

Xarxes locals i metropolitananes sense fils

Antonio Satué Villar

PID_00158028

Índex

Introducció	5
Objectius	6
1. Introducció	7
1.1. Classificació	7
2. Estàndard 802.11	10
2.1. Arquitectura	10
2.2. Accés al medi	11
2.3. Estalvi de potència	15
2.4. Qualitat de servei	15
2.5. Estàndards 802.11	16
2.6. Estàndard 802.11n	19
2.7. Escolta del canal	23
2.8. Seguretat	24
2.9. Aplicacions	26
3. Xarxes metropolitanes sense fils	29
3.1. LMDS (local multipoint distribution service)	29
3.2. Estàndard 802.16	31
Activitats	37
Exercicis d'autoavaluació	37
Solucionari	38
Glossari	38
Bibliografia	41

Introducció

En el mòdul anterior hem parlat de les xarxes sense fils de tipus personal (de curt abast). En aquest augmentem el radi d'acció de les xarxes i ens mourem en cobertures de tipus local i de tipus metropolità.

Les xarxes locals sense fils són aquelles que permeten donar servei a distàncies a un centenar de metres aproximadament (un pis, una planta d'un edifici, una nau industrial, uns carrers...). Comentarem les diferents tecnologies i ens detindrem en la 802.11, que és la dominant en el sector i la que presenta un ritme més elevat d'actualitzacions.

Les xarxes metropolitanes sense fils permeten donar serveis a distàncies d'un quilòmetre aproximadament. Així, podem donar cobertura a un barri, a un poble o a una urbanització, entre d'altres. Aquí comentarem les tecnologies basades en l'estàndard 802.16, que en els últims anys presenta constants actualitzacions per a millorar les seves prestacions.

Objectius

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

- 1.** Comparar les xarxes infraroig i les làser.
- 2.** Descriure l'arquitectura de xarxa 802.11 i les funcions dels seus elements.
- 3.** Diferenciar els mecanismes de transmissió coordinat i distribuït en xarxes 802.11.
- 4.** Descriure el mecanisme d'estalvi de potència en xarxes 802.11.
- 5.** Descriure els mecanismes per a donar qualitat de servei en xarxes 802.11.
- 6.** Descriure els mecanismes de seguretat en xarxes 802.11.
- 7.** Diferenciar LMDS i l'estàndard 802.16.
- 8.** Enumerar els perfils que defineix l'estàndard 802.16.
- 9.** Descriure els tipus de qualitat de servei que ofereix l'estàndard 802.16.
- 10.** Diferenciar les topologies de xarxa de l'estàndard 802.16.
- 11.** Descriure els aspectes que s'han de tenir en compte abans d'adquirir productes 802.16.

1. Introducció

En aquest mòdul parlarem de les xarxes locals i metropolitanes sense fils. És a dir, xarxes amb un abast fins a uns quants quilòmetres. Els principals avantatges d'aquestes xarxes sense fils respecte a les cablejades són:

- Permeten mobilitat (més o menys).
- Són flexibles, ideals per a instal·lacions temporals.
- Són fàcils d'instal·lar.
- Permeten la seva integració amb sistemes cablejats.
- Són adequades per a instal·lacions en edificis d'alt valor històric on hi ha restriccions a les obres que es fan a l'interior.
- Són adequades en grans naus industrials on les canaletes de cablejat poden dificultar el pas de maquinària.
- Poden ser una via alternativa a la xarxa cablejada, com a sistema de seguretat.

També hi ha alguns inconvenients:

- Preu elevat, tot i que cada vegada hi ha menys diferències.
- Poca velocitat, tot i que hi ha tecnologies sense fils que poden competir amb les tècniques cablejades de gran velocitat.
- Sensibles a forns microones (els 2,4 GHz són capturats òptimament per l'aigua) o canvis d'humitat.

1.1. Classificació

A continuació comentarem les tecnologies que permeten implantar xarxes locals sense fils:

1) Infrarojos

Els primers experiments es van fer a Suïssa l'any 1979.

El disseny és simple (econòmic), ja que els receptors només detecten l'amplitud del senyal. La detecció de freqüència i/o fase és complexa. El dispositiu

emissor és el LED (*light emitting diode*), que emet llum que es propaga pel medi. El receptor és un fotodíode PIN, que rep els polsos de llum i els transforma en senyals que pugui entendre l'ordinador (bits).

Utilitzen rajos infrarojos (longitud d'ona aprox.: 870 nm), o sigui, freqüències molt elevades que no pateixen congestió. Per contra, comparteixen espectre amb els fluorescents (aquests redueixen la relació senyal-soroll en l'enllaç).

Necessiten visió directa entre nodes i la distància es limita a 10-25 m. Això fa que:

- No admetin vibracions.
- No puguin travessar parets. Això també pot ser positiu, ja que tenim molt controlada la informació (les dades estan confinades en la trajectòria).
- Els afecta la pluja però encara més la boira (pertorba la visió).

Observació

Les parets poden servir per a provocar reflexions desitjades. Els vidres es poden travessar en certs casos.

2) Espectre eixamplat

Aquestes tècniques es basen a distribuir les dades en un marge freqüencial de banda ampla (típicament entorn dels 2,4 GHz o bé dels 900 MHz) mitjançant un codi d'expansió que només és conegut pel receptor. Aquestes freqüències es corresponen amb la banda ISM (*industrial scientific medicine*), en la qual no es requereix llicència per a emetre. La banda ISM té una tercera zona entorn dels 5,8 GHz, però tenim interferències de ratolins sense fils, microones, comandaments a distància...

A Espanya la banda ISM està especificada en la norma UN-51: 2,45 GHz, 5,8 GHz, 24 GHz i 61 GHz. En la banda ISM:

- No hem d'interferir (hi ha límits de potència d'emissió).
- No podem sol·licitar protecció davant serveis autoritzats de més categoria.

Les tècniques d'espectre eixamplat són de dos tipus:

- **Frequency hopping (FHSS):** canvia de freqüència d'una manera pseudoaleatòria (PN) només coneguda per emissor i receptor.
- **Direct sequence (DSSS):** la informació es multiplica per una seqüència pseudoaleatòria coneguda per emissor i receptor.

A aquestes freqüències es poden travessar obstacles. Aquestes tècniques són la base dels sistemes actuals de xarxes locals sense fils.

La norma UN-51...

... especifica genèricament la banda ISM. Però hi ha altres bandes que també són d'ús comú:

- **UN-85:** xarxes sense fils a 2,4 GHz.
- **UN-109:** vídeo de curt abast a 2,4 GHz.
- **UN-115:** ús de bandes estretes (434 MHz, 868 MHz...).
- **UN-128:** xarxes sense fils a 5,8 GHz.
- **UN-129:** ús de la banda de 2,4 GHz.
- **UN-130:** ús de la banda de 5,8 GHz.

3) Làser

No és una tecnologia específica, sinó que és una extensió dels infrarojos però per a distàncies més grans.

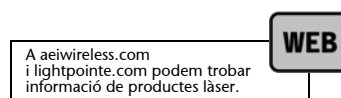
Té les propietats dels infrarojos però amb més avantatges:

- Distàncies més grans (fins a 5 km)
- Velocitats més grans (fins a 2,5 Gbps)

Algunes aplicacions són:

- Connexió d'edificis
- En ponts, per a transmetre dades provinents de càmeres de trànsit
- Enllaços en aeroports

L'inconvenient principal és el preu. Per exemple, el desembre de 2006 els elements necessaris per a fer un enllaç punt a punt d'1 km làser a 1 Gbps tenien un cost aproximat de 15.000 euros.



2. Estàndard 802.11

L'any 1990 l'IEEE va crear el grup de treball 802. A Europa l'ETSI va crear el 1991 el comitè RES10 per definir també els seus estàndards propis.

Els estàndards de l'ETSI s'anomenen *hiper-LAN* (*high performance radio LAN*) i són:

- **Hiper-LAN/1**

És un estàndard del 1996 que obté 23 Mbps treballant a 5,8 GHz. Ha tingut poca acceptació per part dels fabricants.

- **Hiper-LAN/2**

Aquest estàndard, de l'any 2000, obté 54 Mbps treballant a 5,8 GHz. Ha tingut més acceptació que hiper-LAN/1, però tot i això el seu ús és molt minoritari enfront dels estàndards de l'IEEE.

Hi ha altres estàndards com hiper-LAN/3 (*hiperaccess*) i hiper-LAN/4 (*hiperlink*) però no han tingut gaire èxit de mercat.

Els estàndards de l'IEEE són els que realment han arribat al mercat, i són els que estudiarem en aquest capítol. De l'ETSI només hi ha alguns productes hiper-LAN/2 i hi ha un estàndard 802 (el 802.11h) que els vol fer compatibles amb els productes 802 que treballen a la mateixa freqüència (5,8 GHz).

L'objectiu del grup de treball 802.11 de l'IEEE és definir un conjunt de protocols d'accés al medi (MAC) que puguin treballar independentment de la capa física (per exemple, amb l'estàndard Ethernet 802.3). El primer estàndard es va crear el mes de juny de 1997.

2.1. Arquitectura

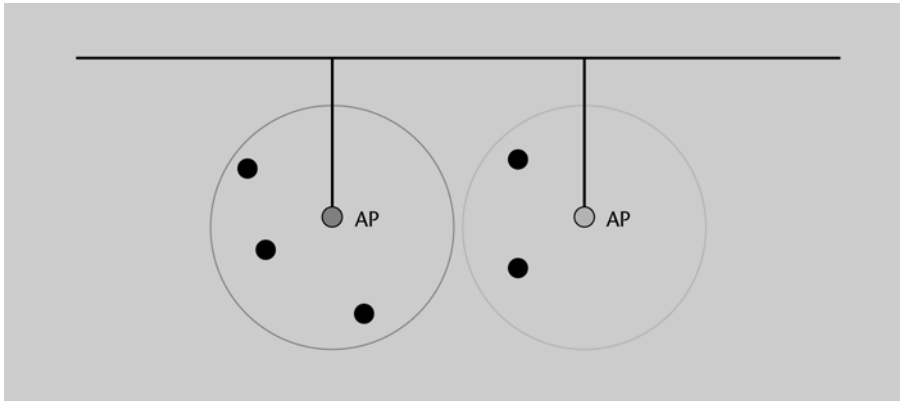
L'arquitectura 802.11 consta d'estacions (figura següent) i una d'elles pot fer funcions d'AP (*access point*). Un AP és una estació que permet l'accés a altres xarxes.

