

WiMAX: una alternativa d'accés a les xarxes

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Enginyeria Informàtica

Projecte Fi de Carrera

Autor: Jordi Pino Lacosta

Consultora: Helena Rifà Pous

18 de juny de 2004

Resum

En l'actualitat estan augmentant les necessitats dels usuaris per a accedir a la banda ampla des de qualsevol lloc. Les solucions actuals es basen principalment en sistemes de cable i, en menor mesura, en productes sense fils de curt abast o de cost elevat. Com a solució alternativa l'IEEE està desenvolupant l'estàndard 802.16, que pretén ser una sistema d'accés a la banda ampla sense fils que ofereixi àmplies cobertures a preus assequibles.

En aquest projecte s'analitza l'estàndard 802.16 per a l'accés sense fils a la banda ampla i, més concretament, en què consisteix la certificació WiMAX. Posteriorment s'estudia la presència de WiMAX al mercat i el seu l'estat actual de desenvolupament. Finalment, es comparen diverses tecnologies per a l'accés a la banda ampla amb WiMAX i es presenten algunes possibles aplicacions pràctiques de la tecnologia.

Per al desenvolupament del projecte s'han estudiat principalment les especificacions 802.16 publicades per l'IEEE, els articles tècnics i d'informació publicats a les pàgines web d'empreses participants al consorci WiMAX, articles d'informació als fòrums d'Internet dedicats a les tecnologies sense fils i bibliografia general referent a les radiocomunicacions.

Com a resultat es conclou què els productes basats en la tecnologia 802.16, i més concretament aquells que obtinguin la certificació WiMAX, podran combinar-se amb altres tecnologies per a oferir l'accés a la banda ampla en molts dels possibles escenaris d'utilització; substituiran a determinades tecnologies d'accés a la banda ampla que competeixen pel mateix segment i seran una excel·lent solució per al desplegament d'infraestructures d'accés a la banda ampla en el tram anomenat de "l'última milla" en entorns on el desplegament d'altres tecnologies suposaria uns costos de desplegament i de manteniment elevats.

Índex de continguts

CAPÍTOL I. Introducció	5
1 Introducció	5
1.1 Justificació del PFC	5
1.2 Objectius del PFC	5
1.3 Enfocament i mètode seguit	5
1.4 Planificació del projecte	6
1.5 Productes obtinguts	11
1.6 Estructura de la memòria	11
CAPÍTOL 2. L'estàndard 802.16	13
2 Descripció de l'estàndard 802.16	13
2.1 Els orígens de l'estàndard 802.16	13
2.2 Descripció de l'estàndard 802.16	15
2.2.1 Arquitectura del protocol	15
2.2.2 Serveis acceptats pel protocol 802.16	17
3 Anàlisi de les característiques tècniques de l'estàndard IEEE 802.16-2001 ..	20
3.1 Protocol d'accés al medi	20
3.1.1 Subcapa de convergència de serveis específics	21
3.1.2 Subcapa de parts comunes	24
3.1.3 Subcapa de privacitat	30
3.2 La capa física PHY per a la banda de 10 a 66 GHz	31
3.2.1 Serveis que ofereix la capa PHY a la capa MAC	32
3.2.2 Trames	33
3.2.2.1 Estructura de les trames de baixada	33
3.2.2.2 Estructura de les trames de pujada	36
3.2.3 Codificació i modulació dels canals de baixada i de pujada	36
3.2.4 Velocitat i ample de banda dels canals	38
3.2.5 Subsistema de control de ràdio	38
3.2.6 Característiques de propagació	39
3.2.7 Característiques del transmissor	39
3.2.8 Valors específics de la capa PHY per a la banda de 10 a 66 GHz	40
3.3 Qualitat de servei	40
4 Anàlisi de seguretat, mobilitat i regulació normativa de l'estàndard 802.16 ..	43
4.1 Anàlisi de les característiques de seguretat de l'estàndard 802.16	43
4.1.1 Encriptació dels paquets de dades	43
4.1.2 Protocol de gestió de claus	43
4.1.3 Associacions de seguretat (SA) i connexions	44
4.1.4 El protocol PKM	44
4.1.5 Mètodes criptogràfics	45
4.2 Anàlisi de les característiques de mobilitat de l'estàndard 802.16	45
4.3 Anàlisi de la regulació normativa espanyola, rang de freqüències i potència emesa ..	46
CAPÍTOL III. L'estàndard IEEE 802.16a-2003	48
5 Modificacions que proposa l'estàndard IEEE 802.16a-2003	48
5.1 Banda de 2 a 11 GHz amb llicència	48
5.2 Banda de 2 a 11 GHz sense llicència	48
5.3 Nomenclatura de les interfícies aire i principals característiques	49
5.4 Protocol d'accés al medi	49
5.5 La topologia de malla Mesh	50
5.5.1 Adreçament, connexions i missatges de control	50
5.5.2 Construcció i transmissió de les PDU MAC	51
5.5.3 Petició automàtica de retransmissions (ARQ)	51
5.5.4 Mecanismes de petició i d'assignació d'ample de banda	51
5.5.5 Suport de la capa MAC a la capa física PHY	53
5.5.6 Suport opcional de la capa MAC per als sistemes d'antenes adaptatius	54
5.5.7 Accés a la xarxa i inicialització	55
5.5.8 Alineament	55

