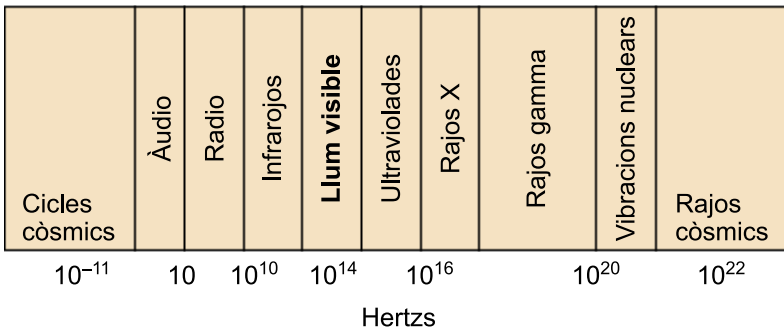
Classificació de les tecnologies sense fil



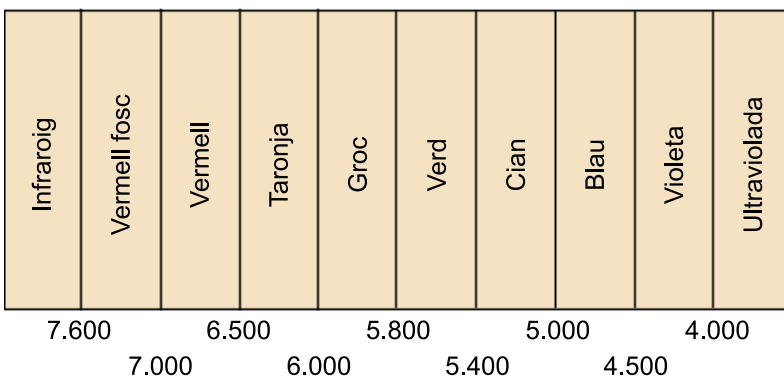


2.1. Infrarojos

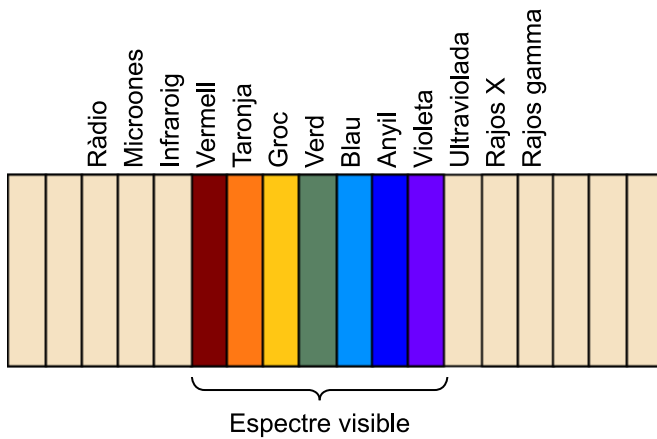
L'any 1800, Friedrich William Herschel va descobrir la radiació infraroja. Aquesta radiació té longituds d'ona més llargues que la llum visible, però més curtes que les microones. Les seves freqüències són menors que les freqüències de la llum visible i majors que les freqüències de les microones. La font primària d'una radiació infraroja és la calor o la radiació tèrmica. Qualsevol objecte que tingui temperatura superior a zero absolut ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 0 K) irradia ones en la banda infraroja.



Espectre electromagnètic



Espectre lluminós (Å = àngstrom)



L'espectre de la radiació

Avantatge de la llum infraroja

La llum s'ha utilitzat com a mitjà de comunicació per la facilitat de produir-la i perquè recorre distàncies llargues a una gran velocitat. L'avantatge de les ones infraroges, les microones i les ones hertzianes és que no són visibles per a l'ull humà malgrat que es puguin fer servir per a la comunicació d'informació.

Dins el món de les comunicacions s'utilitza molt perquè cal relativament poca energia per a generar-la. Els primers a utilitzar-la foren els enginyers d'una empresa, per a comunicar una calculadora amb una impressora, per a poder imprimir els càlculs que feia. Un altre exemple molt quotidià és el comandament a distància del televisor o del reproductor de DVD.

De manera general podem definir la comunicació infraroja com un feix enfocat de llum en l'espectre de freqüència infraroja, mesurat en terahertz o bilions d'hertz (cicles per segon) en què es modula la informació i s'envia d'un transmissor a un receptor a una distància relativament curta.

L'any 1993, 50 companyies es van unificar per a crear l'IrDA, els estàndards internacionals per a l'equip i els programes utilitzats en els enllaços de comunicació per infrarojos. La norma IrDA Serial Infrared Data Link Standard Version 1.1 estableix tres nivells que han de complir els equips en les seccions física, Infrared Link Access Protocol (IrLAP) i Infrared Link Management Protocol (IrLMP). Les característiques de la norma són:

- Baix cost d'implementació.
- Baixos requisits de potència.
- Connectivitat direccional, punt a punt.
- Alta immunitat al renou.
- Optimització per a transferència de dades.

Les dades informàtiques es tracten amb numeració binària. Aquesta numeració en la comunicació infraroja es codifica com un bit 0 si hi ha llum, o com un bit 1 si no hi ha llum. Podem veure la comunicació infraroja com un cable



Exemple d'un port IrDA d'una placa mare d'un ordinador

virtual per on passen les dades d'un element a un altre. Aquest tipus de comunicació que permet enviar els bits d'informació un darrere l'altre s'anomena *comunicació en sèrie*.

La capa física té un codificador i un descodificador que transformen els nivells 1 i 0 del senyal binari en polsos de duració i format especificat. Té un transductor (IrTxRx) consistent en un emissor (LED) i un detector (fotodíode). Un valor binari 0 es representa per un pols, amb una duració nominal mínima de 1,6 microsegons i un màxim de 3/16 del període de bit. Un 1 es representa per l'absència de pols.

Aquesta comunicació exigeix que el receptor de la informació estigui a l'espera, i força que el sensor receptor utilitzi energia per a detectar quan arriba la llum. Per això els elements mòbils amb bateria (telèfons mòbils, PDA...) necessiten activar i desactivar la recepció de dades.

La capa de transport es defineix com un flux de dades en sèrie asincrònic convencional compost per caràcters successius, en què cada caràcter està compost per un bit d'arrencada, 8 bits de dades, sense paritat, i un bit d'aturada.

Respecte al protocol d'enllaç, IrDA ha definit i adoptat un protocol anomenat *IrLAP*, que és una adaptació del clàssic HDLC³. Transmet informació per a demanar una connexió a 9.600 baudis.

⁽³⁾High-Level Data Link Control és un protocol de comunicacions de propòsit general punt a punt.

Les velocitats de transmissió són:

- SIR (*serial IR*: 115,2 kbps),
- MIR (velocitat mitjana: 1,152 Mbps),
- FIR (alta velocitat: 4 Mbps),
- VFIR (velocitat molt alta: 16 Mbps)

La comunicació que s'estableix entre l'emissor i el receptor pot ser:

- Una línia recta directa entre l'emissor i el receptor (comunicació punt a punt).
- Si apuntem a una paret per fer una "carambola" entre l'emissor i el receptor, s'estableix una comunicació quasidifusa.
- Una comunicació difusa, en què no cal que hi hagi una visió directa entre emissor i receptor, de manera que calen equips molts potents.

2.2. Bluetooth

Actualment la tecnologia Bluetooth és la tecnologia sense fil més popular. Bluetooth és un protocol basat en l'estàndard de comunicacions IEEE 802.15, pensat per a la transmissió de dades i veu sense fils entre dispositius, mitjançant una radiofreqüència. A l'inici del desenvolupament dels productes Bluetooth de primera generació es tingué en compte que:

- El sistema havia de ser universal.
- L'emissor havia de consumir poca energia, ja que s'havia d'utilitzar en equips que funcionen amb bateria.
- La connexió hauria de permetre la transmissió de dades i veu (aplicacions multimèdia).
- Havia de ser de baix cost (l'objectiu fou uns quants dòlars per cada dispositiu).

Amb aquest requisits, l'any 1994 Ericsson va desenvolupar una tecnologia que utilitza un canal de comunicació amb un màxim de 720 kbps (1 Mbps de velocitat bruta), amb un rang òptim (opcionalment de 100 metres amb repetidors).