Una BSS (*basic service set*) és el conjunt d'estacions connectades a un mateix AP. Un ESS (*extended service set*) és el conjunt de BSS interconnectades. Dependent de la necessitat es poden definir cobertures disjunctes (per a cobrir més àrea) o encavalcades (per a millorar el servei en una àrea). Si volem que diversos AP formin part de la mateixa xarxa, els posarem el mateix **SSID** (identificador d'ESS o *service set identifier*). La mesura de seguretat més bàsica quan un usuari vol accedir a una xarxa és mirar el seu SSID.

Observació

Les velocitats de què parlem són brutes (inclouen les redundàncies, bits de control...). Les velocitats útils són menors.

Arquitectura 802.11



2.2. Accés al medi

Hi ha tres opcions per a la capa física: DSSS, FHSS i infrarojos. Els estàndards 802.11 permeten que una xarxa d'àrea local sense fils interactuï amb xarxes cablejades o sense fils del mateix tipus.

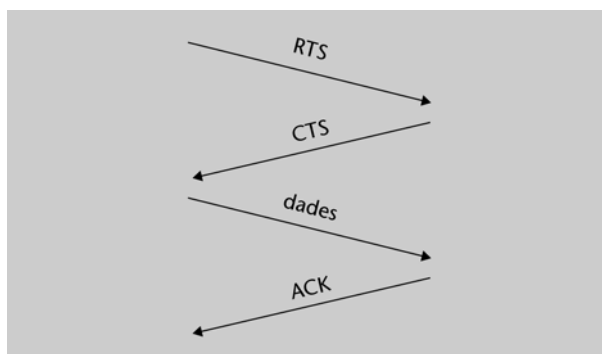
Quan diverses estacions volen accedir al medi s'utilitza la tècnica CSMA/CA per a resoldre les col·lisions.

CSMA (*carrier-sense multiple access*): el mecanisme *carrier-sense* determina si l'energia de senyal en una determinada amplada de banda supera un cert llindar.

Si l'energia és inferior al llindar, vol dir que ningú està transmetent. En aquest cas, enviem una trama. Si l'energia és superior al llindar, esperem un temps de retard (*backoff*) i ho tornem a intentar.

CA (*collision avoidance*): l'estació destinació confirma cada trama que rep (això ho fa enviant un ACK immediatament després de cada trama rebuda). Si l'emissor no rep l'ACK, es retransmetrà la trama.

En xarxes fixes es fa CD (*collision detection*) perquè després d'enviar, el transmissor pot escoltar el medi. Ara no ho podem fer, perquè el marge dinàmic dels senyals en l'aire és gran (podem tenir dispositius ocults per al transmissor però no per al punt d'accés).



Per a suportar serveis que admeten poc retard, s'estableixen nivells de prioritat. Així, els serveis que admeten poc retard tenen un temps més baix de *backoff*.

Mecanisme CSMA/CA del 802.11

Hi ha dos modes de transmissió:

- DCF (*distributed coordination function*). Ve per defecte.
- PCF (*point coordination function*). Hi ha un Access Point, que fa *pollings* a les estacions (tasques de coordinació). S'ha de configurar.

Observació

En una mateixa xarxa podem usar els dos modes alternativament.

Manera de transmetre en un canal:

- 1) Mirem el canal.
- 2) Si està ocupat, el monitoritzem fins que estigui lliure.
- 3) Quan estigui lliure, hi ha tres temps d'espera diferents (tres prioritats):
 - DIFS (*distributed inter-frame space*). Per al mode DCF.
 - PIFS (*point inter-frame space*). Per al mode PCF.
 - SIFS (*short inter-frame space*). El fan servir les estacions que han d'enviar un ACK (tenen prioritat).

DIFS > PIFS > SIFS

L'estàndard defineix els següents temps d'espera (en microsegons)

Estàndard	SIFS	PIFS	DIFS	Ranura**
802.11	10	30	50	20
802.11b	10	30	50	20
802.11a	16	25	34	9
802.11g	10	19 / 30*	28 / 50*	9 / 20*

* Si tenim estacions tipus 802.11b (b i g són compatibles).

** Quan algú col·lideix, espera un cert nombre de ranures.

En l'apartat 2.5 parlarem dels diversos estàndards (b, a, g).

4) Després s'estableix una contenció (*backoff*), que és esperar un nombre de ranures de forma aleatòria. Si algú en té un nombre gran, en posteriors intents se'l prioritzarà.

- Un *backoff* alt és bo per a evitar col·lisions, però pot ser que el canal estigui lliure i totes les estacions en *backoff*.
- Més endavant veurem que aquest *backoff* ens permet especificar diferents QoS.

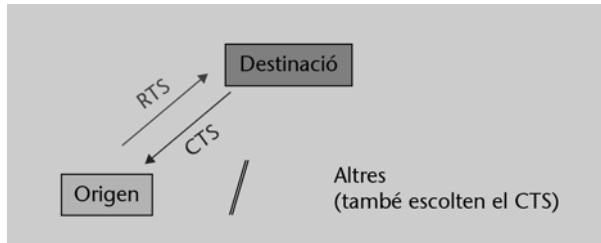
5) Si dues estacions transmeten alhora, no rebran l'ACK, i quan tornin a provar el nombre aleatori serà de 0 a 4, i després de 0 a 15, etc. de forma exponencial, ja que amb el pas del temps tenim més estacions que ho poden intentar (figura següent).

Temps de contenció



Cal un RTS/CTS ja que podem tenir estacions que no es vegin entre elles.

Mecanisme RTS/CTS



- Quan una estació vol transmetre, envia un RTS amb un temps de reserva del canal.
- Quan el punt d'accés rep el RTS, envia un CTS amb el mateix temps de reserva, perquè l'escoltin totes les estacions (figura anterior).
- Mentre que una estació té el canal reservat, les altres, encara que el vegin lliure, no poden transmetre.

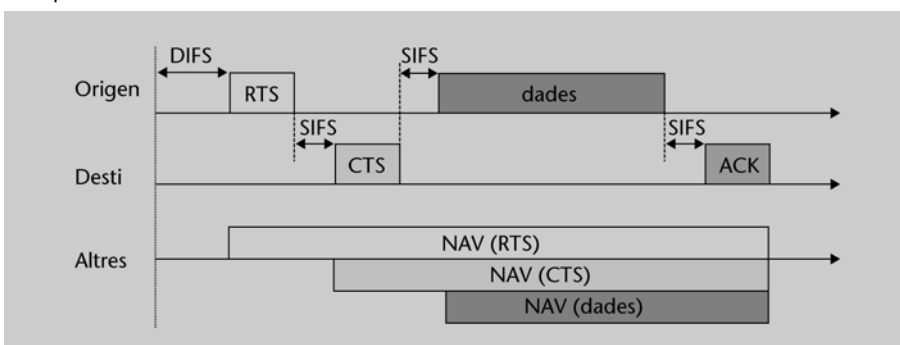
Respecte a la conveniència del mecanisme RTS/CTS, cal tenir en compte que:

- Per a pocs usuaris, RTS/CTS alenteix. Per a moltes màquines, millor posar-lo.
- RTS/CTS va bé per a paquets grans. Aquesta mida de paquet a partir de la qual fem servir RTS/CTS depèn del nombre d'estacions. Així, per exemple, podríem dir que per a deu estacions, tots els paquets superiors a 3.000 bits cal enviar-los en mode RTS/CTS. Això és configurable.

Ja s'ha comentat que dins l'RTS s'insereix la informació de quant de temps tindrà ocupat el canal (missatge NAV, *network allocation vector*).

En la figura següent en tenim un exemple:

Exemple



- Si no hi ha col·lisions, estem deteriorant el rendiment (*throughput*).
- Encara que hi hagi un tercer terminal que no escolti la transmissió del node origen, pot conèixer que el canal serà ocupat si escolta la resposta del node destinació.

El sistema té un mecanisme per a fragmentar paquets, que haurem d'activar (podem configurar a partir de quina mida) si la BER (taxa d'error de bit) és molt alta. Així, si hi ha algun error, només es retransmet el fragment afectat. La següent expressió ens diu la taxa d'error per paquet (PER) en funció de la seva mida (N) i la BER.

$$PER = 1 - (1 - BER)^N$$

Per exemple,

PER	$N = 200$	$N = 2.000$
$BER = 10^{-4}$	2%	20%
$BER = 10^{-5}$	0,2%	2%

Fixem-nos que el mode DCF no garanteix un retard màxim ni una amplada de banda mínima.

El mode PCF gestiona el punt d'accés amb *pollings* a les estacions cada cert temps. L'inconvenient és que si una estació no té res a transmetre, perdem amplada de banda.

Observació

Sol ser habitual una combinació dels dos modes DCF i PCF.

El coordinador divideix el temps en períodes DCF i períodes PCF:

- En el PCF, les estacions posen el NAV al màxim valor. Només responen si són sondejables (cal configurar-ho) i quan li enviem un paquet de permís de transmissió.
- El coordinador fa servir el PIFS.
- Quan ha acabat, envia un CFend (*collision free end*).
- El coordinador pot enviar quatre tipus de trames:
 - Dades (*unicast, multicast o broadcast*). El receptor ha d'enviar un ACK.
 - Sondeig a una estació. L'estació ha d'enviar una trama, encara que sigui buida (trama NULL).
 - Dades i sondeig.
 - CFend.

Sincronització

Cada estació té el seu rellotge, però entre ells es sincronitzen amb el *beacon* (aprox., cada 100-200 ms):

- Si és xarxa amb infraestructura, l'emet l'AP.
- Si és *ad hoc*, ho intenten les estacions. Quan una ho aconsegueix, les altres anul·len els enviaments.

2.3. Estalvi de potència

L'estàndard inclou un protocol que permet deixar el mòbil en estat de repòs; amb això reduïm el consum sense perdre les comunicacions. Aquest procés és configurable i bàsicament consisteix a desconnectar la recepció de tant en tant:

- L'estació es connecta periòdicament per veure si té dades per rebre.
- L'estació pot estar desperta o dormida.
- Cal col·laboració dels emissors per a guardar les dades de les estacions dormides.
- Per a rebre, totes les estacions es desperten alhora.
- Les estacions que tenen dades per transmetre envien una llista de les estacions per a les quals tenen dades en cua (estaran despertes fins a rebre-les; les altres dormiran).
- Xarxes amb infraestructura: en el *beacon* s'envia la llista de receptors (TIM, *traffic indication map*). En trames *broadcast* tenim la DTIM (*delivery TIM*) perquè tots estiguin desperts. Aquest procés el fa l'AP.
- Xarxes *ad hoc*: cada estació ha de guardar les seves dades a les estacions que dormen. Hi ha moments en què envien trames ATIM (*ad hoc TIM*) i els receptors contesten amb ACK ATIM (i es queden desperts).