5.5.9	Selecció de freqüència dinàmica per a les bandes sense llicència	56
5.5.10	Tunelització de la gestió de missatges MAC en el mode Mesh.....	56
5.6	La capa física WirelessMAN-SCa.....	56
5.7	La capa física WirelessMAN-OFDM	57
5.7.1	Mecanismes de control	58
5.7.2	Diversificació de la transmissió: codificació espai-temps.....	59
5.7.3	Mesures de qualitat del canal.....	59
5.7.4	Característiques del transmissor.....	60
5.7.5	Característiques del receptor	60
5.8	La capa física WirelessMAN-OFDMA.....	61
5.8.1	Domini de freqüència.....	61
5.9	Components específics per a WirelessHUMAN	62
5.9.1	Intercanvi de claus en el mode Mesh.....	62
CAPÍTOL IV. 802.16 en el mercat.....		63
6 Estat actual del mercat.....		63
6.1	Investigació d'equips disponibles i preus.....	63
6.2	Evolució prevista.....	64
CAPÍTOL V. WiMAX i les altres tecnologies.....		66
7 Comparació amb altres tecnologies.....		66
7.1	Què és WiMAX i la seva relació amb 802.16a	66
7.1.1	Què és WiMAX	66
7.1.2	Els perfils i les proves de conformitat.....	66
7.1.3	Calendari previst per WiMAX	67
7.1.4	Beneficis que s'esperen de WiMAX	67
7.1.5	Perquè adoptar l'estàndard 802.16a?	68
7.1.6	La relació de WiMAX amb 802.16a.....	69
7.2	WiMAX vs Wi-Fi	70
7.3	WiMAX vs LMDS	70
7.4	WiMAX vs UMTS	71
7.5	WiMAX vs solucions cablejades	72
7.6	WiMAX vs 802.20	72
7.7	WiMAX vs tecnologies del projecte BRAN	73
7.8	WiMAX vs tecnologies propietàries	73
7.9	WiMAX vs PLC	73
CAPÍTOL VI. Usos, serveis i escenaris pràctics per a WiMAX.....		74
8 Possibles usos i serveis. Escenaris pràctics.....		74
8.1	Possibles usos i serveis.....	74
8.2	Connexió de la xarxa de la Universitat Oberta de Catalunya UOC.....	74
8.3	Serveis municipals sense fils.....	75
8.4	Connexió en un medi rural.....	76
CAPÍTOL VII. Conclusions		78
9 Conclusions		78
9.1	Utilitzacions de l'estàndard 802.16 i de WiMAX	78
9.2	Treballs futurs	79
Glossari d'abreviatures i termes		80
Bibliografia.....		82

Índex de figures

Fig. 2-1.	Relació entre les capes del model de l'IEEE Std. 802.16-2001 i el model OSI.....	17
Fig. 3-1.	Model de capes de l'IEEE Std. 802.16-2001 amb punts d'accés als serveis (SAP)	20
Fig. 3-2.	Unitats d'intercanvis de dades entre les capes de l'IEEE Std. 802.16-2001	21
Fig. 3-3.	Format de les trames en la subcapa de convergència ATM	22
Fig. 3-4.	Mapejat dels PDU de les capes superiors en SDU MAC	23
Fig. 3-5.	Comunicació entre capes mitjançant primitives.....	25
Fig. 3-6.	Capçalera genèrica per les PDU MAC	26
Fig. 3-7.	Capçalera de petició d'ample de banda per les PDU MAC.....	26

Fig. 3-8. Format dels missatges de gestió MAC	26
Fig. 3-9. Estructura de les trames TDD.....	31
Fig. 3-10. Estructura de la subtrama de baixada amb duplexació per divisió en el temps TDD	34
Fig. 3-11. Estructura subtrama de baixada amb duplexació per divisió en freqüència FDD.....	35
Fig. 3-12. Estructura de la subtrama de pujada de dades de la capa física.....	36
Fig. 3-13. Diagrama de blocs de baixada de dades de la subcapa depenent del medi	37
Fig. 3-14. Relacions entre els atributs referents al conjunts de paràmetres QoS	41
Fig. 3-15. Model de funcionament basat en el flux de servei.....	42
Fig. 4-1. Format de les PDU MAC amb la dades d'informació encriptades.....	43
Fig. 5-1. Topologia de malla Mesh	49
Fig. 5-2. Procés de modulació en la capa WirelessMAN-SCa.....	53
Fig. 5-3. Format de paquet amb tunelització.....	56
Fig. 5-4. Estructura de freqüències OFDM	57
Fig. 5-5. Esquema de la diversificació de la transmissió amb codificació espai-temps.....	59
Fig. 5-6. Estructura de freqüències OFDMA	61
Fig. 7-1. Logotip de WiMAX	69
Fig. 8-1. Connexió de la xarxa de la Universitat Oberta de Catalunya	75
Fig. 8-1. Serveis municipals sense fils	76
Fig. 8-3. Connexió en un medi rural.....	77

Índex de taules

Taula 2-1. Abast i propòsits dels grups de treball del comitè 802.16	14
Taula 2-2. Classificació i requeriments dels serveis acceptats pel grup de treball 802.16.1.....	18
Taula 2-3. Requeriments dels serveis acceptats pel grup de treball 802.16.1	19
Taula 3-1. Característiques dels serveis de programació pujada de dades.....	28
Taula 3-2. Eficiència espectral segons el tipus de modulació emprat	37
Taula 3-3. Prestacions dels radiocanals segons l'ample banda i la modulació utilitzada.....	38
Taula 3-4. Valors específics de la capa PHY per a la banda de 10 a 66 GHz	40
Taula 4-1. Descripció dels usos de l'espectre radioelèctric a l'estat espanyol	47
Taula 5-1. Nomenclatura de les interfícies aire i característiques a l'estàndard 802.16	49
Taula 5-2. Característiques dels serveis de programació a l'estàndard 802.16a.....	51
Taula 5-3. Sensibilitat mínima del receptor en dBm	60
Taula 5-4. Valors mínims de refús de canals en dB	60
Taula 5-5. Exemple de canals possibles per a WirelessHUMAN als Estats Units	62
Taula 6-1. Calendari previst per a l'evolució dels productes amb certificació WiMAX	65
Taula 7-1. Calendari previst per WiMAX.....	67
Taula 7-2. Resum dels beneficis que hauria d'aportar WiMAX	68

CAPÍTOL I. Introducció

1 Introducció

1.1 Justificació del PFC

La creixent necessitat d'accedir a la banda ampla des de qualsevol lloc i a uns costos raonables impulsa el desenvolupament de noves tecnologies amb aquests objectius. Darrerament s'han estès amb gran èxit els productes Wi-Fi, que es basen en l'estàndard IEEE 802.11 i permeten l'accés a les xarxes locals sense fils. Motivats pel seu gran impacte comercial s'estan desenvolupant especificacions que permetin superar els problemes més greus de la tecnologia - abast reduït, manca de seguretat i velocitats baixes- per a intentar estendre-ho a xarxes d'abast més gran; però les regulacions imposades a la banda de freqüències que utilitza dificulten la seva progressió.