L'any 1999 es va crear el SIG (Special Interest Group) de Bluetooth, format per les empreses Ericsson, Intel, IBM, Toshiba i Nokia. Aquest SIG treballa per definir, desenvolupar, promoure i publicar el protocol Bluetooth. Actualment aquest SIG té més de 9.000 membres.

Aquesta tecnologia és de propietat, és a dir, que només la pot produir qui en té la patent. Per això només pot introduir aquesta tecnologia en els seus productes qui pertany al SIG de Bluetooth. Actualment la velocitat màxima de transmissió oscil·la entre 1 Mbps i 3 Mbps.

Difusió de la tecnologia Bluetooth

Actualment hi ha molts dispositius electrònics que incorporen el protocol Bluetooth: auriculars amb micròfon, ordinadors, PDA, ratolins, telèfons mòbils, impressores, ulleres Oackley, càmeres fotogràfiques, teclats, altres dispositius d'entrada d'ordinadors, etc.

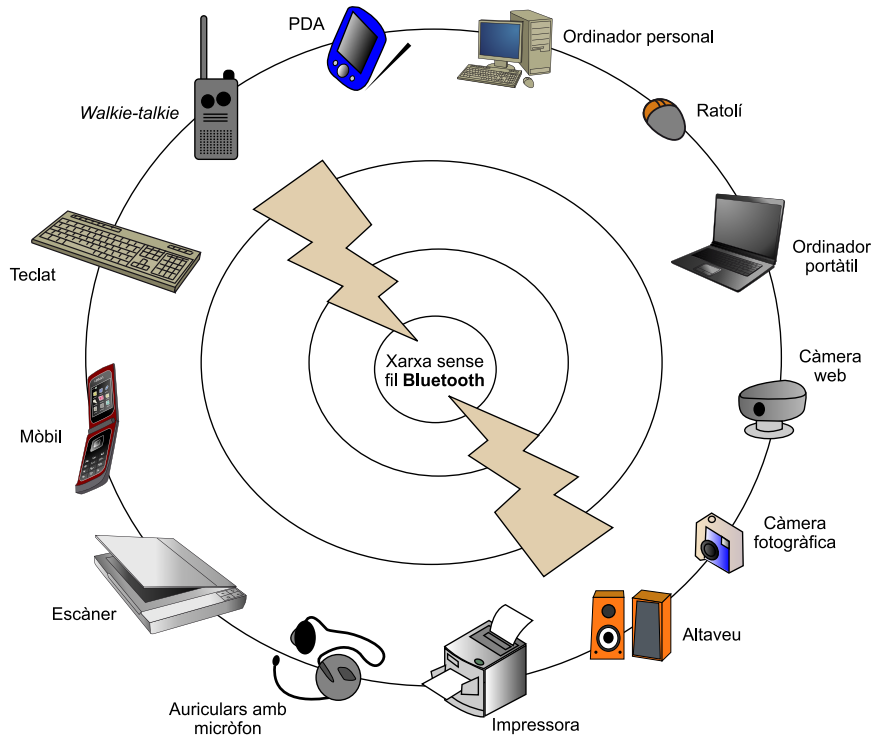
El sectors industrials en què s'utilitza són: automoció, aeronàutica, naval, altres transports, béns d'equip mecànic, elèctric, electrodomèstics, ordinadors, equips d'oficina, llar, telecomunicacions i equips electrònics i altres segments industrials. En el sector del servei tenim: financers, continguts i oci, administració i serveis públics, serveis privats a empreses.

Origen del nom *Bluetooth*

El nom *Bluetooth* té el seu origen en el rei danès Harald Blåtand (*Harold Bluetooth* en anglès) que va unificar els pobles de Dinamarca, Noruega i Suècia, que abans estaven en guerra.



Logotip de Bluetooth



L'avantatge d'aquesta tecnologia respecte a la tecnologia de comunicació per infrarojos és que no cal que els dispositius s'hagin de veure directament per a comunicar-se (com ocorre amb un comandament a distància i un aparell de televisió per infrarojos).

Breument, els serveis de les connexions Bluetooth que actualment se solen oferir en alguns sistemes operatius com Windows o Linux són:

- **Transferència d'elements del PIM:** permet que els dispositius Bluetooth remots intercanviïn targetes de visita amb aquest equip, per a acceptar elements de l'assistent d'informació personal (PIM) amb elements de calendari, contactes, notes i missatges dels Bluetooth remots.
- **Sincronització del PIM:** permet que els dispositius Bluetooth remots sincronitzin una base de dades PIM amb les del PIM de l'equip.
- **Transferència d'arxius:** permet que els dispositius Bluetooth remots facin operacions d'arxiu en un directori específic en aquest equip i en els subdirectoris i arxius d'aquest directori.
- **Accés a la xarxa:** permet que els dispositius Bluetooth remots comparteixin la connexió a la xarxa d'aquest equip, que pot oferir accés a Internet.
- **Accés telefònic a xarxes:** en aquest cas es pot utilitzar per a accedir des d'un ordinador a Internet per mitjà d'un telèfon mòbil. El telèfon mòbil accedeix a Internet per GPRS, i la connexió mòbil-ordinador es fa per Bluetooth. L'ordinador veu el telèfon mòbil com si fos un mòdem clàssic con-

nectat directament a l'ordinador (malgrat que la comunicació entre els dos dispositius sigui sense fil). L'ordinador crea una connexió a Internet per mitjà del mòdem a través del protocol PPP amb l'operador del servei d'Internet (operador de telefonia mòbil).

- **Port sèrie Bluetooth:** permet que els dispositius Bluetooth remots es connectin a l'equip per mitjà d'un port sèrie sense fil.
- **Fax:** permet que els dispositius Bluetooth remots utilitzin les opcions de l'equip per a enviar un fax.
- **Passarel·la d'àudio:** permet que els dispositius Bluetooth remots, com uns auriculars, reemplacin el micròfon i els altaveus de l'equip.
- **Auriculars:** permet que els dispositius Bluetooth remots, com un telèfon mòbil, utilitzin el micròfon i els altaveus d'aquest equip amb dispositius propis d'entrada i sortida. De fet, quan aquest servei està connectat, l'equip es converteix en els auriculars del dispositiu remot.

El sistema Bluetooth consisteix en un transmissor de ràdio, una banda freqüencial de transmissió i una pila de protocols de comunicacions (físic, enllaç, lògic).

En molts de casos, s'ha desenvolupat un xip CMOS que gasta molta menys energia que un telèfon mòbil (un 97% aproximadament), que controla l'emissió de ràdio, i una part que controla digitalment els senyals rebuts. Els valors típics de consum es mostren a la taula següent.

Mode	Potència
En espera	Menys de 0,3 mA
Veu	8 a 30 mA
Dades	5 mA (mitjana)

mA = miliamper

Bluetooth emite a la freqüència de 2,4 GHz, que és una banda base, és a dir, que no interfereix les freqüències utilitzades en la indústria, la ciència i la medicina. Com es veurà posteriorment, en aquest aspecte és bastant semblant a un sistema Wi-Fi.

El sistema té un transmissor de salts de freqüència, que consisteix en una tècnica de modulació en què el senyal s'emet sobre una sèrie de freqüències aparentment aleatòries. D'aquesta manera, els receptors no autoritzats només veuen un senyal intel·ligible.

Quan tenim diversos dispositius sincronitzats per un rellotge i una seqüència de salts de freqüència, també comparteix el mateix canal físic de ràdio. Un d'aquests proporciona aquests valors de referència (sincronització i salts de freqüència) i l'anomenen **dispositiu mestre**, mentre que la resta els anomenen **dispositius esclaus**.