2.4. Qualitat de servei

Anteriorment hem vist que la finestra de *backoff* ens pot servir per a definir qualitats de servei. Bàsicament hi ha tres tipus d'actuacions que es poden fer:

- 1) Actuacions sobre la finestra de *backoff*:
 - Podem variar els límits de la finestra de *backoff* (donar valors petits a l'usuari més prioritari). Així, cada usuari té un CW_{\min} (valor mínim de la finestra) i un CW_{\max} (valor màxim de la finestra).
 - Podem variar els límits de la finestra només en cas de col·lisió. Així, assignem un paràmetre P a cada usuari de manera que la mida de la finestra en l'intent $n + 1$ dependrà de la mida en l'intent n segons l'expressió:

$$CW_{\max}(n + 1) = 2 \cdot P \cdot CW_{\max}(n)$$

Donarem valors petits de P als usuaris més prioritaris.

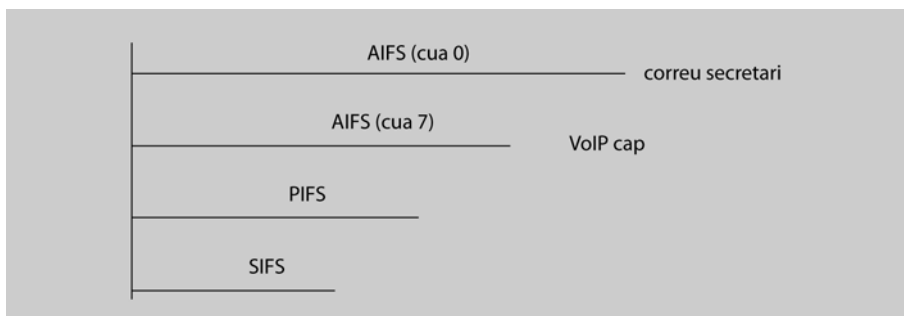
2) Actuacions sobre el DIFS: modificarem el DIFS de manera que el nou DIFS serà l'antic DIFS més un paràmetre R_i , on R_i és petit per a usuaris prioritaris.

3) Actuacions sobre els instants PCF: podem ranurar els instants PCF (en els quals l'AP coordina) de manera que prioritzï certs usuaris.

Hi ha un grup de treball dins el 802.11 que l'any 2004 va definir un estàndard de qualitat de servei anomenat **802.11e** (o *extended DCF*), que consisteix en el següent:

- Cada estació té vuit cues per a ordenar el seu trànsit (figura següent). A cada categoria definim uns AIFS (*arbitration inter-frame space*) i després unes finestres de *backoff* (amb el seu CW_{\min} i CW_{\max}). Si l'AIFS és gran, vol dir que la prioritat és petita.

Cues de trànsit



- Quan una estació accedeix al canal, pot transmetre diversos paquets consecutius durant un temps TXOP (*transmission opportunities*). Cada cua té el seu TXOP límit.
- Defineix l'HCF (*hybrid coordination function*) de manera que si alternem DCF i PCF, en el DCF el punt d'accés pot posar informació en el moment que vulgui.

2.5. Estàndards 802.11

En la següent taula tenim els estàndards 802.11 més importants. Actualment la gran majoria de productes en el mercat europeu són 802.11g.

Estàndard	Any	Tecnologia i banda	Velocitat
802.11	1997	Infraroig	1 o 2 Mbps
		FHSS 2,4 GHz	
		DSSS 2,4 GHz	
802.11b	1999	DSSS 2,4 GHz	11 Mbps
802.11a	1999	OFDM 5,8 GHz	6-54 Mbps
802.11g	2003	OFDM 2,4 GHz	54 Mbps

La modulació OFDM (*orthogonal FDM*) consisteix a repartir les dades en un gran nombre de portadores de baixa velocitat modulades individualment, i permet bona eficiència espectral i resistència als efectes de la propagació multicamí.

Cal tenir present que a distàncies màximes es farà servir la velocitat mínima (i més robusta davant d'errors).

Avui en dia, Wi-Fi abasta tots els estàndards 802.11. Qui supera el protocol de proves Wi-Fi (determinat per la Wi-Fi Alliance) pot dir-se *Wi-Fi*.

Les notes UN-85 i UN-128 del CNAF (Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències) determinen les condicions d'ús de les bandes Wi-Fi:

a) UN-85

- De 2.400 a 2.483,5 MHz.
- Potència fins a 100 mW PIRE.
- Aplicacions d'interiors (o exteriors de curt abast).

b) UN-128

- de 5.150 a 5.350 MHz:
 - Només en interiors.
 - Potència entre 30 mW i 200 mW, dependent de si hi ha control de potència (TPC) i/o selecció dinàmica de freqüència (DFS).
- de 5.470 a 5.725 MHz:
 - Interiors i exteriors.
 - Potència fins a 1 W PIRE (amb TPC i DFS).

A 2,4 GHz hi ha més interferències que a 5,8 GHz. En canvi, com més freqüència, cal visió directa. Per això es permet emetre amb més potència a 5,8 GHz.

L'estàndard 802.11 defineix tretze canals separats 5 MHz en la banda de 2,4 GHz. Un canal 802.11b té una amplada d'11 MHz a dreta i esquerra de la freqüència central (total: **22 MHz**). Per tant, en un mateix espai només podem tenir tres canals sense encavalcament.

Segons l'anterior, en una mateixa àrea podem tenir sense problemes **3 x 11 Mbps**, seleccionant els canals 1, 6 i 11 (aquest últim ve per defecte). Amb un cert encavalcament podríem tenir cinc canals (1, 4, 7, 10, 13). Observem que amb tres canals podem fer una estructura "cel·lular" perquè dues BSS amb la mateixa freqüència no es toquin.

En canvi, l'estàndard 802.11a defineix vuit canals de 25 MHz (poden conviure diferents operadors en una mateixa àrea). En els 25 MHz, i gràcies a OFDM (dividim la banda en 64 portadores ortogonals –en el màxim d'una *sinc*, les altres valen 0–), de les que només fem servir 52) podem transmetre 54 Mbps.

PIRE

PIRE és la potència que radiaria una antena omnidireccional per donar el mateix nivell de potència en el punt d'estudi que l'antena que tenim instal·lada.

L'arquitectura bàsica d'aquests sistemes consta de tres elements:

- Clients
- Punts d'accés (AP)
- Servidor de seguretat (on són les dades dels clients)

La velocitat s'ha de repartir entre les estacions connectades a un mateix AP. Per exemple, un AP de 54 Mbps ha de repartir aquesta velocitat entre els usuaris que s'hi connectin.

Cal anar amb compte, ja que la velocitat real és normalment un 50% de la velocitat teòrica. A més, la velocitat màxima només es dona a prop de l'AP. Si ens allunyem, el sistema la va reduint.

En la següent taula comparem les prestacions dels estàndards b, a i g:

	802.11b	802.11a	802.11g
Cobertura	X		X
Consum elèctric	X		X
Nombre d'AP en una àrea		X	
Velocitat		X	X
Interferències		X	
Compatibilitat amb 802.11b			X

En les següents línies farem una ràpida descripció de les modulacions que fan servir aquests estàndards:

802.11: té dues versions, la DSSS (1 i 2 Mbps) i l'FHSS (1 i 2 Mbps). L'FHSS està obsoleta. La DSSS funciona com el 802.11b d'1 Mbps i 2 Mbps que comentem a continuació.

802.11b: té dues versions, la DSSS (1, 2, 5,5 i 11 Mbps) i l'FHSS (1 i 2 Mbps). L'FHSS està obsoleta. La DSSS es comporta de manera diferent depenent de la velocitat:

- **1 Mbps:** converteix cada bit en una seqüència de Barker d'11 bits (0 = 10111010000; 1 = 01000101111). Fa servir DBPSK [1 Msps amb 1 bit/símbol].
- **2 Mbps:** converteix cada bit en una seqüència de Barker d'11 bits. Fa servir DQPSK (1 Msps amb 2 bits/símbol).
- **5,5 Mbps:** agafem les dades en blocs de 4 bits:
 - Amb els dos últims bits, seleccionem un codi CCK de 8 bits (CCK: *complementary code keying*).
 - Amb els dos primers bits, seleccionem una de les quatre possibles fases per transmetre-ho amb DQPSK (1.375 Msps amb 4 bits/símbol).

sps

sps significa *samples per second* o mostres per segon.

- **11 Mbps:** agafem les dades en blocs de 8 bits:
 - Amb els sis últims bits, seleccionem un codi CCK de 8 bits (tenim un total de 64 codis de 8 bits).
 - Amb els dos primers bits, seleccionem una de les quatre possibles fases per transmetre-ho amb DQPSK (1.375 Msps amb 8 bits/símbol).

802.11a: aplica OFDM sobre cada canal de 20 MHz i el divideix en quaranta-vuit portadores (diem que el símbol OFDM és de 48 bits). Es comporta de manera diferent depenent de la velocitat:

- **6 Mbps:** cada grup de 24 bits es converteix en un símbol OFDM de 48 bits. En cadascun d'aquests canals s'aplica BPSK.
 - BPSK també es fa servir per a obtenir 9 Mbps.
- **12 Mbps:** cada grup de 48 bits es converteix en dos símbols OFDM de 48 bits. A cada portadora, per tant, tenim 2 bits als quals apliquem QPSK.
 - QPSK també es fa servir per a obtenir 18 Mbps.
- **24 Mbps:** cada grup de 96 bits es converteix en quatre símbols OFDM de 48 bits. A cada portadora, per tant, tenim 4 bits als quals apliquem 16QAM.
 - 16QAM també es fa servir per a obtenir 36 o 48 Mbps. Per als 54 Mbps es fa servir 64QAM.

2.6. Estàndard 802.11n

Els estàndards 802.11b i 802.11g només permeten 3 canals sense solapaments i això limita la velocitat màxima que es pot donar en un mateix recinte. Per aquest motiu, el CNAF, des d'abril de 2008, defineix 19 canals de 16,6 MHz, separats 20 MHz (poden conviure diferents operadors en una mateixa àrea). FCC en defineix 23 i Japó 15. Podem usar els 19 canals sense interferències.