L'IEEE ha dissenyat un nou estàndard, l'IEEE 802.16, que proporciona les especificacions per a accedir a la banda ampla sense fils utilitzant la banda de freqüències de 2 a 66 GHz. Pels tipus de tècniques que es poden usar han de permetre aconseguir velocitats superiors, un abast més gran i una seguretat elevada. Aquestes característiques poden fer que els dispositius basats en 802.16 siguin una bona solució per a estendre la banda ampla a llocs on fins ara era impensable arribar-hi amb d'altres tecnologies a causa de l'elevat cost, tant de desplegament com de manteniment.

Però per a pensar en la implementació de xarxes basades en una tecnologia nova cal estudiar quins són els aspectes que la poden fer interessant i quines limitacions presenta. Aquest projecte estudia l'estàndard IEEE 802.16 i de quina manera pot ser útil per a apropar la banda ampla a aquells llocs que, a causa de les escasses possibilitats de negoci o del cost de desplegament, no tenen l'oportunitat d'accedir-hi, situació que es dona especialment a les zones d'orografia complicada i de baixa densitat de població.

1.2 Objectius del PFC

L'objectiu general d'aquest projecte és analitzar la possibilitat d'oferir connexió, sense fils i amb banda ampla, a qualsevol tipus de xarxa a través de punts fixos i amb un cost reduït, especialment en territoris de baixa densitat de població i/o d'orografia complexa. Es desglossa en els objectius parcials:

- Analitzar l'estàndard 802.16
- Veure quin paper juga WiMAX dins de l'estàndard 802.16
- Dissenyar xarxes amb la combinació de WiMAX i Wi-Fi per a diferents escenaris

1.3 Enfocament i mètode seguit

L'enfocament del projecte és teòric, ja que a hores d'ara - juny de 2004 -, si bé hi ha alguns fabricants que desenvolupen solucions que contempen part o tot l'estàndard 802.16, encara no existeix cap producte amb la certificació WiMAX.

El mètode seguit ha estat la búsqueda d'informació, l'anàlisi i l'extracció de conclusions a partir de les dades disponibles, tot i que en ser una tecnologia molt nova encara no hi ha massa publicacions que l'estudiïn.

Per a l'estudi de l'estàndard les fonts d'informació han estat:

- els documents publicats per l'IEEE amb les especificacions de l'estàndard 802.16
- documents de treball de l'IEEE que tracten d'aspectes concrets de l'estàndard
- papers tècnics publicats per les empreses participants al consorci WiMAX
- anàlisi d'empreses d'assessoria en telecomunicacions
- articles de divulgació general

El sistema de lliurament de documentació de l'IEEE és molt restrictiu, una redacció no massa afortunada de les especificacions i una bibliografia molt escassa dificulten enormement l'estudi de l'estàndard.

És destacable els pocs llibres que parlen d'aquest nou estàndard. En aquestes condicions la major part de la informació s'ha trobat buscant en pàgines web d'Internet i seleccionant només aquelles que, pel seu origen o per comparació amb altres informacions publicades, podien oferir un mínim de confiança.

La regulació normativa de l'Estat espanyol s'ha consultat a la pàgina web del "Ministerio de Ciencia y Tecnología"¹ i a les pàgines de l'*European Radiocommunications Office (ERO)*² i a les de *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT)*³

La informació referent a d'altres tecnologies s'ha extret de la bibliografia general i de documentació publicada a pàgines web de qualitat contrastada.

1.4 Planificació del projecte

El projecte s'ha dividit en tasques i subtasques i s'han marcat unes fites per a evitar possibles desviacions i assegurar la finalització dins del termini de lliurament.

• TASCA 1: L'estàndard 802.16 i la seva relació amb WiMAX

- Subtasca 1.1: els orígens de l'estàndard 802.16
 - Objectiu: explicar els orígens de l'estàndard 802.16
 - Lliurables: documentació corresponent a la descripció de l'estàndard.
 - Durada estimada: 20 hores
- Subtasca 1.2: descripció de l'estàndard 802.16
 - Objectiu: descriure les característiques essencials de l'estàndard 802.16
 - Lliurables: documentació corresponent a la descripció de l'estàndard.
 - Durada estimada: 20 hores

¹ <http://www.setsi.mcyt.es>

² <http://www.ero.dk/>

³ <http://www.cept.org/>

- Subtasca 1.3: què és WiMAX i la seva relació amb 802.16a
 - Objectiu: explicar què significa WiMAX i la seva relació amb 802.16.
 - Lliurables: documentació corresponent a aquesta explicació.
 - Durada estimada: 20 hores
- **TASCA 2: Anàlisi de les característiques tècniques de l'estàndard IEEE 802.16-2001**
 - Subtasca 2.1: protocol d'accés al medi
 - Objectiu: estudi del tipus de protocol d'accés al medi, característiques, pros i contres.
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi.
 - Durada estimada: 74 hores
 - Subtasca 2.2: la capa física PHY per a la banda de 10 a 66 GHz
 - Objectiu: estudi de les característiques de la capa física PHY per a la banda de 10 a 66 GHz
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi.
 - Durada estimada: 9 hores
 - Subtasca 2.3: Qualitat de servei
 - Objectiu: estudi de les facilitats que ofereix aquest estàndard per al control dels paràmetres de qualitat de servei (QoS)
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi.
 - Durada estimada: 9 hores
- **TASCA 3: Anàlisi de seguretat, mobilitat i regulació normativa de l'estàndard 802.16**
 - Subtasca 3.1: anàlisi de les característiques de seguretat de l'estàndard 802.16
 - Objectiu: anàlisi de les característiques de seguretat que ofereix l'estàndard
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi.
 - Durada estimada: 12 hores
 - Subtasca 3.2: anàlisi de les característiques de mobilitat de l'estàndard 802.16
 - Objectiu: anàlisi de les característiques de mobilitat entre antenes i xarxes diferents que ofereix l'estàndard
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi.
 - Durada estimada: 16 hores
 - Subtasca 3.3: anàlisi de la regulació normativa, rang de freqüències i potència emesa
 - Objectiu: anàlisi de les normatives que ha de complir l'estàndard
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi.
 - Durada estimada: 16 hores