Petita xarxa
Bluetooth

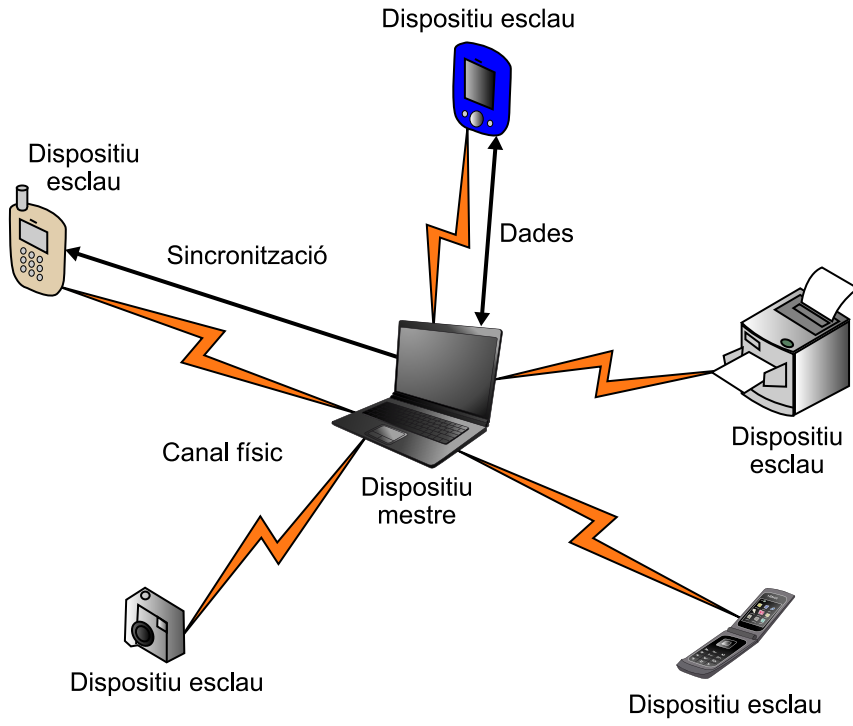
Dispositiu mestre



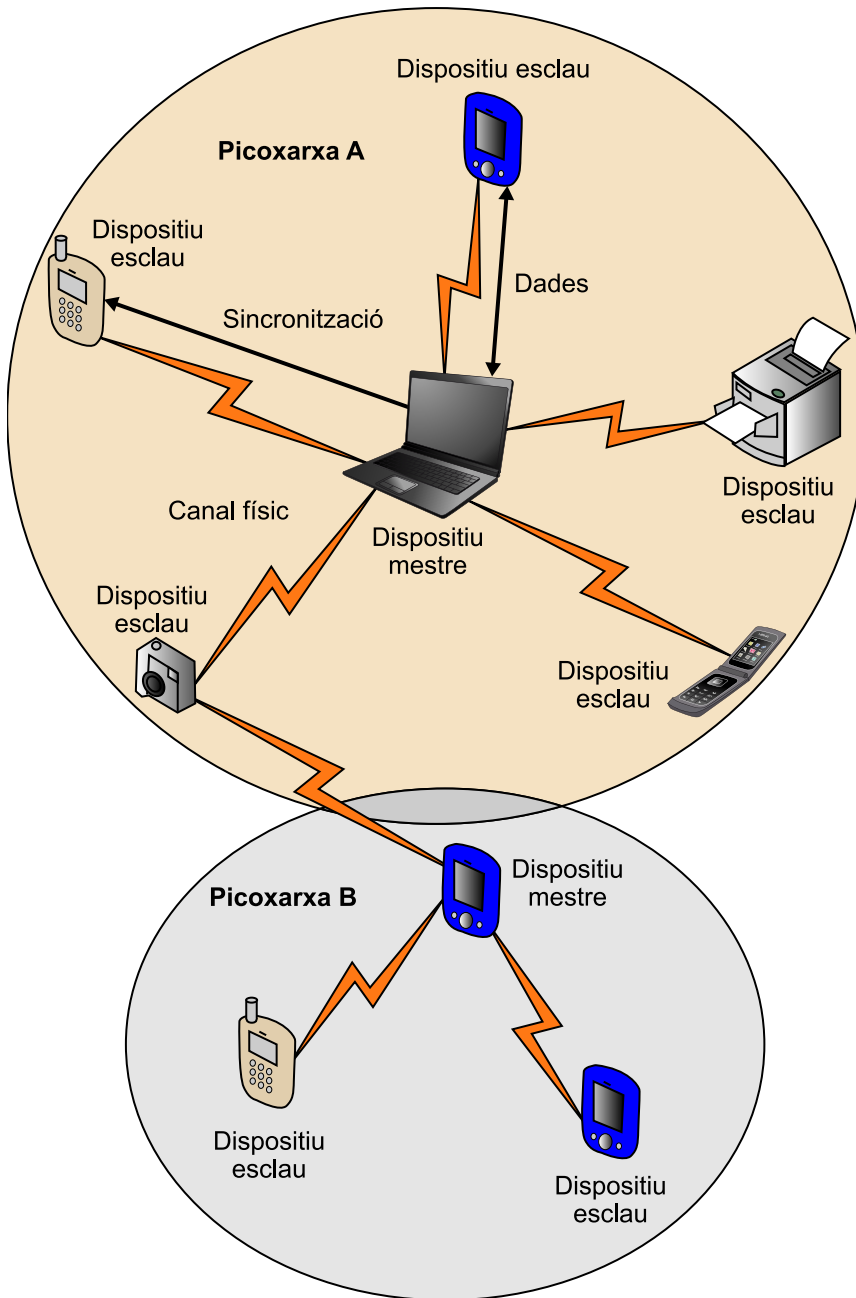
Dispositiu esclau

Bluetooth permet connexions punt a punt, i punt a multipunt. Quan tenim un mestre i un o diversos esclaus, creem una **picoxarxa**. Un dispositiu mestre només pot pertànyer a una picoxarxa, mentre que un dispositiu esclau es pot connectar a diverses picoxarxes al mateix temps (*xarxa dispersa*).

Una picoxarxa Bluetooth



Una xarxa dispersa Bluetooth



Dins una picoxarxa, cada dispositiu esclau es connecta al dispositiu mestre per un canal físic. Cada un d'aquests canals físics es divideix en ranures. Els paquets que viatgen entre el mestre i l'esclau són col·locats dins aquestes ranures. Els canals físics no es creen entre els esclaus. Totes les transmissions de paquets són gestionades i controlades pel dispositiu mestre. El mestre de manera seqüencial autoritza cada dispositiu per a veure si requereix el seu servei. El dispositiu mestre és el responsable de sincronitzar tots els dispositius per a assegurar un cert ritme de transmissió de la informació.

Un dispositiu que s'uneix a una picoxarxa ho pot fer de dues maneres. Amb la primera, el dispositiu comença a descobrir tots els altres dispositius Bluetooth dins el seu radi d'acció i comença a proporcionar informació respecte al tipus de servei que necessita. Els dispositius que ofereixen un o més dels serveis de-

mandats responen al dispositiu que demanda el servei. De la segona manera, el mestre cerca dins el seu radi d'acció, i una vegada descoberts els dispositius, automàticament són afegits a la piconarxa d'acord amb les mesures de seguretat que tenen tant el mestre com l'esclau.

Distància entre dispositius

La distància entre dos dispositius per a establir un canal de comunicació depèn de la classe de potència emesa. Actualment hi ha tres classes de potència:

- 1) Menys de 10 metres.
- 2) Aproximadament 10 metres.
- 3) Aproximadament 100 metres.

El protocol Bluetooth estableix tres nivells de seguretat:

- **Nivell 1: no hi ha seguretat.** El dispositiu funciona en mode promiscu, i permet que qualsevol altre equip Bluetooth es connecti al dispositiu.
- **Nivell 2: seguretat a escala de servei.** Suporta autenticació, xifratge i autorització una vegada s'ha establert el canal de comunicació.
- **Nivell 3: seguretat a escala d'enllaç.** Les mesures de seguretat s'implanten abans que el canal de comunicació s'hagi establert. Proporciona xifratge i autenticació.

Per a configurar els dispositius, en primer lloc cal establir un SSID (identificador) del dispositiu.

En trobar els dispositius, s'estableix un protocol de seguretat basat en un codi. Aquest codi pot ser de quatre xifres o una frase llarga. El codi es comprova en el dispositiu mestre i en el dispositiu esclau. Si és el mateix, llavors s'estableix l'aparellament i comença l'intercanvi d'informació.

Aquesta tecnologia també pateix atacs de seguretat, i per això hem de saber quins són i com es poden detectar. Les empreses treuen millores (actualitzacions) per a evitar aquests atacs en els seus productes:

- **Bluejacking:** permet enviar dades en forma de text a un mòbil. Aquest procediment no modifica cap dada, però qui rep aquest atac pot arribar a pensar que té un virus en el seu dispositiu.
- **Bluebugging:** permet executar instruccions en un telèfon mòbil sense que el propietari en rebí cap avís. L'atacant pot fer trucades, enviar missatges i altres accions.
- **Bluesnarfing:** permet accedir a dades internes del telèfon, llegir-les o modificar-les. Només afecta equips antics.