En els 16,6 MHz, i gràcies a OFDM, som capaços de transmetre 54 Mbps. Les velocitats poden ser 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 o 54 Mbps depenent de la qualitat de l'enllaç ràdio.

Així,

- Amb l'estàndard *b*, en una mateixa sala com a màxim podem desplegar 3 AP ($3 \times 11 = 33$ Mbps)
- Amb l'estàndard *g*, en una mateixa sala com a màxim podem desplegar 3 AP ($3 \times 54 = 162$ Mbps)

- Amb l'estàndard *a*, en una mateixa sala com a màxim podem desplegar 19 AP ($19 \times 54 = 1.026$ Mbps) i això ja ens permet fer planificacions de xarxa més complexes

L'estàndard 802.11n permetrà encara velocitats majors, concretament fins a 600 Mbps. Aquest estàndard es va publicar el setembre de 2009, i ja hi ha productes que en segueixen un esberrany (p. ex, Buffalo WLI-CB-G300N dona 300 Mbps o l'encaminador Linksys WRT300N). A la figura teniu l'etiqueta que indica que un producte segueix aquest esberrany.

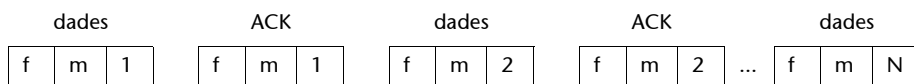


Símbol d'un producte pre-802.11n

Les característiques del 802.11n són les següents:

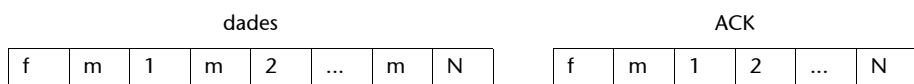
- Usa un OFDM millorat.
- Fa servir *spatial multiplexing*. Transmetem la informació per diverses antenes (on hi havia un únic flux de bits que es transmetien per una única antena ara tindrem fins a 4 fluxos que es transmetran per 4 antenes, i s'augmenta la velocitat). Això també incrementa el consum de potència i per això 802.11n té un mecanisme d'estalvi de potència que fa que usem més d'1 flux només quan sigui necessari.
- Fa servir MIMO. El receptor té fins a quatre antenes i combina les informacions. Encara que usem una sola antena transmissora ens beneficiem de la diversitat, ja que l'únic flux transmès pot ser rebut per les quatre antenes receptores (i l'abast podria ser més gran).
- Els canals no són de 20 MHz sinó de 40 MHz. Això ens permet guanyar velocitat, ja que optimitzem l'espai. Per exemple, si sobre 20 MHz tenim 65 Mbps, sobre 40 MHz s'aconsegueixen 135 Mbps (que és una mica més del doble).
- No transmetem paquet per paquet sinó bloc per bloc (amb un únic ACK per bloc, la qual cosa ens permet guanyar velocitat). Com veiem al gràfic següent, amb aquesta estratègia millorem la velocitat. Així, per exemple, si sense usar aquesta estratègia tenim 54 Mbps (com pot ser el cas del 802.11g), usant-la arribem a 65 Mbps.

Abans:



f: capçalera física; m: capçalera MAC

Ara:



f: capçalera física; m: capçalera MAC

- **Temps d'espera menor (*Inter-frame spacing, IFS, menor*).** Amb això aconseguim una millora aproximada d'un 10%. Per exemple, si sobre 40 MHz tenim 135 Mbps usant l'interval de guarda normal, si usem l'interval reduït aconseguim 150 Mbps.
- **Mode Greenfield.** Aquest mode millora l'eficiència quan només hi ha dispositius *n* (eliminem el suport a dispositius *a*, *b* i *g*).
- **Funciona a 2,4 GHz i 5 GHz.** O sigui, aprofita els 3 canals de 2,4 GHz i els 19 canals de 5 GHz.

Velocitat:

- En 802.11a/g teníem 54 Mbps sobre 20 MHz. O sigui, sobre 40 MHz teòricament tindríem 108 Mbps, tot i que en realitat són 135 Mbps perquè aprofitem espais de guarda.
- Aconseguim uns 15 Mbps suplementaris per les millores que incorpora el 802.11n. Així, tenim 150 Mbps per cada antena transmissora. En un cas extrem, podríem tenir 22 canals a 150 Mbps en una sola sala.
- Aquest valor s'ha de multiplicar pel nombre d'antenes transmissores (el mínim que fixa la Wi-Fi Alliance per a considerar-se 802.11n és 2). Amb 4 antenes surten els 600 Mbps.

A la taula següent tenim una visió de conjunt de les velocitats (en Mbps) que s'han comentat anteriorment:

802.11g	6	9	12	18	24	36	48	54
802.11n 1 flux BW = 20 MHz	6,5	13	19,5	26	39	52	58,5	65
802.11n 1 flux BW = 40 MHz	13,5	27	40,5	54	81	108	121,5	135
802.11n 1 flux BW = 40 MHz IFS petit	15	30	45	60	90	120	135	150
802.11n 2 fluxos BW = 20 MHz	13	26	39	52	78	104	117	130
802.11n 2 fluxos BW = 40 MHz	27	54	81	108	162	216	243	270
802.11n 2 fluxos BW = 40 MHz IFS petit	30	60	90	120	180	240	270	300
802.11n 3 fluxos BW = 20 MHz	19,5	39	58,5	78	117	156	175,5	195
802.11n 3 fluxos BW = 40 MHz	40,5	81	121,5	162	243	324	364,5	405

802.11n 3 fluxos BW = 40 MHz IFS petit	45	90	135	180	270	360	405	450
802.11n 4 fluxos BW = 20 MHz	26	52	78	104	156	208	234	260
802.11n 4 fluxos BW= 40 MHz	54	108	162	216	324	432	486	540
802.11n 4 fluxos BW = 40 MHz IFS petit	60	120	180	240	360	480	540	600

La complexitat dels processos tècnics que incorpora 802.11n ha donat lloc al concepte de MCS (Modulation Coding Scheme). Aquestes sigles inclouen conceptes com la modulació, el número de fluxos espacials i la velocitat de les dades a cada flux. Cal negociar en cada moment quin és el MCS òptim en funció de les condicions de l'enllaç.

L'esborrany de 802.11n especifica 77 MCS diferents. 8 d'aquests (MCS-0 a MCS-7) són obligatoris per als clients i 16 (MCS-0 a MCS-15) per als punts d'accés. La màxima velocitat (600 Mbps) s'aconsegueix amb l'MCS-31 usant modulació 64QAM en un canal de 40 MHz, amb 4 fluxos de dades i treballant amb un espai de guarda (EG) petit (EG = 400 ns). L'estàndard també especifica un espai de guarda més gran (EG = 800 ns) on les velocitats són una mica inferiors.

La taula següent mostra les velocitats que es poden aconseguir amb els MCS-0 a MCS-15 sobre un canal de 40 MHz.

Sobre un canal de 20 MHz les velocitats serien una mica inferiors a la meitat.

Canal	Fluxos	Modulació	Bits per portadora	Velocitat (EG = 800)	Velocitat (EG = 400)
MCS-0	1	BPSK	1	13,5 Mbps	15 Mbps
MCS-1	1	QPSK	2	27 Mbps	30 Mbps
MCS-2	1	QPSK	2	40,5 Mbps	45 Mbps
MCS-3	1	16QAM	4	54 Mbps	60 Mbps
MCS-4	1	16QAM	4	81 Mbps	90 Mbps
MCS-5	1	64QAM	6	108 Mbps	120 Mbps
MCS-6	1	64QAM	6	121,5 Mbps	135 Mbps
MCS-7	1	64QAM	6	135 Mbps	150 Mbps
MCS-8	2	BPSK	1	27 Mbps	30 Mbps
MCS-9	2	QPSK	2	54 Mbps	60 Mbps
MCS-10	2	QPSK	2	81 Mbps	90 Mbps
MCS-11	2	16QAM	4	108 Mbps	120 Mbps
MCS-12	2	16QAM	4	162 Mbps	180 Mbps
MCS-13	2	64QAM	6	216 Mbps	240 Mbps
MCS-14	2	64QAM	6	243 Mbps	270 Mbps
MCS-15	2	64QAM	6	270 Mbps	300 Mbps

Hi ha dos tipus de solucions:

- La més clàssica, consistent a posar punts d'accés "normals" com el Buffalo AG300NH o el Buffalo G300N Nfinity. Els usuaris requeriran PCMCIA del tipus *n* (per exemple, la WL12-CB-G300N) o USB del tipus *n* (per exemple, la UC-G300N).
- Usar uns equips que ja integren diversos punts d'accés. Per exemple, el Xirrus XS4 integra 4 AP o el Xirrus XS8 integra 8 AP. A més, cal afegir la PCMCIA o USB dels usuaris. Aquests productes compactes permeten donar solucions ràpides a instal·lacions amb molts requisits de capacitat.

Consideracions quan es fan dissenys amb 802.11n:

- Si usem tots els canals disponibles, podem arribar a tenir 4 Gbps (27 canals de 150 Mbps). Per tant, és important que la xarxa fixa tingui, almenys, un port Gigabit (se'n recomanen un parell).
- Pot treballar en 2 bandes: 2,4 GHz i 5 GHz. O sigui, que cal protegir les dues bandes (per exemple, amb sensors d'activitat en les dues bandes, per detectar possibles interferències o accessos no desitjats).
- Pel que fa a la propagació, la banda dels 5 GHz és més complicada. Per tant, els càlculs de cobertura s'han de fer a 5 GHz.
- Es recomana usar seguretat WPA2. WEP és molt simple i fàcilment desxifrabable i WPA també és desxifrabable (amb una mica més de temps). En sistemes que funcionen a velocitats elevades, com aquest, és perillós usar sistemes que no canvien les claus, ja que circulen molts paquets per segon i, per tant, un possible intrús disposa de molta informació per a esbrinar les claus.

2.7. Escolta del canal

Cada BSS transmet paquets *beacon* amb informació de xarxa. L'escolta pot ser passiva o activa:

- **Escolta passiva** (escolta de *beacons*):

Quan detectem un *beacon* amb l'SSID que volem, negociem la incorporació.

- **Escolta activa** (els terminals sempre escullen la millor EB):
 - Els terminals envien un *probe* amb l'SSID desitjat a les EB que l'escoltin.
 - Les EB que han escoltat envien un *probe response*. Si no hi ha resposta, formem una nova BSS amb l'SSID (per si s'és el primer).