• TASCA 4: Modificacions que proposa l'estàndard 802.16

- Subtasca 4.1: anàlisi de la banda de 2 a 11 GHz amb llicència
 - Objectiu: anàlisi de les característiques de la banda de 2 a 11 GHz amb llicència
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.2: anàlisi de la banda de 2 a 11 GHz sense llicència
 - Objectiu: anàlisi de les característiques de la banda de 2 a 11 GHz sense llicència
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.3: estudi de les nomenclatures introduïdes a l'estàndard 802.16a
 - Objectiu: reflectir les nomenclatures proposades i les seves característiques tècniques
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.4: anàlisi de la capa física WirelessMAN-SC
 - Objectiu: anàlisi de les característiques tècniques de la capa física WirelessMAN-SC
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.5: anàlisi de la capa física WirelessMAN-OFDM
 - Objectiu: anàlisi de les característiques tècniques de la capa física WirelessMAN- OFDM
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.6: anàlisi de la capa física WirelessMAN-OFDMA
 - Objectiu: anàlisi de les característiques tècniques de la capa física WirelessMAN- OFDMA
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores
- Subtasca 4.5: estudi dels components específics per a WirelessHUMAN
 - Objectiu: anàlisi de les característiques tècniques de la capa física WirelessMAN- OFDM
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest anàlisi
 - Durada estimada: 12 hores

• TASCA 5: Estat actual del mercat

- Subtasca 5.1: investigació d'equips disponibles i preus

- Objectiu: investigació en el mercat dels equips disponibles en la actualitat, dels que tenen una data propera de llançament al mercat, i dels preus
- Lliurables: documentació corresponent a aquesta investigació.
- Durada estimada: 8 hores
- Subtasca 5.2: estudi de l'evolució prevista
 - Objectiu: estudi de la evolució prevista pel consorci WiMAX i per d'altres analistes.
 - Lliurables: documentació corresponent a aquesta estudi.
 - Durada estimada: 8 hores
- **TASCA 6: Comparació amb altres tecnologies**
 - Subtasca 6.1: recopilació de bibliografia de les tecnologies a comparar
 - Objectiu: reunir la bibliografia i la informació necessària de les tecnologies a comparar amb l'estàndard 802.16
 - Lliurables: no s'obté cap lliurable
 - Durada estimada: 18 hores
 - Subtasca 6.2: WiMAX vs Wi-Fi
 - Objectiu: estudi comparatiu de la tecnologia WiMAX amb la tecnologia Wi-Fi per a la implementació de xarxes
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 15 hores
 - Subtasca 6.3: WiMAX vs LMDS
 - Objectiu: estudi comparatiu de la tecnologia WiMAX amb la tecnologia LMDS per a la implementació de xarxes
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 15 hores
 - Subtasca 6.4: WiMAX vs UMTS
 - Objectiu: estudi comparatiu de la tecnologia WiMAX amb la tecnologia UMTS per a la implementació de xarxes
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 15 hores
 - Subtasca 6.5: WiMAX vs solucions cablejades
 - Objectiu: estudi comparatiu de la tecnologia WiMAX amb algunes solucions cablejades per a la implementació de xarxes
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 15 hores
 - Subtasca 6.6: WiMAX vs altres tecnologies emergents
 - Objectiu: estudi comparatiu de la tecnologia WiMAX amb altres tecnologies emergents per a la implementació de xarxes

- Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
- Durada estimada: 15 hores
- **TASCA 7: Possibles usos i serveis. Escenaris pràctics**
 - Subtasca 7.1: possibles usos i serveis
 - Objectiu: esbrinar quins usos i serveis es poden donar a la tecnologia WiMAX
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 11 hores
 - Subtasca 7.2: disseny d'una xarxa aplicant solucions WiMAX i Wi-Fi
 - Objectiu: dissenyar una xarxa que combini les tecnologies WiMAX i Wi-Fi per a solucionar els problemes de connectivitat de l'escenari 1
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 18 hores
 - Subtasca 7.3: disseny d'una xarxa aplicant solucions WiMAX i Wi-Fi
 - Objectiu: dissenyar una xarxa que combini les tecnologies WiMAX i Wi-Fi per a solucionar els problemes de connectivitat de l'escenari 2
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 18 hores
 - Subtasca 7.4: disseny d'una xarxa aplicant solucions WiMAX i Wi-Fi
 - Objectiu: dissenyar una xarxa que combini les tecnologies WiMAX i Wi-Fi per a solucionar els problemes de connectivitat de l'escenari 3
 - Lliurables: documentació corresponent a aquest estudi
 - Durada estimada: 18 hores
- **TASCA 8: Memòria i presentació del Projecte**
 - Subtasca 8.1: elaboració de la presentació virtual del Projecte
 - Objectiu: elaborar la presentació virtual del Projecte en un format compatible amb el punt de treball de la UOC
 - Lliurables: presentació virtual d'aquest projecte en un format compatible amb el punt de treball de la UOC
 - Durada estimada: 60 hores
 - Subtasca 8.2: revisions finals de la memòria i de la presentació virtual
 - Objectiu: revisar la memòria i la presentació virtual del Projecte per a retocar els darrers detalls de presentació, tant a proposta de la consultora del projecte com per iniciativa pròpia
 - Lliurables: memòria i la presentació virtual definitives d'aquest projecte
 - Durada estimada: 40 hores