Bluetooth i xarxa local

Els dispositius Bluetooth permeten integrar-se dins una xarxa d'àrea local i accedir a la memòria d'aquests com si fos un recurs de xarxa local.

- **Car whisperer:** permet l'accés a un telèfon de mans lliures de cotxe, i per tant, escoltar trucades o el micròfon, o enviar so al dispositiu.
- **Cabir worm:** programa cuc que en instal·lar-se en un telèfon, es copia a altres telèfons. Només afecta el sistema operatiu Symbian OS.
- **Denial of service (DoS):** consisteix a denegar el servei de Bluetooth a l'usuari, cosa que obliga l'aparell a apagar el servei.

2.3. ZigBee

ZigBee és el nom de l'especificació d'un conjunt de protocols d'alt nivell de comunicació sense fil per a utilitzar-los amb ràdio digital de baix consum, basat en l'estàndard WPAN IEEE 802.15.4. El seu objectiu són les aplicacions que requereixen comunicacions segures amb baixa taxa d'enviament de dades i maximització de la vida útil de les bateries.

La tecnologia ZigBee es diferencia pel seu baix consum, per la seva topologia de xarxa en malla, i per la seva integració fàcil (es poden fabricar nodes amb molt poca electrònica).

La relació entre IEEE 802.15.4-2003 i ZigBee és semblant a l'existent entre IEEE 802.11 i Wi-Fi Alliance. L'especificació 1.0 de ZigBee es va aprovar l'any 2004 i està disponible per als membres del grup de desenvolupament (ZigBee Alliance). Un primer nivell de subscripció, anomenat *adapter*, permet la creació de productes per a comercialitzar-los adoptant l'especificació per un determinat preu. Aquesta especificació està disponible al públic per a finalitats no comercials. Amb el temps, s'han anat creant noves versions de l'especificació original. Al desembre de l'any 2006 es va publicar l'especificació actual.

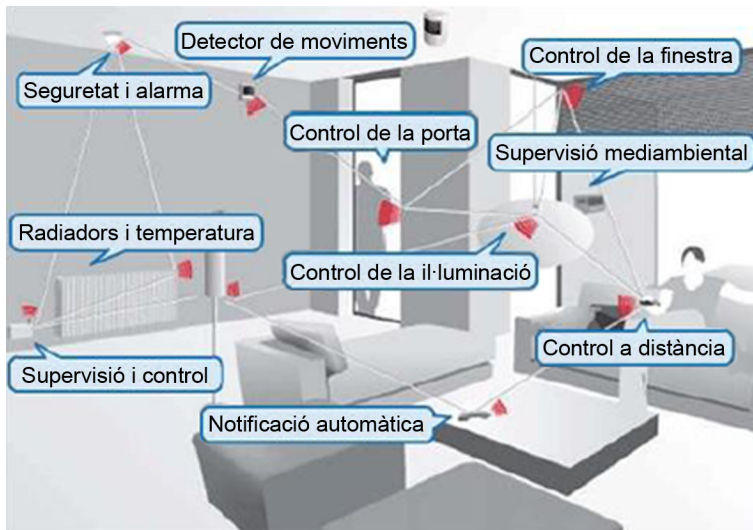
Comercialització de productes ZigBee

ZigBee té els mòduls transmissors sense fil més barats de la història, i produïts de manera massiva. Tindran un cost aproximat de 6 euros, i disposaran d'una antena integrada, control de freqüència i una petita bateria.

ZigBee utilitza la banda de freqüències ISM per a usos industrials, científics i mèdics. En concret, a Europa utilitza la banda de 868 MHz. També moltes empreses opten per la banda de 2,4 GHz disponible a tot el món. El desenvolupament d'aquesta tecnologia es basa en la senzillesa i el seu baix cost. Un node ZigBee més complet requereix menys del 10% de maquinari que un node Bluetooth (es requereixen molts menys circuits analògics del que és habitual).

Els protocols ZigBee estan definits per un ús en aplicacions encastades amb requisits molts baixos de la transmissió de dades i consum energètic. Es pot utilitzar per a fer un control industrial, guardar sensors encastats, recollir dades mèdiques, en detectors de fum o intrusos, domòtica o teleassistència.

Una xarxa en el seu conjunt utilitzarà una quantitat molt petita d'energia, de manera que cada dispositiu individual pugui tenir autonomia de fins a 5 anys abans de necessitar un recanvi en el seu sistema d'alimentació.



Exemple d'una aplicació domòtica amb ZigBee

Els desavantatges de ZigBee són: taxa de transferència molt baixa, només manipula textos petits comparats amb altres tecnologies, treballa de manera que no és compatible amb Bluetooth perquè no arriba a tenir les mateixes taxes de transferència, ni la mateixa capacitat de suport per als nodes, té menys cobertura perquè pertany a xarxes sense fil del tipus WPAN.

Una xarxa ZigBee pot constar d'un màxim de 65.535 nodes distribuïts en sub-xarxes de 255 nodes (enfront dels 8 nodes de màxim d'una picoxarxa Bluetooth). Pot assolir una velocitat de 250 kbps i s'utilitza en aquelles aplicacions en què la transferència de dades és baixa (articles de joguines, detectors...) enfront del Bluetooth, que se sol utilitzar en telèfons mòbils o dispositius d'entrada/sortida en equips informàtics, ja que es requereix una velocitat de transmissió més gran. Proveeix connexions segures entre els dispositius. Els dispositius ZigBee són molt barats i de construcció molt senzilla.

En una xarxa ZigBee hi ha tres tipus de dispositius:

1) **Coordinador ZigBee (coordinator, ZC)**. El tipus de dispositiu més complet. N'hi ha d'haver un per cada xarxa. Les seves funcions són les d'encarregar-se de controlar la xarxa i els camins que han de seguir els dispositius perquè es connectin entre ells. Requereix memòria i capacitat de computació.

2) **Encaminador ZigBee (ZR)**. Interconnecta dispositius separats en una topologia de la xarxa. Ofereix un nivell d'aplicació per a executar un codi d'usuari.

3) **Dispositiu final (end device, ZED)**. Té la funcionalitat necessària per a comunicar-se amb el node pare (el coordinador o l'encaminador) però no pot transmetre informació destinada a altres dispositius. D'aquesta manera, aquest



Encaminadors ZigBee

tipus de node pot estar dormit la gran majoria de temps, i així augmenta la vida mitjana de les seves bateries. Un ZED té uns requisits mínims de memòria i per això és significativament molt econòmic.

Si ens basem en la funcionalitat, es pot plantejar una segona classificació dels dispositius ZigBee:

- **Dispositiu de funcionalitat completa (FFD):** també conegut com a *node actiu*. Pot rebre missatges en format 802.15.4. Pot funcionar com a encaïnador o com a coordinador, o es pot utilitzar en dispositius de xarxa que actuïn d'interfície amb els usuaris.
- **Dispositiu de funcionalitat reduïda (RFD):** també conegut com a *node passiu*. Té unes capacitats i funcionalitats limitades (especificada en l'estàndard) amb l'objectiu d'aconseguir un baix cost i una gran simplicitat. Bàsicament són els sensors i actuadors de la xarxa.

Un node ZigBee, tant actiu com passiu, redueix el seu consum gràcies al fet que pot estar dormit la major part del temps (fins i tot molts dies seguits). Quan es requereix que funcioni, el node ZigBee és capaç de despertar en un temps molt petit, i dormir una altra vegada quan no el necessitin. Un node qualsevol desperta aproximadament en 15 mil·lisegons.

ZigBee permet tres topologies de xarxa:

- 1) **Topologia en estrella:** el coordinador es situa en el centre.
- 2) **Topologia en arbre:** el coordinador serà l'arrel de l'arbre.
- 3) **Topologia en malla:** almenys un dels nodes tindrà més de dues connexions.

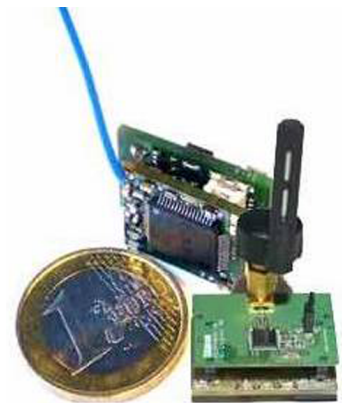
La topologia més interessant és la topologia en malla. Permet que en un moment determinat, si un node del camí falla i cau, es pugui fer la comunicació entre tots els altres nodes, ja que refan tots els seus camins. La gestió dels camins la fa el coordinador.