- El terminal envia un *association request* a la millor.
- L'EB seleccionada ho confirma (*association response*).
- S'informa l'antic punt d'accés pel sistema de distribució cablejat.

Observem que en una itinerància o *roaming*, és el terminal qui decideix quan un punt d'accés no dona prou qualitat.

Hi ha un *inter-access point protocol* (IAPP) que vol millorar la comunicació entre AP:

- per informar altres AP de la presència d'un nou AP.
- per informar un AP que associem a un client seu.

En lloc d'anunciar-ho a tots els AP, ho anunciem a l'*AP manager*. Així, serà aquest *manager* qui rebrà les confirmacions de tots els AP.

2.8. Seguretat

Quan parlem de seguretat, hi ha dos aspectes que hem de considerar: l'**autenticació** i el **xifratge**.

1) Autenticació (control d'accessos):

- Amb clau compartida (*shared key authentication*): totes les estacions d'un BSS l'han coneguda per un canal segur (normalment, de forma manual). No és segur, perquè xifra una resposta coneguda.
- Sistema obert (*open system authentication*): no hi ha contrasenya i només s'indica la intenció d'accedir. És el més senzill (i més insegur).

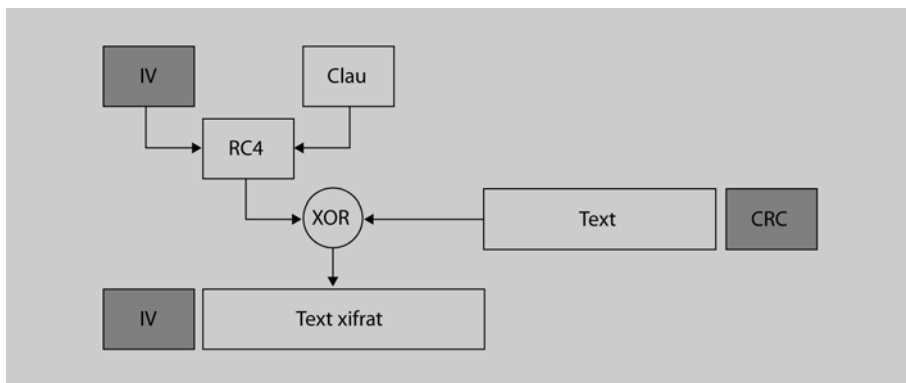
També es pot autenticar fent servir l'adreça de dispositiu (MAC). L'AP tindrà una llista amb les MAC permeses. Però algú ens pot escoltar la MAC.

2) Xifratge (cal tenir en compte que, per defecte, no es xifra):

El mètode de xifratge més bàsic és el WEP, que comentem a continuació. WEP (*wired equivalent privacy*) fa un xifratge de 64 bit (estàndard) o de 128 bits. Com més bits millor, però no es pot augmentar més, perquè si incrementem la longitud, cal més CPU. En WEP:

- La clau és estàtica i simètrica (per tant, no hi ha gestió de claus).
- Es xifra amb RC4 (algorisme criptogràfic simètric).
- Es protegeix la integritat de les dades (MIC, *message integrity code*) amb CRC-32 (el xifratge pretén evitar que es vegin les dades; la integritat pretén evitar que es canviïn les dades durant el camí).

Xifratge WEP



En la figura anterior tenim l'estructura de xifratge en WEP. Les claus WEP són de 40 + 24 bit o 104 + 24 bit, on els 24 bit són el vector d'inicialització (IV). La clau ha de ser coneguda per tothom. Es pot posar manualment o es pot generar automàticament. El CRC és independent de la clau i del IV.

Els mecanismes de seguretat de WEP són molt simples (i insegurs). El WEP+ (WPA, *wireless protected area*), que és compatible amb WEP i va aparèixer el novembre de 2002, incorpora:

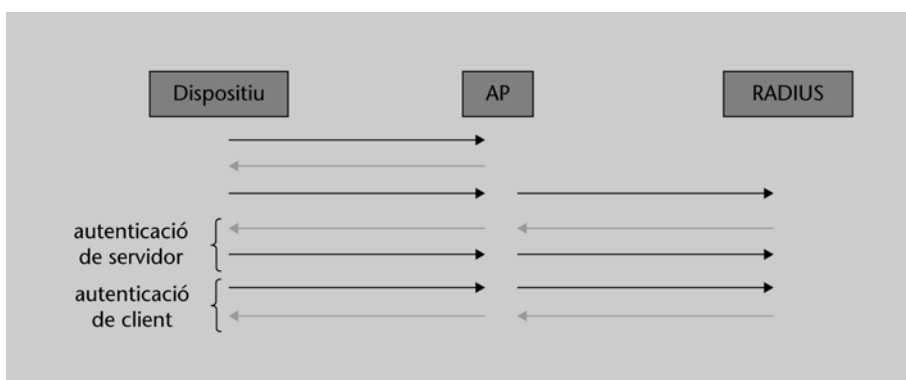
a) Autenticació amb 802.1x + EAP

- Pot fer servir un servidor RADIUS com a servidor d'autenticació (tots els AP demanen l'inici de sessió - contrasenya (*login-password*) a aquest servidor; abans posàvem la contrasenya a tots els AP).

La comunicació entre servidor i AP es fa amb protocols EAP (*extensible authentication protocol*). Alguns protocols EAP existents són TLS, TTLS, LEAP i PEAP.

- L'autenticació (vegeu figura següent) és recíproca entre client i servidor (i a l'inrevés).

Autenticació 802.1x



Si no disposem de servidor, també podem introduir unes claus (PSK, *pre-shared key*) a cada element.

b) Claus dinàmiques (en WEP eren estàtiques; conèixer-ne una implica conèixer-les totes), **gestionades amb el protocol de recàlcul de claus TKIP** (*temporal key integrity protocol*):

- La primera clau és el punt de partida per a les següents.
- Seguim xifrant amb RC4 i una clau de 128 bits.
- Mecanisme d'integritat MIC (també anomenat *Michael*) amb claus de 64 bits. Si hi ha dos errors en un segon, esborra les claus, es dissocia i re-associa (suposa un atac).

També es poden afegir altres mecanismes de seguretat en xarxa, com podria ser una contrasenya per a accedir a certs serveis, etc.

El **802.11i** (també anomenat *WPA2*), aprovat el juny de 2004, es diferencia de WPA en el següent:

- WPA2 fa servir AES (*advanced encryption standard*) per a xifrar, en lloc d'RC4. Les claus poden ser de 128, 192 o 256 bits.
- WPA2 fa servir un mecanisme d'integritat de tipus CCMP.

En la següent taula podem veure de manera esquemàtica les característiques dels tres estàndards de seguretat:

	WEP	WPA	WPA2 o 802.11i
Autenticació	Molt bàsica	802.1x + EAP	802.1x + EAP
Gestió de claus	No n'hi ha (claus estàtiques)	EAP	EAP
Xifratge	RC4	RC4	AES
Integritat	CRC-32	Michael	CCMP

Cal ser conscients que la seguretat total no existeix, però cal aplicar alguns dels mecanismes de seguretat. Encara avui en dia hi ha un percentatge molt alt de xarxes que no apliquen cap protecció.

2.9. Aplicacions

Les aplicacions de les xarxes locals sense fils són múltiples:

- Enllaç entre diferents plantes d'un edifici amb punts d'accés (mode infraestructura). Tenim una gran cobertura i és útil quan el trànsit s'origina o finalitza en xarxes externes a les quals està connectat l'AP.
- Xarxes sense fils independents en una mateixa àrea física (mode *ad hoc*). La cobertura no és molt gran (és determinada per la distància màxima entre dos equips) i és útil quan hi ha moltes transaccions internes.

- Enllaç entre edificis.
- Etc.

En les aplicacions cal tenir en compte que el nombre d'usuaris que pot suportar un punt d'accés depèn del trànsit esperat per usuari. A continuació hi ha algunes recomanacions:

- En una planta industrial en què es treballi amb lectors de codis de barres, cal preveure uns 25 kbps/usuari.
- En un centre de formació en què cada alumne hagi d'accedir a una intranet per veure la documentació en línia, cal preveure uns 300 kbps/usuari.
- En una oficina en què sovint es realitzin transferències de fitxers, cal preveure 1 Mbps/usuari.

Si encavalquem AP per descongestionar una certa àrea, cal separar-los 2-3 metres a causa dels seus filtres no ideals.

L'aïllament teòric entre canals és infinit, però a la pràctica és d'uns 60 dB. Per exemple, si un AP emet 20 dBm en el canal 1, podria ser que un AP pròxim rebí 20 dBm – 60 dB pel seu canal 11.

Avui en dia, les tecnologies de xarxes locals sense fils tenen molts avantatges per a les empreses:

- Permeten que el personal no tingui un lloc físic assignat, cosa que facilita el treball en empreses on el personal es mou de seu.
- Redueixen els problemes amb els connectors, cables...
- Permeten l'accés a tots els recursos (impressores...).
- Les reunions són més eficaces (tothom pot mostrar les seves informacions...).
- Podem estar amb connexió permanent al correu electrònic.
- Com hi ha un estàndard, si un equip s'espatlla, és fàcilment substituïble.
- Els dispositius són *Plug & Play*.
- Accés a la xarxa en llocs públics com aeroports, hotels...
- Permet la comunicació de dades entre elements mòbils (lectors de codis de barres en un magatzem, comandes a la cuina en un restaurant...).

- Facilita la instal·lació de càmeres de seguretat.

Tot i treballar en bandes lliures, es pot fer negoci amb aquests sistemes, oferint a l'usuari una determinada qualitat de servei.

També cal destacar les comunitats sense fils o *wireless*, que són grups tenen com a objectiu compartir les connexions sense fils. Hi ha molts llocs on aquests espais estan indicats amb una retolació especial.

Les xarxes sense fils apareixen com a resposta a la necessitat de tenir connexió a xarxa en qualsevol lloc. Com que a gairebé tots els llocs hi ha xarxa elèctrica, es pot aprofitar la xarxa elèctrica per a accedir a xarxes de dades? La resposta és afirmativa, amb la tecnologia PLC (*power line communication*).

Fon

Cal destacar el moviment Fon (comunitat mundial, tipus "planeta WiFi"): <http://es.fon.com>.