La planificació ha patit alguna desviació respecte del pla de projecte revisat en data 19 d'abril de 2004. A mesura que s'anava aprofundint en l'estudi de l'estàndard s'ha cregut convenient revisar algunes de les subtasques previstes:

- a la tasca 1, la subtasca “Descripció de la família d'estàndards que componen l'estàndard 802.16” passa a ser un annex. L'anàlisi de l'estàndard 802.16a, en el qual es basen els treballs del consorci Wi-Fi, dona lloc a una nova tasca, la tasca 4, que es compon de les subtasques indicades.
- a la tasca 2 s'han substituït les subtasques previstes per les que apareixen actualment, per a obtenir una línia d'estudi i anàlisi més coherent

1.5 Productes obtinguts

Com a resultat del projecte s'han obtingut els següents productes:

- documentació explicativa de les característiques del protocol IEEE 802.16-2001. Inclou anàlisi de:
 - les característiques tècniques de l'estàndard genèric i les modificacions proposades per l'estàndard 802.16a
 - seguretat, mobilitat i regulació normativa a l'Estat espanyol
 - comparació de WiMAX amb d'altres tecnologies d'accés a la banda ampla, tant amb fils com sense
 - estudi de les aplicacions possibles i dos escenaris d'exemple d'ús
 - el document corresponent a la memòria
 - presentació en format PowerPoint per a la presentació virtual del projecte

1.6 Estructura de la memòria

La memòria està organitzada en set capítols. Contenen una anàlisi de les característiques del l'estàndard 802.11 i una explicació del significat de WiMAX; una visió de l'ús de la tecnologia 802.16 en el mercat actual; una comparació de WiMAX amb altres tecnologies d'accés a la banda ampla, i uns exemples d'utilitzacions pràctiques de WiMAX en combinació amb la tecnologia Wi-Fi. La memòria finalitza amb les conclusions extretes a partir de projecte i una annexos amb anàlisis tècnics més detallats.

En concret:

- La introducció explica les motivacions que fonamenten el projecte, els mètodes de treball utilitzats i la planificació del projecte.
- Al segon capítol, “L'estàndard 802.16”, es repassa la història de l'estàndard i s'analitzen les característiques tècniques de l'estàndard IEEE 802.16-2001. Més endavant s'explica què és WiMAX, el calendari de desenvolupament i els beneficis que s'esperen. Finalment s'estudien les característiques de seguretat i mobilitat i la regulació normativa aplicable a l'Estat espanyol
- Al capítol tres, “L'estàndard IEEE 802.16a-2003”, s'investiguen les modificacions i correccions que proposa aquest estàndard, especialment l'afegit d'una nova topologia de xarxa i l'ampliació de la banda de freqüències d'utilització
- Al capítol següent, “802.16 en el mercat”, s'analitza l'estat actual de disponibilitat de la tecnologia en el mercat i les previsions futures de desenvolupament.

- El cinquè capítol, “WiMAX i les altres tecnologies”, compara WiMAX amb d’altres tecnologies d’accés a la banda ampla per a comprovar si es poden combinar unes amb altres o bé competeixen per un mateix rang d’aplicacions.
- Al capítol sis, “Usos, serveis i escenaris pràctics per a WiMAX” es plantegen dos exemples pràctics d’utilització de la tecnologia WiMAX.
- Al capítol setè, “Conclusions”, s’expliquen les conclusions obtingudes amb el projecte.
- Finalment, en un document apart anomenat *jpino PFC Annexos WiMAX una alternativa d'accés a les xarxes.doc* hi ha els Annexos, on es troben estudis tècnics més detallats de diferents parts de l’estàndard i que no s’ha considerat oportú incloure-les com a cos principal del projecte.

CAPÍTOL 2. L'estàndard 802.16

2 Descripció de l'estàndard 802.16

2.1 Els orígens de l'estàndard 802.16

En els darrers anys hi ha hagut un creixent interès per a accedir a les xarxes utilitzant tecnologies sense fils com a alternativa al tradicional bucle local amb parells trenats. L'any 1999, el comitè d'estàndards IEEE 802 LAN/MAN - *IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee*- va crear el grup de treball 802.16 per a definir un conjunt d'especificacions relatives a l'accés al bucle local sense fils - *Wireless Local Loop* (WLL)

Les principals característiques dels sistemes que pretén cobrir l'estàndard són:

- Ús d'enllaços amb microones o amb ones milimètriques
- Com a punt de partida, utilització de bandes amb necessitat de llicència
- Abast d'àrea metropolitana
- Arquitectura punt-multipunt amb antenes estacionàries muntades en teulades o torres
- Transport de diferents tipus de servei, permetent oferir qualitat de servei (QoS)
- Capacitat de transmissions de banda ampla, per damunt del 2 Mbps

Aquest grup original ha donat lloc a tres nous grups de treball que desenvolupen tasques relacionades amb:

- IEEE 802.16.1 - Interfície amb l'aire per a la banda entre 10 i 66 GHz. En aquesta banda de freqüències els equips necessiten visibilitat directa- *Line of Sight* (LoS)
- IEEE 802.16.2 - Coexistència dels sistemes de banda ampla sense fils
- IEEE 802.16.3 - Interfície amb l'aire per a les freqüències amb llicència, de 2 a 11 GHz. En aquesta banda de freqüències els equips poden treballar amb visibilitat directa- *Line of Sight* (LoS), o bé sense visibilitat directa- *Non Line of Sight* (NLoS). És una de les diferències fonamentals entre les dues interfícies.