La seguretat de les transmissions i les dades són punts claus en la tecnologia ZigBee. Utilitza el model de seguretat de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la qual especifica quatre serveis de seguretat:

- 1) control d'accessos (el dispositiu manté una llista dels dispositius comprovats per la xarxa),



Coordinador ZigBee



Dispositiu final

Exemple d'instal·lació ZigBee

En el cas d'una aplicació domòtica, en una habitació de la casa tindríem diversos dispositius finals (un interruptor i una làmpada) i una xarxa d'interconnexió feta amb encaïnadors ZigBee i governada pel coordinador.

2) dades xifrades (usen xifratge amb un codi de 128 bits),
 3) integració de trames (protegeixen les dades de ser modificades per altres), i
 4) seqüència de refresc (comproven que les trames no han estat reemplaçades per altres). El controlador de xarxa comprova aquestes trames de refresc i el seu valor, per a veure si són les esperades.

2.4. Wi-Fi

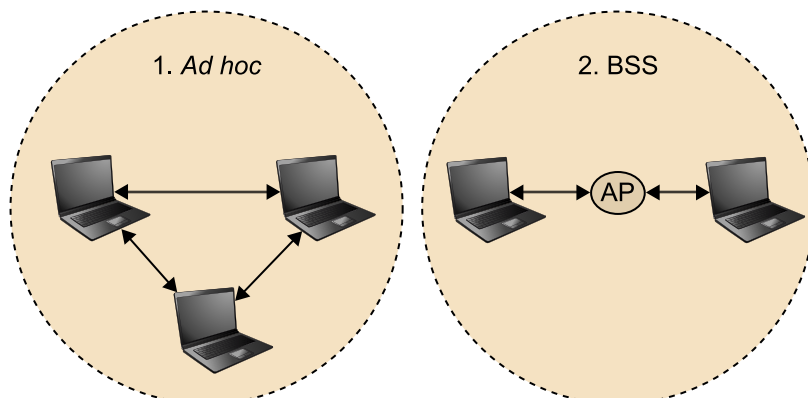
Últimament es parla molt del Wi-Fi, una tecnologia sense fil que en les seves distintes versions (802.11a, b i g) pot oferir des d'11 Mbps fins a 54 Mbps, i que té distintes aplicacions, especialment en entorns locals (de distància curta) com aeroports, hotels, estacions de servei, centres comercials, convencions, petits pobles... en els quals s'ofereix accés a Internet.

En Wi-Fi s'utilitzen les ones portadores de ràdio per a transmetre la informació. Les dades se superposen a l'ona portadora de ràdio i es poden extreure en el receptor final en un procés conegut com a *modulació-desmodulació*.

Un punt d'accés (AP) és el dispositiu que fa de pont entre una xarxa cablejada i una xarxa sense fil. Podem pensar que és, d'alguna manera, l'antena a la qual ens connectem.

Si les ones són transmises a diverses freqüències, hi pot haver diverses ones portadores de ràdio alhora, sense que s'interfereixen unes amb altres. Els punts d'accés (*access point*) reben la informació, la guarden, i la retransmeten entre la xarxa sense fil i la xarxa cablejada. Si els dispositius Wi-Fi es comuniquen sense cap punt d'accés, sinó entre ells, crearem una xarxa anomenada *ad hoc*.

Topologia simple *ad hoc* (sense punt d'accés) i topologia amb un sol punt d'accés (BSS)



El nom Wi-Fi

El nom de *Wi-Fi* és l'abreviació formada per les paraules *wireless fidelity*, i es refereix als procediments utilitzats per les comunicacions per a xarxes locals (distàncies curtes) sense fil (*wireless local area network* o WLAN).

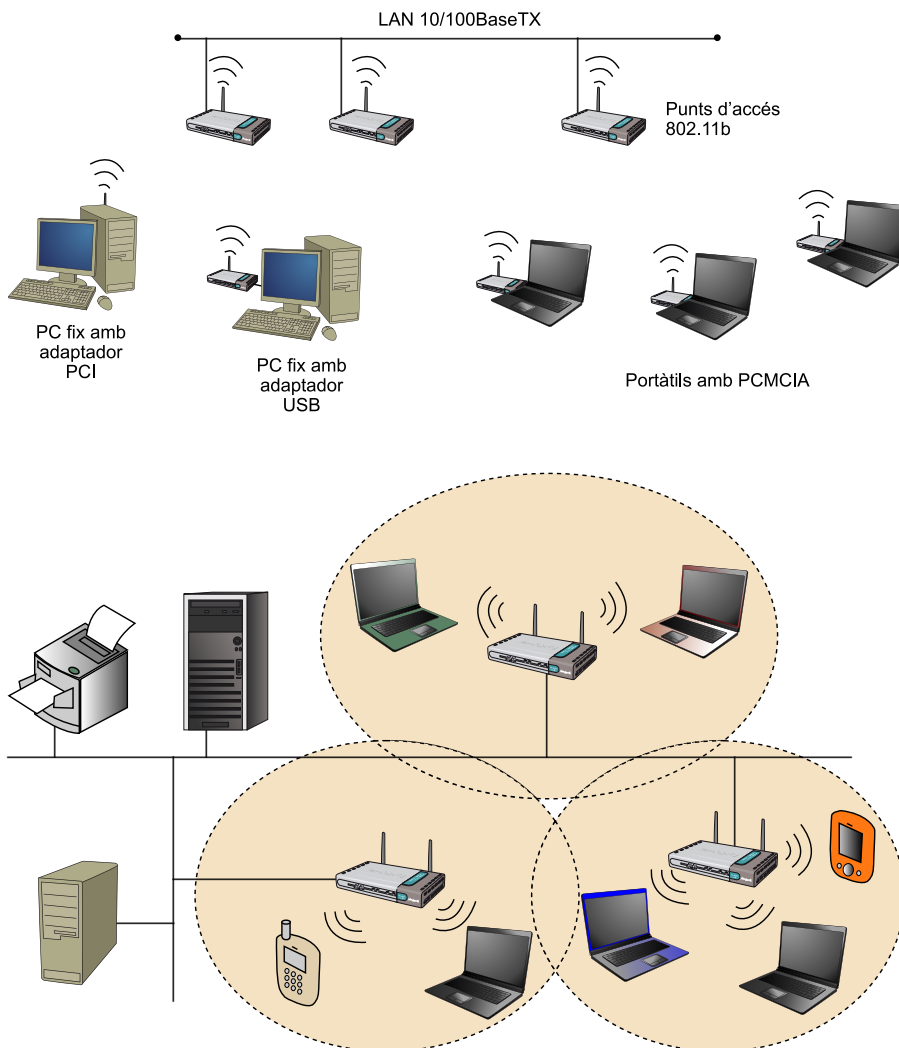


Logotip de Wi-Fi



Punts d'accés

Topologia més complexa: xarxa cablejada i punts d'accés sense fil



L'IEEE 802 és un comitè i un grup d'estudi d'estàndards que pertany a l'Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics (IEEE), que actua sobre xarxes d'ordinadors. L'especificació concreta del sistema Wi-Fi és la IEEE 802.11.

A més d'aquesta velocitat, l'abast de les comunicacions pot arribar a varis centenars de metres en espais oberts. Contínuament apareixen equips que poden arribar a distàncies com més va més llargues.


Els estàndards IEEE 802.11b i 802.11g utilitzen la banda de freqüències de 2,4 a 2,5 GHz. A Europa, l'ETSI (Institut Europeu de Normes de Telecomunicacions) ha definit tretze canals dins d'aquesta banda de senyal. Però no s'utilitzen tots, perquè se suplanten i produeixen interferències. Els més utilitzats són els canals 1, 4, 9 i 13, ja que no són adjacents i no reben interferències. Aquesta configuració només es fa habitualment en el punt d'accés, ja que els dispositius clients detecten el senyal. Per a utilitzar aquestes freqüències no cal cap autorització (o llicència) de l'administració competent, i per tant, és una tecnologia molt utilitzada en entorns locals com edificis, oficines, hospitals...