PLC

Hi ha productes i experiències amb PLC. Podem trobar més informació a www.ovislinkcorp.es

3. Xarxes metropolitanes sense fils

En l'apartat anterior hem parlat de les xarxes d'abast local. En aquest apartat parlarem de les xarxes metropolitanes sense fils, les quals donen cobertura a distàncies d'uns quants quilòmetres, que poden correspondre a una ciutat o metròpoli, i d'aquí ve el seu nom.

Inicialment, aquestes xarxes es feien amb la tecnologia LMDS (no hi havia estàndards), però en els últims anys han aparegut estàndards com el 802.16 que han afavorit el seu ràpid creixement.

3.1. LMDS (*local multipoint distribution service*)

LMDS és una tecnologia de comunicacions sense fils de banda ampla que treballa a 26-28 GHz. Treballar a freqüències tan elevades permet disposar de molta banda freqüencial (molta capacitat), però tenim un abast menor (ja sabem pel mòdul "Comunicacions sense fils" que com més freqüència, més pèrdues). També hi ha un LMDS a freqüències més baixes (3,5 GHz), anomenat *WLL* (*wireless local loop*).

El significat d'LMDS és:

L [*local*]: poc abast degut a les elevades freqüències.
M [*multipoint*]: punt a multipunt (punt a punt d'abonat a base).
D [*distribution*]: distribució de senyals.
S [*service*]: servei.

A grans trets, un sistema LMDS és un conjunt d'estacions base interconnectades entre elles que donen servei *full-duplex* a unes ubicacions d'usuari que tenen en visió directa. Com que les estacions base donen cobertura a zones molt delimitades, és una tecnologia molt útil per a serveis interactius (vídeo per en-càrrec, videoconferència...) en llocs on hi hagi una alta densitat d'usuaris (fins a 80.000 abonats per base). També és de gran utilitat per a canals locals de televisió que adaptin programació i publicitat a les característiques del públic a qui donen servei.

Com s'ha comentat anteriorment, a 26-28 GHz tenim molta capacitat però hi ha inconvenients:

- Les ones no travessen obstacles, i es necessita visió directa (3-5 km). Com més freqüència, tindrem menys abast.

L'abast també depèn de la disponibilitat de l'enllaç desitjada. Per exemple, a 26-28 GHz podem arribar a 14 km amb una disponibilitat del 99,9%, però només podem arribar a 2,5 km si la disponibilitat desitjada és el 99,999%.

Disponibilitat

Disponibilitat és el percentatge de temps en què l'enllaç funciona correctament. Per exemple, una disponibilitat del 99,9% equival a 8 hores/any d'inactivitat de l'enllaç.

- Quan plou, cal augmentar la potència de transmissió de les bases (vam veure en el mòdul 1 que a aquestes freqüències les gotes d'aigua són un obstacle).
- També cal considerar la humitat atmosfèrica.

Per exemple, a 26-28 GHz, per un enllaç amb un 99,99% de disponibilitat podem arribar a 5 km en una àrea seca com la ciutat de Denver però només a 3 km en una ciutat humida com Miami.

L'any 2001, l'Estat espanyol va atorgar llicències d'LMDS en les bandes de 26 GHz i 3,5 GHz. Els operadors que disposaven de llicència a 3,5 GHz no podien donar molta amplada de banda però l'abast era més gran (requerien menys estacions base i, per tant, els serveis eren més econòmics). Els operadors de 26 GHz podien oferir una gran amplada de banda però requerien més estacions base (i aquesta inversió la repercutien en les tarifes).

La Llei de serveis de la societat de la informació (LSSI) va representar un gran impuls per a la tecnologia LMDS. Aquesta llei, de juny de 2002, preveia que tots els ciutadans poguessin accedir a Internet (fins llavors, només la telefonia era un servei universal). Les 200.000 línies que disposaven del servei TRAC (telefonia rural d'accés cel·lular) no podien gaudir-ne, per la qual cosa el Govern va encarregar a Telefónica que fes un pla per donar aquest servei. La major part de les línies TRAC es van substituir per enllaços LMDS (i, de manera més minoritària, amb accés a través de xarxes de gran abast com GSM/GPRS i a través de satèl·lit).

Per exemple, l'operadora Neo va donar el servei TRAC a Castella-Lleó i l'operadora Iberbanda ho va fer a les províncies de Lleida i Tarragona.

Operadors

Podem veure els webs d'alguns d'aquests operadors: neo.es, iberbanda.es, basacom.com.

TRAC

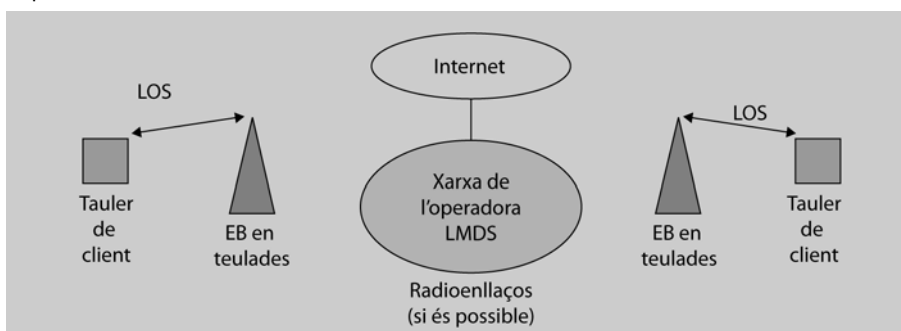
TRAC és un servei per a donar telefonia als llocs on no està justificat econòmicament arribar amb cables telefònics (per exemple una masia aïllada, on el poble més proper estigui a 10 km).

Una empresa o particular que vulgui contractar LMDS ha de fer el següent:

- 1) Escollir operadora.
- 2) Veure si la seva població té cobertura (en els webs de les operadores ho solen dir).
- 3) Veure si la seva empresa té visió directa amb l'estació base LMDS. Això ho fan uns tècnics que es desplacen a l'empresa a verificar-ho.
- 4) Aconseguir un permís d'instal·lació del propietari de l'edifici.

Com veiem en la figura següent, l'abonat es connecta amb el seu equip d'usuari a l'estació base de l'operadora (que ha de tenir en visió directa). Les diverses estacions base de l'operadora estan connectades a la xarxa global (Internet). La instal·lació és molt ràpida i això fa que sigui una tecnologia molt adient quan volem contractar amplada de banda per a esdeveniments especials (*ciberparties*, *traspàs de dades en empreses...*).

Arquitectura LMDS



3.2. Estàndard 802.16

La norma IEEE 802.16 (*wireless metropolitan area networks*), publicada el desembre de 2001, va servir per a fomentar l'operabilitat entre els sistemes LMDS, ja que defineix un estàndard per a xarxes metropolitanes (LMDS era una tecnologia propietària, no un estàndard).

El 2001,...

... abans de l'aparició dels estàndards, es va crear el fòrum WiMAX (www.wimaxforum.org).

En les freqüències del 802.16 (entre 10 GHz i 66 GHz), cal visió directa. El gener de 2003 va aparèixer el 802.16a, que treballava entre 2 i 11 GHz. Com que la freqüència és menor, de vegades podem tenir cobertura amb visió directa parcial. Aquest estàndard també s'anomena *WiMAX* (o **802-16-2004**).

El novembre de 2005 va aparèixer el 802.16e (o **802.16-2005**), que treballa entre 2 i 6 GHz i permet mobilitat de terminals fins a 150 km/h.

WiMAX està pensat per a reduir el buit *–gap–* digital que limita la difusió d'informació de banda ampla en zones de baixa densitat. Wi-Fi no podia fer això perquè, entre d'altres:

- Té un accés al medi poc eficient (en Wi-Fi, si un usuari vol transmetre mentre ho fa un altre, s'ha d'esperar). No permet qualitat de servei (tret que es desenvolupi el 802.11e).
- Només està pensat per a bandes lliures (ens poden interferir).
- Àmbit reduït (local).

Veurem les **principals característiques de WiMAX**, que el fan apropiat per a una xarxa metropolitana:

- **Modulació adaptativa.** Si el canal té un bon comportament (poques pèrdues), la velocitat augmenta perquè fem servir una modulació que porta més bits en cada símbol. Per exemple, si la relació senyal-soroll (SNR) és de 6 dB, fem servir BPSK, però si la SNR arriba a 9 dB, llavors fem servir QPSK.
- **Banda freqüencial.** Es pot treballar en banda lliure a 5,4 GHz, però amb poca potència (poca cobertura) i amb visió directa. Però també hi ha una banda llicenciada a 3,5 GHz on no és imprescindible la visió directa.
- **Elements.** De manera similar a les unitats d'abonament i als punts d'accés Wi-Fi, aquí tenim estacions base (BS o BSU, *base station unit*) i unitats d'usuari (CPE o SU, *subscriber unit*). En realitat, podríem dir que hi ha 3 tipus de productes:
 - BSU (estació base).
 - CPE exterior
 - CPE interior (que pot ser de sobretaula o tipus USB)

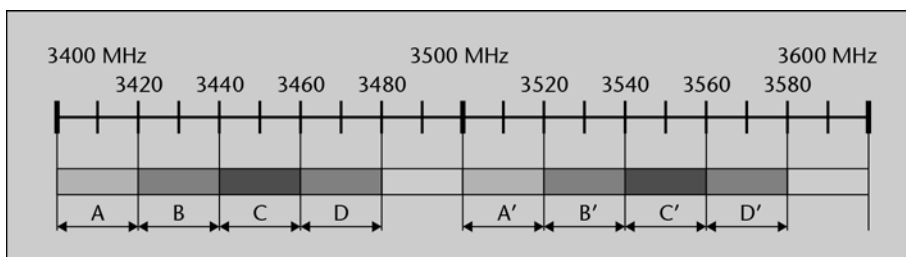
Els guanys típics de les BSU i els CPE són entre 16 i 24 dB. Habitualment, si un CPE té molt guany haurà de ser gran, cosa que pot no interessar en els CPE interiors.

Les potències típiques de transmissió són 20-30 dBm.

Les sensibilitats (potència rebuda mínima necessària per a funcionar) solen ser d'uns -90 dBm, però amb nivells tan petits de potència rebuda la velocitat també és petita. Amb -70 dBm normalment tindrem màxima velocitat.

A l'hora de seleccionar un element hem de tenir en compte la freqüència de treball. A Espanya, el Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències (CNAF) defineix dues normes:

1) **UN-107 (3.400-3.600 MHz):** enllaços punt a punt en tot el territori nacional atorgats per concurs (són les 4 llicències actuals).