grup de treball	abast	propòsit
IEEE 802.16.1	<p>Especificació de la capa física (PHY) i de la capa de control d'accés al medi (MAC) de la interfície aire per a sistemes per l'accés amb banda ampla a punts fixes (per exemple, aquells que proporcionen transmissió de dades del tipus DS1, T1 o superiors. Permet el transport de dades, vídeo i serveis de veu amb especificació de qualitat de servei (QoS) en bandes amb necessitat de llicència i dissenyades per l'accés públic a les xarxes.</p> <p>Especificació de la capa física (PHY) i de la capa de control d'accés al medi (MAC) de la interfície aire. Permet el transport de dades, vídeo i serveis de veu. S'aplica als sistemes que operen entre els 10GHz i el 66GHz</p>	Permetre el desplegament a nivell mundial de sistemes sense fils per a accedir a la banda ampla, d'una forma ràpida, amb bona relació cost-eficàcia, i assegurant la interoperabilitat entre equips de diferents fabricants, de manera que puguin competir amb els serveis cablejats

IEEE 802.16.2	<p>Desenvolupament d'un conjunt de pràctiques recomanades per a permetre un desplegament i un disseny coordinats que minimitzin les interferències i maximitzin les prestacions dels sistemes i de la qualitat de servei:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recomanació dels límits de les emissions tant fora com dins de la banda, així com les característiques de potència radiada, màscares d'espectre i models d'antenes • Recomanació de les toleràncies dels paràmetres de recepció, incloent la degradació per soroll a nivell de terra, les prestacions dels blocs, deguts a les interferències creades per altres sistemes de banda ampla, tant terrestres com aeris • Proposta dels paràmetres de coordinació: plans de freqüència, bandes de separació i límits de densitat de flux de potència <p>L'estàndard inclou les recomanacions per a evitar interferències amb altres sistemes que utilitzin la mateixa banda de freqüència en una mateixa zona geogràfica, o amb diferents bandes dins la mateixa àrea geogràfica. No abasta, però, l'estudi dels temes de coexistència deguts a la reutilització de freqüències dins d'un mateix sistema per part d'operadors amb llicència, ni tampoc té en compte l'impacte de les interferències creades per sistemes terrestres o per satèl·lit de sistemes, tant si són de banda ampla com si no</p>	<p>Proporcionar una guia per a la coexistència entre concessionaris de llicències, proveïdors de serveis, grups de desplegament i integradors de sistemes.</p> <p>Es pretén aconseguir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coexistència de diferents sistemes assegurant que els objectius de prestacions siguin assolits • Minimitzar la necessitat d'estudiar casos d'interferències i l'esforç de coordinació entre operadors que comporta resoldre'ls • Preservar un entorn electromagnètic favorable per al desplegament i l'operació de sistemes de banda ampla • Optimitzar la cobertura i la utilització de l'espectre de freqüències • Proporcionar desplegament de sistemes de banda ampla amb optimització de costos
IEEE 802.16.3	<p>Especificació de la capa física (PHY) i de la capa de control d'accés al medi (MAC) de la interfície aire per a sistemes per l'accés amb banda ampla a punts fixes (per exemple, aquells que proporcionen transmissió de dades del tipus DS1, T1 o superiors. Permet el transport de dades, vídeo i serveis de veu amb especificació de qualitat de servei (QoS) en bandes amb necessitat de llicència i dissenyades per l'accés públic a les xarxes. S'aplica als sistemes que operen entre els 2GHz i el 11GHz</p>	<p>Permetre el desplegament a nivell mundial de sistemes sense fils per a accedir a la banda ampla, d'una forma ràpida, amb bona relació cost-eficàcia, i assegurant la interoperabilitat entre equips de diferents fabricants, de manera que puguin competir amb els serveis cablejats.</p> <p>La utilització de la banda entre els 2GHz i el 11GHz adreçarà aquests desenvolupaments principalment als mercats residencials, SOHO, i petites i mitjanes empreses</p>

Taula 2-1. Abast i propòsits dels grups de treball del comitè 802.16

Els grups de treball han anat desenvolupant una sèrie d'estàndards que componen la família d'especificacions 802.16 i que serveixen per a estandarditzar l'accés a xarxes fixes metropolitanes mitjançant tecnologies sense fils (WirelessMAN) i amb banda ampla, amb equips que treballin en la banda entre 2GHz i 66GHz, utilitzant una arquitectura punt-multipunt. Es pretén que sigui una solució per a l'accés anomenat de "l'última milla", i apareix com una alternativa a les solucions de cable, DSL i serveis de nivell T1.

El desenvolupament d'aquest estàndard hauria d'accelerar la introducció de l'accés amb banda ampla a xarxes sense fils, reduint els costos i els riscos en el desenvolupament dels productes necessaris per a la seva implementació.

2.2 Descripció de l'estàndard 802.16

2.2.1 Arquitectura del protocol

L'estàndard 802.16 proporciona un camí entre una xarxa principal - per exemple, Internet o la xarxa pública de telefonia - i un client de la xarxa. L'estàndard descriu la interfície de l'espai - la interfície aire - entre les estacions base i les estacions clients.

Està organitzat en una arquitectura de dues capes que es corresponen amb la capa física del model OSI. Aquestes estan subdividides en subcapes per a separar les funcions que es poden considerar agrupades.

Tot i que en el model OSI es consideraria que estan per sota de la capa física, hi ha dos aspectes que són crítics en el disseny d'enllaços sense fils: el medi de transmissió i de la banda de freqüències utilitzables. Per això s'inclouen en l'especificació de la capa física del model 802.16.

Així les capes que es consideren són:

capa física PHY

La capa física - *Physical Layer* (PHY)- pot incloure diverses especificacions segons el medi i la banda de freqüències que es considerin. Es proposa una descripció aplicable a qualsevol tipus de capa física i es divideix en dues subcapes:

- subcapa física dependent del medi- *Physical Medium Dependent Sublayer* (PMD)- , és la capa inferior i on s'especifica el medi de transmissió i la banda de freqüències
- subcapa de convergència de transmissió- *Transmission Convergence Sublayer* (TC) Es situa entre la capa física (PHY) i la capa de control d'accés al medi (MAC)

La capa física pot tenir associada una entitat de control de la capa física. El protocol no descriu les funcions exactes d'aquesta entitat, però, en general, seria responsable de gestionar l'estat de diferents entitats de control, ajustant els valors dels paràmetres específics de cada capa.