Xarxa Wi-Fi domèstica

Els elements que es necessiten per a crear una xarxa a casa sense cable són un punt d'accés, per a connectar l'encaminador, i un dispositiu Wi-Fi, per a connectar al nostre ordinador. Un punt d'accés és un dispositiu encarregat de connectar dispositius Wi-Fi per a crear una xarxa sense fil. Habitualment també disposem d'un connector per a xarxa amb cable, que permet connectar la xarxa sense cable amb la xarxa cablejada. Molts dels encaminador actuals ja duen incorporat el punt d'accés, i ofereixen tres serveis en un sol equip: xarxa sense fil, xarxa amb fil i encaminador a Internet. En l'equip encaminador trobem l'antena, que serveix per a les comunicacions sense cable, els quatre ports per a la xarxa Ethernet (de color groc habitualment) i, finalment, el port de comunicació amb Internet.

Si connectem molts punts d'accés entre si, l'abast de la xarxa sense fil augmentarà. Aquesta acció es coneix com a *itinerància*, o en anglès, *roaming*.

Per a establir comunicació amb el punt d'accés el nostre ordinador necessita un dispositiu Wi-Fi. Aquest dispositiu serveix per a rebre i enviar les ones de ràdio on hi ha la informació. Actualment molts ordinadors ja porten integrat el dispositiu Wi-Fi dins la placa mare. Per als models més antics que no en porten incorporat es pot connectar a l'ordinador amb tres elements: targetes PCI, targetes PCMCIA i targetes USB.

PCI	Serveixen per a equips de sobretaula.	
PCMCIA	Són molt eficaces, ja que la seva funcionalitat és equiparable a la d'una targeta de xarxa normal.	
USB	L'única dificultat és que s'han de manipular a l'interior de l'ordinador.	
PCI	Destinades en equips portàtils.	
PCMCIA	Van ser les primeres targetes que es van crear, ja que aquesta tecnologia estava pensada per als equips amb mobilitat alta, com ara els ordinadors portàtils.	
USB	Les primeres targetes PCI eren PCMCIA amb un adaptador PCI.	
PCI	Destinades tant a equips de sobretaula com a ordinadors portàtils, perquè són molt senzilles de connectar a un equip.	
PCMCIA	Al principi eren dispositius molt grossos, però actualment la tecnologia ha creat dispositius tan petits com el llapis USB.	
USB		

Hi ha una àmplia varietat d'antenes:

- **Omnidireccionals.** Tenen poc abast, però permeten un radi de cobertura de 360°, uns 300 metres a l'exterior.
- **Unidireccionals.** Tenen més abast, però només en una sola direcció.

Una vegada s'ha establert comunicació entre una targeta sense cable i un altre dispositiu, la targeta es comporta com qualsevol targeta Ethernet cablejada i s'ha de configurar com a tal.

Per a poder establir la connexió entre un punt d'accés i un dispositiu Wi-Fi cal configurar primer el punt d'accés. Cada punt d'accés té la seva configuració pròpia, i actualment es configuren amb un entorn gràfic accedint-hi amb el protocol web. Quan iniciem per primera vegada un punt d'accés, el dispositiu té uns paràmetres de configuració bàsics que poden no satisfer els nostres interessos. Molts d'aquests paràmetres es poden canviar. El més important és el *serial set identifier* (SSID): indica l'identificador del servei i és el codi (o nom) que s'incorpora a totes les comunicacions sense cable per a identificar-les com a part de la xarxa (és el nom que apareix quan des d'un ordinador es fa la funció de cercar xarxes sense fil). També es coneix com el nom de la xarxa. El punt d'accés, per a identificar-se, emetrà senyals amb aquest paràmetre. També amb l'entorn gràfic es pot modificar el canal amb el qual emetem el senyal d'ona portadora de ràdio. Habitualment no canviarem aquest paràmetre, però si decidim fer-ho, seguirem les recomanacions de l'ETSI.

Una de les coses més importants que s'han de configurar és la seguretat de la comunicació per a poder donar accés a la nostra xarxa sense fil als equips o persones que vulguem.

El **xifratge WEP** (Wireless Encryption Protocol) codifica la informació que viatja per l'aire de cada trama de dades enviades per l'adaptador mitjançant unes claus (64, 128 i 256 bits).

Hi ha un altre tipus de xifratge, el WPA (Wi-Fi Protected Access), que proporciona més seguretat que el xifratge WEP, a més de proporcionar l'autenticació de l'usuari (exigeix una clau i una contrasenya per a entrar dins la xarxa, a més de codificar la informació transmesa per l'aire).

Per a la majoria de xarxes petites, el xifratge WAP és la manera més senzilla de tenir una seguretat efectiva. De les tres opcions, la PSK String és la més bona d'implantar.

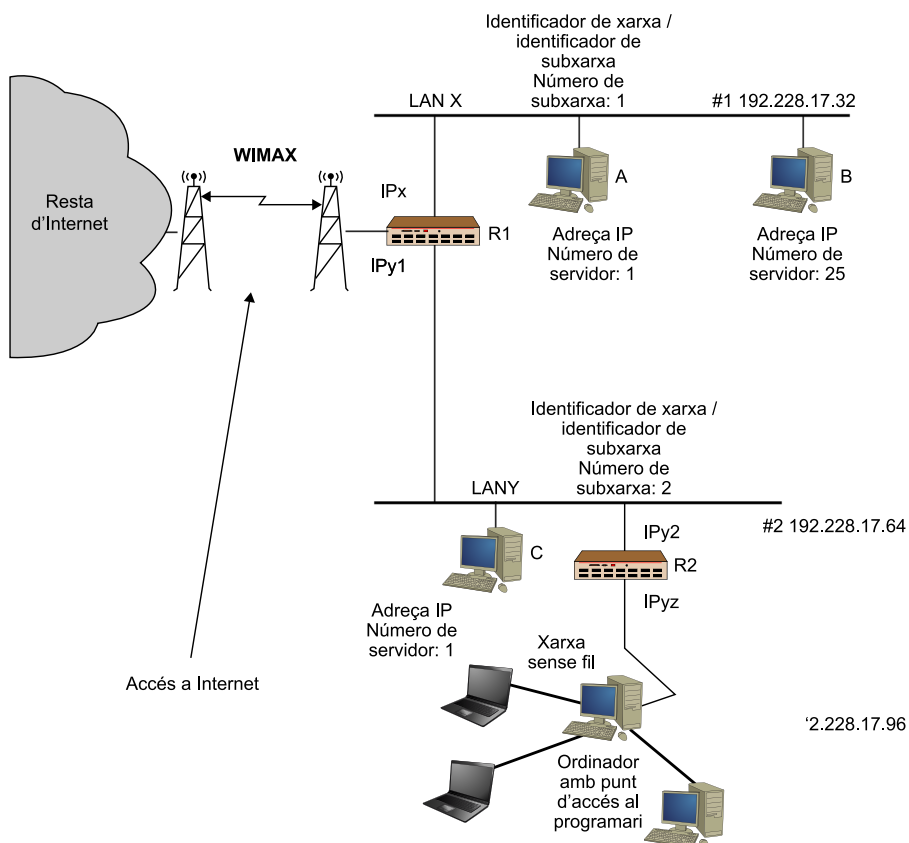
Estàndard	Amplada de banda	Consum de potència	Avantatges	Aplicacions
Wi-Fi	Fins a 54 Mbps	400 mA transmetent	Gran amplada de banda	Navegar per Internet, xarxes d'ordinadors, transferència de fitxers
Bluetooth	1 Mbps	40 mA transmetent	Interoperativitat, substitut del cable	USB sense fil, mòbils, informàtica casolana
ZigBee	250 kbps	30 mA transmetent, 3 mA en repòs	Bateria de llarga durada, baix cost	Control remot, productes dependents de la bateria, sensors, joguines