2) **UN-128 (5.470-5.725 MHz):** enllaços interiors i exteriors fins a 1W PIRE sense llicència però amb necessitat de constituir-se com a operador davant la Comissió del Mercat de les Telecomunicacions (CMT).

A curt termini això canviarà, ja que l'Estat està pensant a habilitar una nova banda entorn dels 2,6 GHz.

• **Perfils.** Se'n defineixen cinc:

- SC (*single carrier*): entre 10 i 66 GHz, amb llicència i visió directa (LOS) per a fer enllaços punt a punt (PaP).
- SCa: entre 2 i 11 GHz, amb llicència i LOS per a fer enllaços PaP.
- OFDM: fa servir FFT de 256 punts per a tenir enllaços punt-multipunt (PmP) amb llicència sense necessitat de visió directe (NLOS).
- OFDMA: fa servir FFT de fins a 2.048 punts per a tenir enllaços punt-multipunt (PmP) amb llicència sense necessitat de visió directe (NLOS).
- HUMAN: abasta els tres perfils anteriors però en banda lliure.

SC

En SC cal transmetre els símbols consecutivament. En OFDM cada símbol va en una portadora.

OFDMA

OFDMA és un OFDM que millora la transmissió en entorns sorollosos, gràcies a la creació de subcanals en les portadores.

- **Antenes.** Pot fer servir antenes adaptatives que controlen el feix en la direcció de les CPE.
- **Diversitat.** En recepció fa servir diversitat MRC (vegeu el mòdul 1). En transmissió també fa servir dues antenes (si en l'instant t es transmet la informació X en l'antena 1 i Y en l'antena 2, en l'instant $t + 1$ es transmet Y en l'antena 1 i X en la 2).
- **Selecció dinàmica de freqüència (DFS).** Si detecta interferències, ha de canviar de freqüència (obligatori si es treballa en banda lliure, per a evitar interferir els radars).
- **Permet qualitat de servei (QoS).** Cada trama és per a un CPE. Com que WiMAX està orientat a la connexió, permet QoS. Els enllaços ascendent i descendent poden ser asimètrics, però en la mateixa trama (en mode TDD). Es defineixen cinc tipus de QoS:
 - UGS (*unsolicited grant service*): cada usuari té la seva ranura reservada. Tindrem velocitat fixa i no haurem de demanar el canal. Una aplicació és la veu sobre IP sense suprimir silencis (VoIP).
 - rtPS (*real-time polling service*): en aquest cas l'usuari va dient el que necessita i la xarxa li concedeix (dins uns límits). És d'utilitat, per exemple, en televisió per IP.
 - nrtPS (*non real-time polling service*): les dades poden tenir un cert retard. Per exemple, si fem transferència de fitxers (FTP).
 - BE (*best effort*): és el cas de navegació per Internet.
 - ertPS (*extended real-time polling service*) [només en el 802.16-2005]: No fa una reserva contínua de tràfic sinó que agafa el millor d'UGS i d'rtPS. És ideal per a tràfic en temps real amb velocitat variable (VoIP) i supressió de silencis.

Observació

En un servei orientat a la connexió, és possible garantir recursos a les connexions.

Topologies de xarxa

- **PaP:** podem aconseguir enllaços punt a punt entre 20 Mbps i 300 Mbps a distàncies de 2 km (visió directa). Una aplicació d'aquesta topologia és alimentar enllaços PmP.
- **PmP:** en enllaços punt a multipunt disposem d'antenes sectorials a la BS (en l'enllaç ascendent) on cada sector apunta a una unitat d'usuari. Les unitats d'usuari disposen d'antenes directives.

- **Mesh:** com el seu nom indica, en una estructura mallada hi ha diverses BS cobrint una zona, de tal manera que la comunicació entre un CPE i una BS llunyana es pot fer a través de salts entre BS intermèdies.

Si ens plantegem la compra d'equips 802.16, cal fixar-se en el següent:

- **Temperatura de treball dels equips:** que sigui adient a la temperatura del lloc on els volem ubicar.
- **Subministrament elèctric:** valorar si l'alimentació es fa sobre el mateix cable de dades (PoE, *power over Ethernet*) i si la font d'alimentació és de bona qualitat.
- **Indicador d'alineació:** verificar que les antenes disposen d'indicadors acústics per a indicar que l'enllaç està alineat. De vegades els indicadors visuals no són adequats (especialment si hi ha molta llum exterior).
- **Inclinacions:** verificar que l'antena disposa de PAN (possibilitat de canviar la seva orientació a dreta i esquerra) i TILT (ídem en vertical i horitzontal). Aquesta última és especialment interessant en enllaços llargs, ja que per efecte de la curvatura terrestre a partir de 14 km ja s'ha d'inclinar cap avall.
- **Garantia:** és un valor afegit que els equips siguin de tipus *carrier class*. Això significa que són equips robustos (admeten ampliacions, disposen de fonts d'alimentació redundants...) i són emprats habitualment pels mateixos operadors.
- **Geometria de l'enllaç:** es recomana deixar lliure el 60% del radi de la primera zona de Fresnel (vegeu l'apartat 5.2 del mòdul didàctic 1). Si hi ha obstacles pel camí, ens veurem obligats a elevar les antenes.

En els últims anys els preus de les estacions base estan entorn dels 3.000 euros o per sobre. Les principals aplicacions són enllaços fixos punt a punt (connexió entre dos pobles petits propers) i enllaços fixos punt a multipunt (Internet rural). Observem que no és un sistema pensat per a multipunt a punt (connexió de càmeres de seguretat a un centre de control). Una aplicació molt interessant és per desplegaments d'emergència (en cas d'una catàstrofe, les infraestructures permanents es solen danyar o col·lapsar; amb WiMAX es podria crear una xarxa per als serveis d'emergència de manera molt ràpida).

De manera paral·lela, hi ha l'estàndard 802.20 (o MBWA, *mobile broadband wireless access*). Aquest, està impulsat per la companyia Qualcomm i promet mobilitat de terminals fins a 250 km/h treballant a 2,4 GHz.

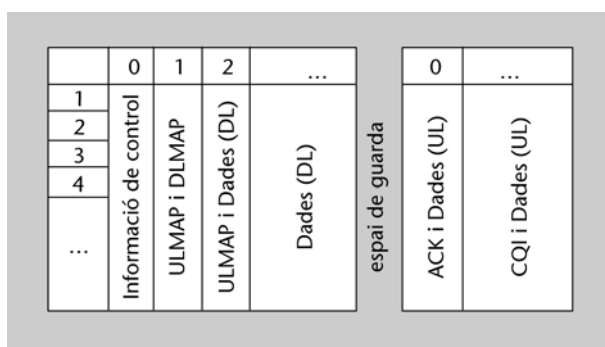
La certificació dels productes WiMAX està resultant bastant lenta. D'això se n'encarrega el consorci WiMAX, que a l'estil de Wi-Fi certificarà quins productes compleixen l'estàndard.

El desembre de 2006 no hi havia productes 802.16e certificats, però ja hi havia productes en el mercat. Per exemple, al Japó hi havia enllaços en funcionament.

L'estàndard 802.16e (WiMAX en mobilitat) ofereix 63 Mbps en l'enllaç descendent (DL) i 28 Mbps en l'ascendent (UL) sobre 10 MHz. La latència és inferior a 50 ms. Pot treballar en amplades de banda entre 1,25 i 20 MHz i usa OFDM.

Els recursos estan disponibles en símbols OFDM en el domini del temps i en subportadores en el domini de la freqüència. Aquests recursos s'organitzen en subcanals per a col·locar els diversos usuaris.

A mode d'exemple, veiem a la figura següent la trama OFDMA per al mode TDD.



Observem com a la trama es diferencia la part de l'enllaç descendent (a l'esquerra) i la de l'enllaç ascendent (a la dreta), separades per un espai de guarda. En els símbols 1 i 2 de la subtrama descendent tenim l'ULMAP i el DLMAP. En aquests camps es descriu la disposició dels subcanals que vindran a continuació. En diversos punts de la subtrama ascendent tenim el CQI i l'ACK. En aquests camps és on el mòbil informa de la qualitat de l'enllaç i dona els ACK del HARQ.

A partir de desembre de 2007 es va iniciar la certificació de productes per part del WiMAX Forum.

Hem parlat de 802.16a (802.16-2004) i 802.16e (802.16-2005) per separat. L'any 2009 va aparèixer el 802.16-2009, que engloba els dos estàndards.

El desenvolupament de l'estàndard 802.16m vol competir amb el 802.20, donant més velocitats als enllaços. De manera simplificada, podríem dir que en xarxes WiMAX el 802.16m és l'evolució del 802.16e, de la mateixa manera que en xarxes Wi-Fi el 802.11n és l'evolució del 802.11g.

Activitats

1. Una petita empresa situada en una població de 20.000 habitants disposa d'una oficina on treballen vuit persones connectades en xarxa. L'oficina disposa d'una línia ADSL a través de la qual accedeixen a Internet (bàsicament per mirar el correu electrònic) des de qualsevol de les màquines.

Aquesta empresa ha llogat un local situat a 100 metres, en una planta baixa, i al mateix carrer. En aquest local treballaran tres persones i tindran contractada una línia telefònica només per a veu. Es vol que les tres persones puguin treballar en xarxa (que es vegin les seves màquines entre elles), però també es vol que vegin les persones de l'altra oficina. També han de poder accedir a Internet, aprofitant la línia de la seu central.

No es vol fer cap instal·lació permanent al local llogat, i es valora la conveniència que els tres ordinadors de sobretaula s'interconnectin a través de targetes sense fils amb un punt d'accés.

Us demanem que proposeu una solució al problema plantejat i indiqueu el perquè de les decisions que preneu, els equips que cal comprar i el seu import. No inclogueu les despeses d'enginyeria (valoreu només el cost del material).

Exercicis d'autoavaluació

1. L'estàndard IEEE 802.11 de xarxes locals sense fils ha escollit la tècnica CSMA/CA per a resoldre les col·lisions. Expliqueu breument en què consisteix aquesta tècnica i justifiqueu per què no es pot aplicar la tècnica CSMA/CD que utilitza Ethernet.

2. LMDS és una tecnologia sense fils que facilita l'accés a altres xarxes. El bucle telefònic d'abonat tradicional també ens permet l'accés a altres xarxes. Quins avantatges té un accés LMDS respecte a un accés de bucle telefònic tradicional des del punt de vista d'operador?

3. Quins són els passos que ha de seguir un empresari o un particular que vulgui contractar el servei LMDS a una de les operadores que l'ofereixen a Espanya?