Els serveis proporcionats per la capa física es descriuen utilitzant un conjunt de primitives que fan referència a les comunicacions entre les capes PHY i MAC:

- primitives per a la transferència de dades en les interaccions entre capes MAC
- primitives relacionades amb el control de capa, per a permetre les interaccions locals entre subcapes
- primitives per a les funcions de control

capa de control d'accés al medi MAC

Per damunt de la capa física es troba la capa de control d'accés al medi- *Medium Acces Control Layer* (MAC)-, on es defineixen les funcions associades amb la provisió de serveis als clients. Es correspon amb la capa d'enllaç del model OSI.

La capa MAC es pot considerar subdividida en tres subcapes:

- La capa superior de la capa MAC es coneix com a capa de convergència de serveis específics - *Service Specific Convergence Sublayer* (CS), i proporciona les funcions específiques que requereix cada servei. Per a l'estàndard 802.16 el serveis que es poden transportar inclouen serveis de multidifusió d'àudio i vídeo,

telefonía digital, accés a Internet, ATM, Frame Relay, accés inalàmbic a xarxes telefòniques, ...

L'estàndard defineix dues subcapes de convergència per a dos tipus de serveis específics:

- la subcapa de convergència ATM- *ATM Convergence Sublayer* -, per a serveis ATM
- la subcapa de convergència de paquets - *Packet Convergence Sublayer* -, definida per a mapejar serveis com IPv4, IPv6, Ethernet, VLAN

La tasca principal d'aquestes subcapes és classificar les trames per a enviar-les a la connexió MAC adequada, mantenir o activar el QoS i permetre l'assignació d'ample de banda. També poden realitzar funcions més sofisticades com la modificació i reconstrucció de les capçaleres dels blocs de dades per a millorar l'eficiència dels enllaços per ràdio.

- subcapa de les parts comunes MAC- *Common Part Sublayer* (MAC CPS)- on es defineixen les funcions principals d'accés al sistema, l'assignació de l'ample de banda i l'establiment i manteniment de les connexions.
- subcapa de privacitat- *Privacy Sublayer* -, que inclou serveis d'autenticació per a la connexió a la xarxa i per a l'establiment de connexions. Permet l'intercanvi segur de claus i l'enciptació de dades per a la privacitat de les comunicacions.

La correspondència amb el model OSI és la següent:

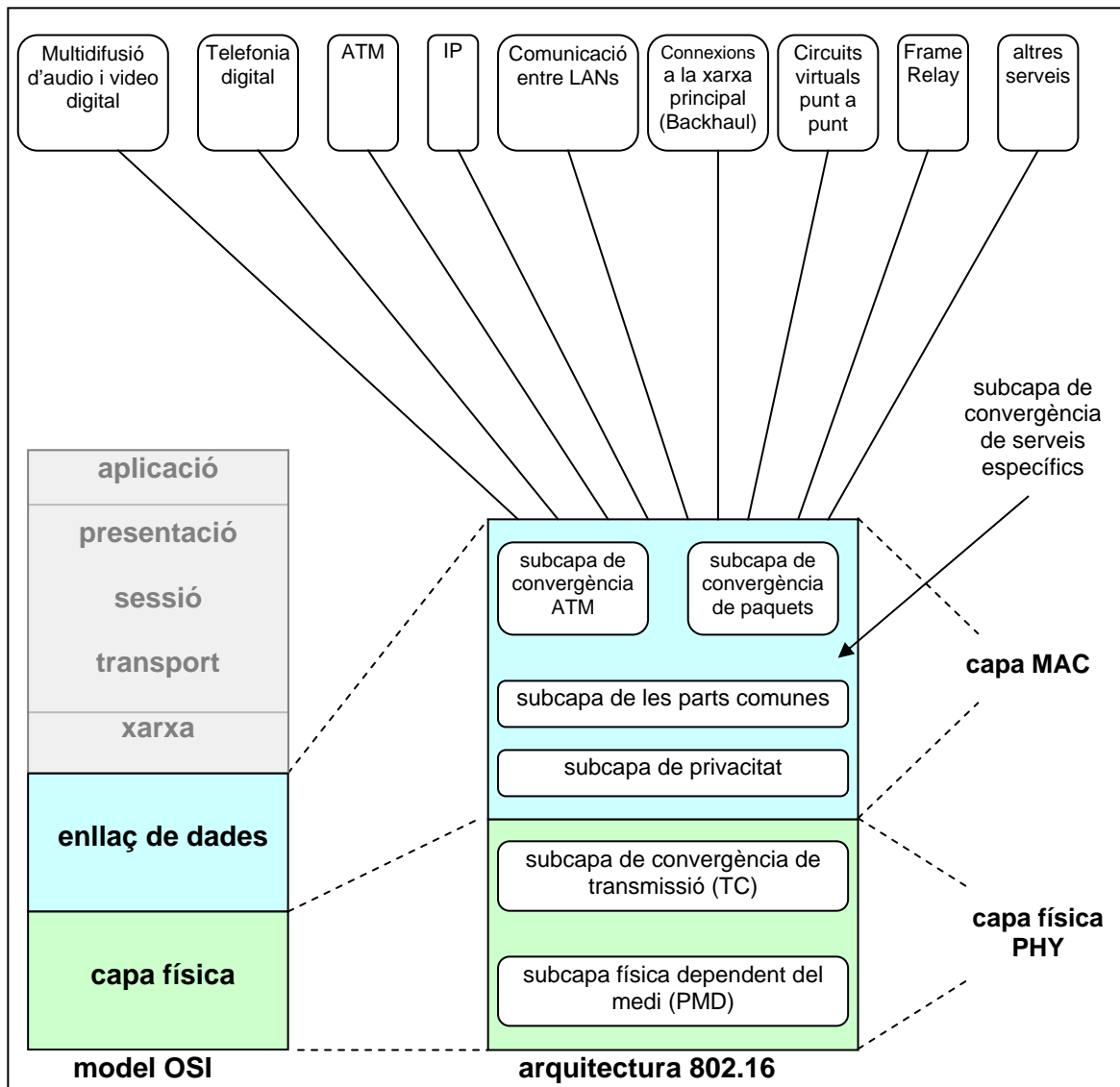


Fig. 2-1. Relació entre les capes del model de l'IEEE Std. 802.16-2001 i el model OSI

2.2.2 Serveis acceptats pel protocol 802.16

Els requeriments de l'estàndard 802.16 s'han definit en funció del tipus de tràfic o serveis que generen els clients o els subministradors de dades.