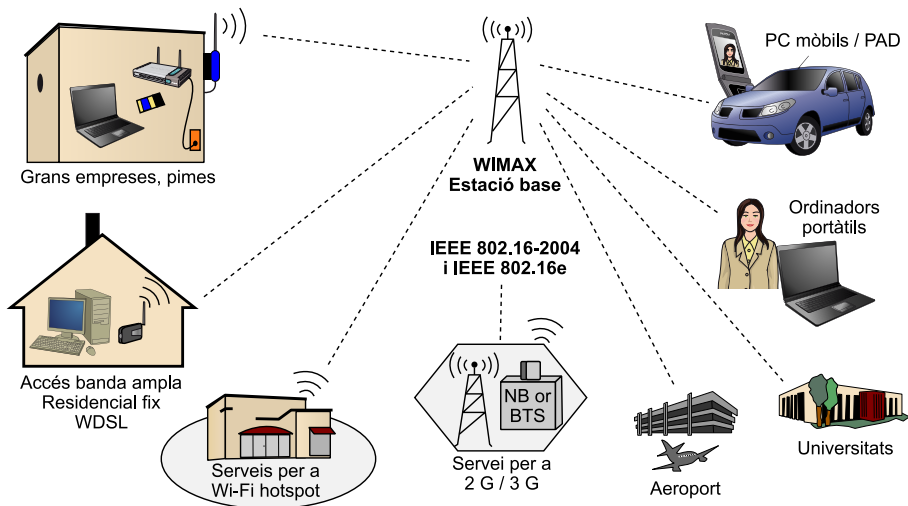
2.5. WiMAX

Actualment hi ha una demanda de serveis d'accés de banda ampla (altes velocitats de transmissió) per a Internet i altres aplicacions de veu i dades. Amb cablatge, actualment s'ofereix servei amb les línies ADSL, i sense fil, WiMAX és la solució que tant serveix als operadors de telecomunicacions com als usuaris. Amb WiMAX s'està creant un mercat massiu de solucions sense fil.

Un nou estàndard WMAN de banda ampla va aparèixer promogut i desenvolupat pel grup WiMAX, que té dos membres molt representatius, com Intel i Nokia. L'etiqueta WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access, 'accés sense fil de banda ampla') està associada globalment amb el nom mateix de l'estàndard IEEE 802.16. La tecnologia WiMAX representa una evolució pel que fa al Wi-Fi. Permet la connectivitat entre punts fixos, nòmades i mòbils, i eventualment la connectivitat mòbil sense la necessitat de tenir una línia punt a punt amb una estació base.

Fent una analogia, WiMAX és a l'estàndard IEEE 802.16 com Wi-Fi ho és a l'estàndard IEEE 802.11.





WiMAX Forum

El WiMAX Forum és una agrupació de més de 350 companyies, i s'encarrega de promoure la interoperabilitat de dispositius 802.16 i la unificació dels estàndards a tot el món. Inclou fabricants de xips, fabricants d'equips i empreses que ofereixen serveis. WiMAX Forum promou la utilització de l'estàndard IEEE 802.16, la certificació d'equips, la interoperabilitat de WiMAX entre diferents marques i la conformitat verificada en laboratoris autoritzats.

WiMAX utilitza bandes de freqüència amb llicència governamental i sense. La banda per a la qual no cal cap autorització administrativa està entre 2,4 i 5 GHz. Aquestes bandes s'han d'utilitzar amb molta cautela, ja que hi ha la possibilitat d'una gran interferència. En alguns països encara no han assignat les bandes WiMAX.

La norma inicial IEEE 802.16, publicada el desembre de 2001, va servir per a fomentar l'operativitat entre els sistemes Local Multipoint Distribution System (LMDS). Inicialment el rang de freqüències era entre 10 i 66 GHz amb necessitat de visió directa (entre emissor i receptor). Al començament del 2003, amb l'aparició del 802.16a per a ratificar l'estàndard inicial 802.16, es va ampliar el rang de freqüències cap a les bandes de 2 a 11 GHz. L'any 2004 apareix l'estàndard 802.16-2004 o IEEE 802.16d, també conegut com a WiMAX, per a cobrir les carències de la IEEE 802.16a.

En resum, hi ha dos estàndards, IEEE 802.16d per a WiMAX fixa, i IEEE 802.16e per a WiMAX mòbil.

	802.16	802.16a	802.16e
Espectre	10-66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionament	Només amb visió directa	Sense visió directa (NLOS)	Sense visió directa (NLOS)
Amplada de banda	32-134 Mbps	Fins a 75 Mbps amb canals de 20 MHz	Fins a 15 Mbps amb canals de 5 MHz

	802.16	802.16a	802.16e
Modulació	QPSK, 16QAM i 64 QAM	OFDM amb 256 subportadores	El mateix que 802.16a
Mobilitat	Sistema fix	Sistema fix	Mobilitat pedestre
Amplada de l'espectre	20, 25 i 28 MHz	Selecció entre 1,25 i 20 MHz	El mateix que 802.16a amb els canals de pujada per a estalviar potència
Distància	2-5 km aprox.	5-50 km aprox.	2-5 km aprox.

Cal fer esment de l'aparició d'equipament anomenat **pre-WiMAX**. Molts fabricants no van esperar a l'aprovació definitiva de l'estàndard 802.16 i van treure al mercat (i a hores d'ara encara n'hi ha) equips que implementen un protocol de propietat basat en els desenvolupaments fets per a la tecnologia WiMAX. Aquests dispositius, tot i proporcionar altes prestacions, no permeten interoperabilitat amb els altres fabricants. Per contra, aquests equips treballen en bandes de freqüència lliure (sense llicència), de manera que han acabat essent una bona opció (i força utilitzada) per a desplegaments en aquest tipus d'entorns.

Pel que fa a velocitats, cal diferenciar entre la velocitat de transmissió en l'aire i la velocitat real (coneguda com a *throughput*). En el cas concret de WiMAX i pre-WiMAX la velocitat dels equips és lleugerament diferent:

Velocitats pre-WiMAX i WiMAX

Tecnologia	Velocitat màxima aire	Velocitat màxima real
pre-WiMAX	54 Mbps	~30 Mbps
WiMAX	70 Mbps	~40 Mbps

Les seves principals característiques es resumeixen a continuació:

- **Modulació adaptativa.** Es trien dinàmicament en funció de les condicions de l'enllaç; si té un bon comportament (poques pèrdues), s'utilitza una modulació que porta més bits i, per tant, la velocitat augmenta. En funció de la distància de l'estació amb l'estació base s'utilitza un tipus de modulació o una altra: 64QAM, 16QAM, QPSK...
- **Banda freqüencial.** Es pot treballar en banda lliure de 5,4 GHz, però amb poca potència i amb visió directa. També hi ha banda llicenciada (cal un permís de l'Administració per a utilitzar una determinada freqüència) a 3,5 GHz, en què no és imprescindible la visió directa.
- **Elements.** Hi ha dos tipus de components: l'estació base (unitats d'accés, AU) i les unitats d'abonat (SU).

- **Perfils.** Permeten enllaços punt a punt (amb visió directa) i punt multipunt (sense necessitat de visió directa).
- **Permet qualitat de servei (QoS).** Gràcies al fet que WiMAX està orientat a la connexió. També ofereix l'especificació abans de la transmissió de la qualitat de servei demandada (QoS): per exemple, la veu i el vídeo requereixen una baixa latència (retard) però suporten bé la pèrdua d'un poc d'informació, mentre que les aplicacions de dades han d'estar lliures d'errors però toleren bé el retard.
- **Usuaris.** Suporta uns quants centenars d'usuaris per canal.

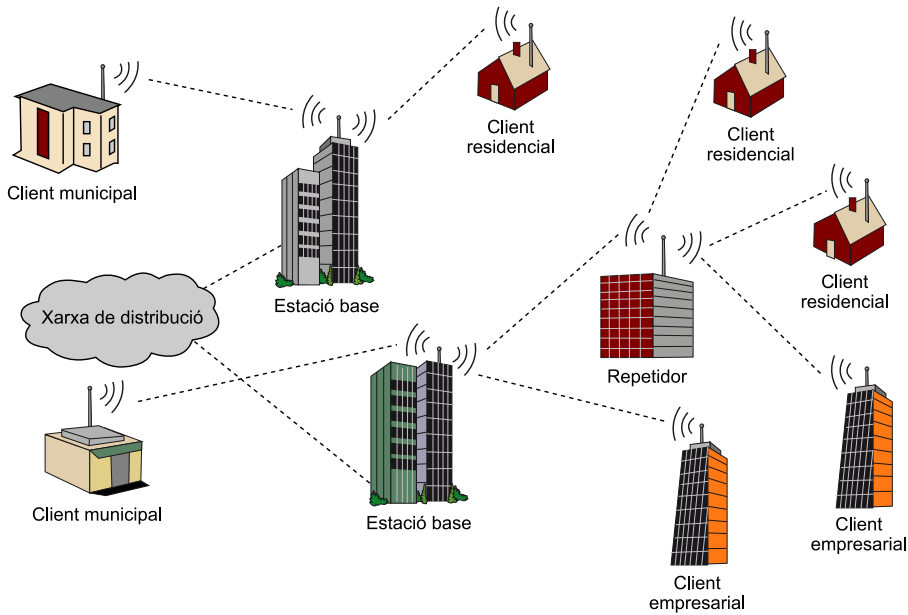
WiMAX ofereix diverses qualitats de servei:

- **Unsolicited grant service (UGS).** Trànsit de velocitat constant (*constant bit rate*), dades en temps real amb paquets de mida fixa: VoIP sense supressió del silenci.
- **Real-time polling service (rtPS).** Dades en temps real amb paquets de mida variable generats en intervals periòdics, com els paquets de vídeo Moving Picture Expert Group (MPEG).
- **Extended real-time polling service (ertPS).** És una optimització d'UGS i rtPS: dades en temps real amb paquets de mida variable generats en intervals periòdics, com ara VoIP amb supressió de silenci.
- **Non-real-time polling service (nrtPS).** Suporta dades que toleren retards com la transferència d'arxius (FTP, File Transfer Protocol).
- **Best effort (BE).** Dissenyat per a suportar trànsit per al qual no s'ha definit cap tipus de nivell de qualitat de servei, com la navegació pel Web.

Ofereix la possibilitat de formar xarxes en malla (*mesh networks*) perquè els distints usuaris es puguin comunicar entre ells, sense necessitat de tenir una visió directa entre si.

Les primeres versions de WiMAX van ser pensades per a comunicacions punt a punt, o punt a multipunt típiques de radioenllaços per microones. Les futures xarxes oferiran mobilitat total i podran competir amb les xarxes cel·lulars. WiMAX és adequat per a unir punts amb molt de tràfic d'informació Wi-Fi a les xarxes dels operadors de telecomunicacions sense necessitat d'establir un enllaç fix. WiMAX amplia la cobertura d'una xarxa Wi-Fi i pot proveir una alternativa seriosa o de complement a les xarxes 3G.

Topologia xarxa WiMAX

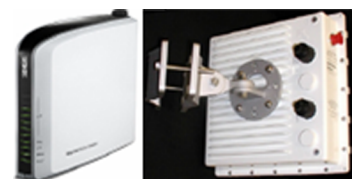
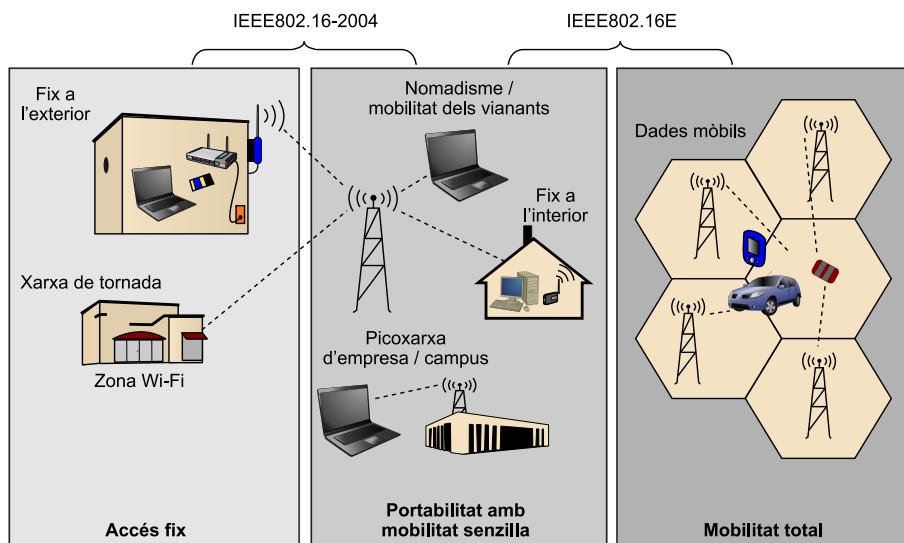


WiMAX suporta les anomenades *antenes intel·ligents*, pròpies de les xarxes cel·lulars 3G. Aquestes antenes intel·ligents emeten un feix de radiació molt estret que es pot anar movent electrònicament, per a enfocar sempre el receptor, amb la qual cosa eviten les interferències entre canals adjacents i es consumeix menys potència per tenir el feix més concentrat.

Una altra aplicació és la d'oferir servei en zones rurals de difícil accés, on no arriben les xarxes cablejades. És una tecnologia molt adequada per a establir radioenllaços, per la seva gran cobertura i capacitat, i un cost molt competitiu enfront d'altres alternatives.

La instal·lació d'estacions base WiMAX és senzilla i econòmica, i utilitza un maquinari que arribarà a ser estàndard.

Diferents fases de WiMAX



A l'esquerra, estació d'usuari d'accés fix. A la dreta, estació base d'accés fix.

WiMAX mòbil i IEEE 802.16e, suporten diverses tecnologies d'antenes intel·ligents:

- Confirmació de feix.
- *Space-time code* (STC).
- Multiplexació espacial.

En definitiva, WiMAX ens ofereix una amplada de banda per a equips fixos i mòbils, pot coexistir juntament amb Wi-Fi i 3G, suporta aplicacions basades en IP (dades, Internet, VoIP, etc.), garanteix la seguretat i la qualitat del servei, i té diferents sectors en el mercat.

Més de 250 operadors han fet proves en més de 65 països, tal com es veu a la figura següent.



Comparativa de WiMAX amb altres tecnologies

	WiMAX 802.16	WiFi 802.11	MBWA 802.20	UMTS i CD-MA2000
Velocitat	124 Mbps	11-54 Mbps	16 Mbps	2 Mbps
Cobertura	40-70 km	300 m	20 km	10 km
Llicència	Sí/no	No	Sí	Sí
Avan- tatges	Velocitat i exten- sió geogràfica	Veloci- tat i preu	Velocitat i mobilitat	Rang i mobilitat
Inconve- nients	Interferències	Baixa co- bertura	Preu alt	Lent i car

Resum

En aquest mòdul hem vist l'evolució històrica de la telefonia mòbil, el seu creixement exponencial en nombre d'usuaris a escala mundial, i com aquesta tecnologia i les seves aplicacions han evolucionat en molts pocs anys. S'ha passat bàsicament de només poder transmetre missatges de text, amb la tecnologia mòbil GSM, a millorar les connexions a Internet amb la tecnologia GPRS, per a acabar amb les últimes aplicacions totalment multimèdia sobre tecnologies EDGE i UMTS amb un augment considerable de les velocitats de transmissió i de les seves cobertures.

En l'àmbit de les xarxes sense fil s'han vist les d'ús més quotidià, com les xarxes Wi-Fi per a aplicacions locals (habitatge, oficina), amb distàncies entre els equips petites (centenars de metres). Per a incrementar la distància entre els equips (quilòmetres) s'ha desenvolupat la tecnologia sense fil WiMAX. A més, per a interconnectar dispositius a molta poca distància, s'utilitza la tecnologia infraroja i Bluetooth. Finalment, per a instal·lar xarxes de sensors en què el consum és el factor principal que cal tenir en compte, existeix la tecnologia ZigBee, perquè les bateries d'aquests sensors tinguin una llarga durada.

Bibliografia

Abad, F. J.; Canudas, J. M.; Martínez, R.; Noguera, E. (2008). *Informàtica 4t. ESO*. Barcelona: Teide.

Olzac, T. (2006). "Secure your Bluetooth wireless networks and protect your data" [article en línia]. *Tech Republic* (1 de desembre). <http://articles.techrepublic.com.com/5100-10878_11-6139987.html> [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

Universidad Politécnica de Madrid (2009). "Comunicaciones móviles con WAP, GPRS y UMTS" (pla docent del curs 2009-2010) [document en línia]. <<http://asignaturas.diatel.upm.es/ccmm/Documentacion.htm>> [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

Adreces web

Bluetooth. <<http://www.bluetooth.com/English/Pages/default.aspx>>. [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

International Engineering Consortium. <<http://www.iec.org>>. [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

Umtsforum.net. <<http://www.umtsforum.net/default.asp>>. [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

Zigbee Alliance. <<http://www.zigbee.org>>. [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

Zigbee España. <<http://www.zigbee.es>>. [Data de consulta: 13 d'abril del 2010.]