4. El primer estàndard LMDS (802.16) funciona en la banda dels 10-66 GHz. Una nova versió d'aquest estàndard (802.16a) funciona en la banda dels 2-6 GHz. Expliqueu els principals avantatges d'aquest nou estàndard respecte al primer estàndard.

5. Expliqueu com funciona l'estalvi de potència en les xarxes locals sense fils (WLAN) configurades amb infraestructura, i indiqueu què és i quin paper té el TIM (*traffic indication map*) en aquest procés d'estalvi de potència.

6. En un entorn d'interiors es disposa d'un punt d'accés Wi-Fi. Com que es preveu un augment del nombre d'usuaris es decideix posar un altre punt d'accés al mateix lloc (sintonitzat a un altre canal) per a doblar la capacitat. Per quin motiu és recomanable separar uns quants metres aquests dos punts d'accés?

7. A Espanya les condicions d'ús de les bandes lliures de 2,4 GHz i 5,8 GHz estan descrites en les normes UN-85 i UN-128, respectivament. En el cas de la primera, la potència màxima són 100 mW, mentre que en el cas de la segona, la potència pot arribar a 1 W, amb certes restriccions. Per quins motius l'Estat permet que a la banda de 5,8 GHz s'emeti amb més potència que a la de 2,4 GHz?

8. Què és una xarxa 802.16 amb topologia *mesh*?

Solucionari

1. El CSMA determina si l'energia de senyal en una determinada amplada de banda supera un cert llindar. Si l'energia és inferior al llindar, el transmissor podrà enviar dades (abans enviarà una trama o *frame*). Si no, esperarà un temps aleatori. El CA fa que l'estació destinació torni un ACK després de cada trama rebut (si no el torna, es retransmet). Ethernet fa servir CD (*colision detection*), ja que després d'enviar pot escoltar el medi i veure si hi ha hagut col·lisió. Ara no podem escoltar el medi, ja que en l'aire el marge dinàmic dels senyals és gran.

2. Alguns dels avantatges són:

- LMDS té més amplada de banda i, per tant, permet ubicar més informació.
- LMDS permet fàcilment connexions asimètriques, que són adequades per a serveis interactius.
- LMDS té un temps de desplegament més petit (no cal cablejar) i requereix menys inversió.

3. Per a contractar LMDS, primer s'ha de mirar si alguna empresa amb llicència LMDS ofereix cobertura. En cas afirmatiu, cal que vinguin uns tècnics de l'empresa per verificar que la cobertura és correcta (verificar que hi ha visió directa amb l'estació LMDS) i tenir permís per a instal·lar l'antena que ens comunicarà amb l'estació base d'ells.

4. El primer estàndard treballa a unes freqüències tan elevades que cal visió directa. Això força que emissor i receptor estiguin en posicions fixes (típicament, en teulades d'edificis). Amb el nou estàndard, es permet un cert moviment d'emissor i/o receptor (la visió directa no és del tot necessària) i a més es pot tenir més abast (com menys freqüència, menys pèrdues de propagació).

5. Aquest estalvi de potència es basa en el fet que les estacions poden estar despertes o dormides. Cada cert temps, totes es desperten alhora (cal sincronització) i el punt d'accés (parlem de la configuració amb infraestructura) envia en el *beacon* una llista dels receptors per als quals té informació. Aquesta llista és el TIM i els receptors que hi figurin no es podran tornar a dormir fins a rebre la informació que el punt d'accés té per a ells.

6. Es recomana separar els punts d'accés perquè els filtres no són ideals, i es colaria informació no volguda. Quan diem que un punt d'accés emet en un cert canal, cal tenir present que també té unes certes emissions en els canals adjacents. Així, si un punt d'accés emet en el canal 1 i un altre punt d'accés emet en el canal 2, si estan molt propers, el primer rebrà pel canal 1 una part de la informació que l'altre punt d'accés està emetent pel canal 2, ja que al costat té un emissor en el canal 2 que li està introduint interferències de canal adjacent. Deixant una separació, l'efecte queda bastant reduït, ja que amb la distància aquestes interferències queden ràpidament atenuades.

7. El principal motiu és que a altes freqüències la propagació és més difícil, i per a arribar a una certa distància, cal més potència si ho fem a 5,8 GHz que si ho fem a 2,4 GHz. Un altre motiu és que a la banda de 5,8 GHz hi ha menys serveis en funcionament i, per tant, podem emetre a més potència sense que altres serveis es vegin afectats. Val a dir que només es permet emetre a 1 W si fem servir tècniques de control de potència i selecció dinàmica de freqüència (és a dir, garantim un ús racional de l'espectre).

8. Una xarxa 802.16 amb topologia *mesh* és aquella en què per a anar d'un punt a un altre no hi ha un camí preestablert, sinó que podem anar fent salts entre diverses estacions.

Glossari

ACK *f* Conformitat o reconeixement positiu.

AES *m* Servei de xifratge avançat.

AIFS *m* Temps variable que permet assignar prioritats en l'estàndard 802.11.

AP *m* Punt d'accés.

ATIM *f* Llista de receptors per als quals tenim dades per enviar, en xarxes *ad hoc* dins l'estàndard 802.11.

BE *m* El millor possible.
en best effort

BER *f* Taxa d'error de bit.

best effort *m* Vegeu BE.

BPSK *f* Modulació de fase de dos estats.

BS *f* Estació base.

BSS *m* Conjunt d'estacions base connectades a un mateix punt d'accés en WiMAX.

CA *f* Prevenció de col·lisions en accessos multiusuari.

CCK *m* Tipus de codi complementari que, entre d'altres, es fa servir en l'estàndard 802.11.

CD *f* Detecció de col·lisions en accessos multiusuari.

CFend *m* Final del període lliure de col·lisions en l'estàndard 802.11.

clear to send *f* Vegeu CTS.

CNAF *m* Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències a l'Estat espanyol.

CPE *f* Unitat d'usuari en WiMAX.

CSMA *m* Mecanisme que determina l'energia de senyal dins una certa amplada de banda.

CTS *f* Resposta que dona un equip a un altre equip que li ha comunicat que està preparat per a transmetre.
en clear to send

DCF *f* Funció de coordinació distribuïda en l'estàndard 802.11.

DECT *m* Estàndard de tercera generació de telefonia sense fils.

DFS *f* Selecció dinàmica de freqüència.

DIFS *m* Temps d'espera que fa servir l'estàndard 802.11 quan treballa en mode distribuït.

DQPSK *f* Modulació QPSK que codifica la diferència de fase entre estats.

DSSS *m* Sistema d'espectre eixamplat de seqüència directa.

DTIM *f* Llista de receptors per als que tenim dades per enviar, en trames *broadcast* dins l'estàndard 802.11.

EAP *m* Un dels protocols que permet la comunicació entre un punt d'accés i un servidor d'autenticació en xarxes 802.11.

ESS *m* Conjunt de BSS interconnectades en l'estàndard 802.11.

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

FHSS *m* Sistema d'espectre eixamplat que usa salts en freqüència.

GSM/GPRS *m* Estàndard de telefonia mòbil de segona generació que permet transmissió de dades.

HCF *m* Mode de coordinació híbrid que s'usa en l'estàndard 802.11 per a combinar els modes centralitzat i distribuït.

IEEE *m* Institut d'Estàndards Electrònics a escala internacional.

ISM *f* Banda freqüencial pensada per a aplicacions industrials, mèdiques i científiques en què no es necessita llicència per a emetre, sota certes condicions.

LAN *f* Xarxa d'àrea local.

LED *m* Díode emissor de llum.

LMDS *f* Tecnologia de comunicacions local de punt a multipunt.

LSSI *f* Llei de serveis de la societat de la informació.

MAC *f* Capa d'accés al medi.

MBWA *m* *Mobile broadband wireless access* (estàndard 802.20).

- MIC** *m* Mecanisme que permet protegir la integritat de les dades.
- MRC** *f* Combinació de màxim guany (combinació òptima de senyals).
- NAV** *m* Missatge que, en l'estàndard 802.11, ens indica el temps que el canal estarà ocupat.
- OFDM/OFDMA** *f* Tècnica de modulació (OFDM) o accés (OFDMA) per divisió en freqüència on el senyal es transmet simultàniament en diverses freqüències ortogonals entre elles.
- PaP** *m* Punt a punt.
- PCF** *f* Funció de coordinació centralitzada en l'estàndard 802.11.
- PER** *f* Taxa d'error de paquet.
- PIFS** *m* Temps d'espera que fa servir l'estàndard 802.11 quan treballa en mode centralitzat.
- PIRE** *f* Potència isotròpica radiada equivalent.
- PLC** *f* Tecnologia que permet comunicacions de dades a través de la xarxa elèctrica.
- PmP** *m* Punt a multipunt.
- PoE** *m* Sistema per a subministrar energia elèctrica a dispositius sobre el mateix cable de dades.
en power over Ethernet
- power over Ethernet** *m* Vegeu PoE.
- QoS** *f* Qualitat de servei.
- QPSK** *f* Modulació de fase en quadratura.
- request to send** *f* Vegeu RTS.
- rtPS** *f* Petició de recursos en temps real.
- RTS** *f* Petició de transmissió d'un equip.
en request to send
- SC** *f* Portadora única.
- SIFS** *m* Temps d'espera que, en l'estàndard 802.11, fan servir les estacions que volen enviar un ACK.
- SNR** *f* Relació senyal-soroll.
- SSID** *m* Identificador d'un ESS.
- TDD** *m* Duplexat en temps.
- TIM** *f* Llista de receptors per als quals tenim dades per enviar, dins l'estàndard 802.11.
- TPC** *m* Control de potència.
- TRAC** *f* Telefonia rural d'accés cel·lular.
- TXOP** *m* Temps durant el qual una estació pot transmetre dades al canal, en l'estàndard 802.11.
- UGS** *f* Reserva de recursos prefixada.
- UN** *f* Nota l'aplicació dins el CNAF.
- WEP** *m* És un dels primers mecanismes de seguretat de l'estàndard 802.11.
- WLAN** *f* Xarxa d'àrea local sense fils.
- WLL** *m* Bucle d'abonat via ràdio.
- WPA** *m* Mecanisme de seguretat en l'estàndard 802.11 posterior al WEP.

Bibliografia

Huidobro, J. M. (2002). *Comunicaciones móviles*. Madrid: Paraninfo.

Sendín Escalona, A. (2004). *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles*. Madrid: McGraw Hill.