Serveis acceptats pels estàndards desenvolupats pel grup de treball 802.16.1

- *Multidifusió àudio i vídeo digital*: enviament de fluxos de dades del servidor cap al client. Per exemple, emissions de ràdio o vídeo digital, similars a la televisió per cable. En el cas de la videoconferència el flux de dades és en els dos sentits i exigeix requeriments més estrictes per a poder assegurar la interactivitat
- *Telefonia digital*: fluxos de dades de telefonia digital multiplexats. Permet substituir l'accés tradicional a les xarxes de telefonia per un accés sense fils
- *ATM*: permet transferir cel·les ATM com a part d'una xarxa general ATM. Permet oferir les diferents qualitats de servei (QoS) que ofereix ATM

- *Serveis IP*: transferència de datagrames IP. A més, es defineixen diferents qualitats de serveis (QoS) per a xarxes basades en el protocol IP
- *Comunicació entre LANs*: servei semblant a l'anterior. Aquest servei permet la transferència de dades entre LANs mitjançant commutació a la capa MAC
- *Backhaul*: enllaços entre xarxes cel·lulars o digitals de telefonia sense fils amb les xarxes principals de telefonia o dades
- *Frame Relay*: similar a l'ATM, però utilitza trames de longitud variable en lloc de les de longitud fixa de l'ATM

També podem classificar els serveis en tres grans grups:

- *Serveis basats en commutació de circuits*: les connexions s'estableixen entre el client i una xarxa principal
- *Serveis amb trama de longitud variable*: per exemple IP, Frame Relay o el sistema de compressió de vídeo MPEG, en el qual els successius blocs de dades poden ser de diferent mida
- *Serveis amb trama de longitud fixa*: per al servei ATM

La següent taula presenta aquesta classificació i els requeriments de cada servei.

grup	servei	velocitat de dades a la trama MAC	error màxim	retard màxim en un sentit
Serveis basats en commutació de circuits	banda estreta d'alta qualitat/ telefonia de veu	32 a 64 Kbps	BER: 10^{-6}	5ms
	banda estreta de baixa qualitat/ telefonia de veu	6 a 16 Kbps	BER: 10^{-4}	10ms
	trunking	≤ 155 Mbps	BER: 10^{-6}	5ms
Serveis amb trama de longitud variable	serveis de paquets de temps crític	4 a 13 Kbps (veu) 32Kbps a 1.5 Mbps (vídeo)	BER: 10^{-6}	10ms
	serveis de temps no crític: IP, IPX, Frame Relay, fluxos àudio i vídeo, etc.	≤ 155 Mbps	BER: 10^{-8}	no disponible
	vídeo MPEG	≤ 8 Mbps	BER: 10^{-11}	TBD
Serveis amb trama de longitud fixa	ATM amb capacitats CBR	16Kbps a 155Mbps	CLR: 3×10^{-8} CER: 4×10^{-6} CMR: 1 /dia SEBCR: 10^{-4}	10ms
	ATM amb capacitats rt-VBR	16Kbps a 155Mbps	CLR: 10^{-5} CER: 4×10^{-6} CMR: 1 /dia SEBCR: 10^{-4}	10ms
	altre tipus d'ATM	≤ 155 Mbps	CLR: 10^{-5} CER: 4×10^{-6} CMR: 1 /dia SEBCR: 10^{-4}	no disponible

Taula 2-2. Classificació i requeriments dels serveis acceptats pel grup de treball 802.16.1

Serveis acceptats pels estàndards desenvolupats pel grup de treball 802.16.3

- *Transport de veu*: servei basat en la commutació de paquets, en contraposició al sistema clàssic de commutació de circuits, per a proporcionar accés a la xarxa pública de telefonia commutada
- *Transport de dades*: per a permetre els serveis basats en els protocols IP, afegint requeriments de qualitat de serveis (QoS) en serveis basats en protocols IP
- *Comunicació entre LANs*: servei semblant a l'anterior. Aquest servei permet la transferència de dades entre LANs mitjançant commutació a la capa MAC

Els requeriments d'aquests serveis es resumeixen a la taula següent:

servei	error màxim	retard màxim en un sentit
telefonia de màxima qualitat	BER: 10^{-6}	20ms
telefonia de qualitat estàndard	BER: 10^{-4}	40ms
serveis de paquets de temps crític	BER: 10^{-6}	20ms
serveis de temps no crític	BER: 10^{-9}	no es té en compte

Taula 2-3. Requeriments dels serveis acceptats pel grup de treball 802.16.1

3 Anàlisi de les característiques tècniques de l'estàndard IEEE 802.16-2001

L'estàndard 802.16 especifica la interfície aire, incloent la capa de control d'accés al medi (MAC) i la capa física (PHY) de sistemes d'accés sense fils a la banda ampla a xarxes fixes funcionant en mode punt-multipunt. La capa MAC és capaç de treballar amb diferents especificacions de capes físiques, que estaran optimitzades per a la banda de freqüències de cada aplicació.

L'especificació inicial, IEEE 802.16-2001, defineix els requeriments que han de complir els sistemes que treballen a la banda entre 10 i 66 GHz. La correcció 802.16a-2003 modifica la capa MAC i afegeix definicions a la capa PHY per a estendre el rang de freqüències entre 2 i 11 GHz.

Per a les comunicacions entre les diferents subcapes i capes es defineixen els punts d'accés a serveis- *Service Acces Points* (SAP), que es situen tal com mostra la figura:

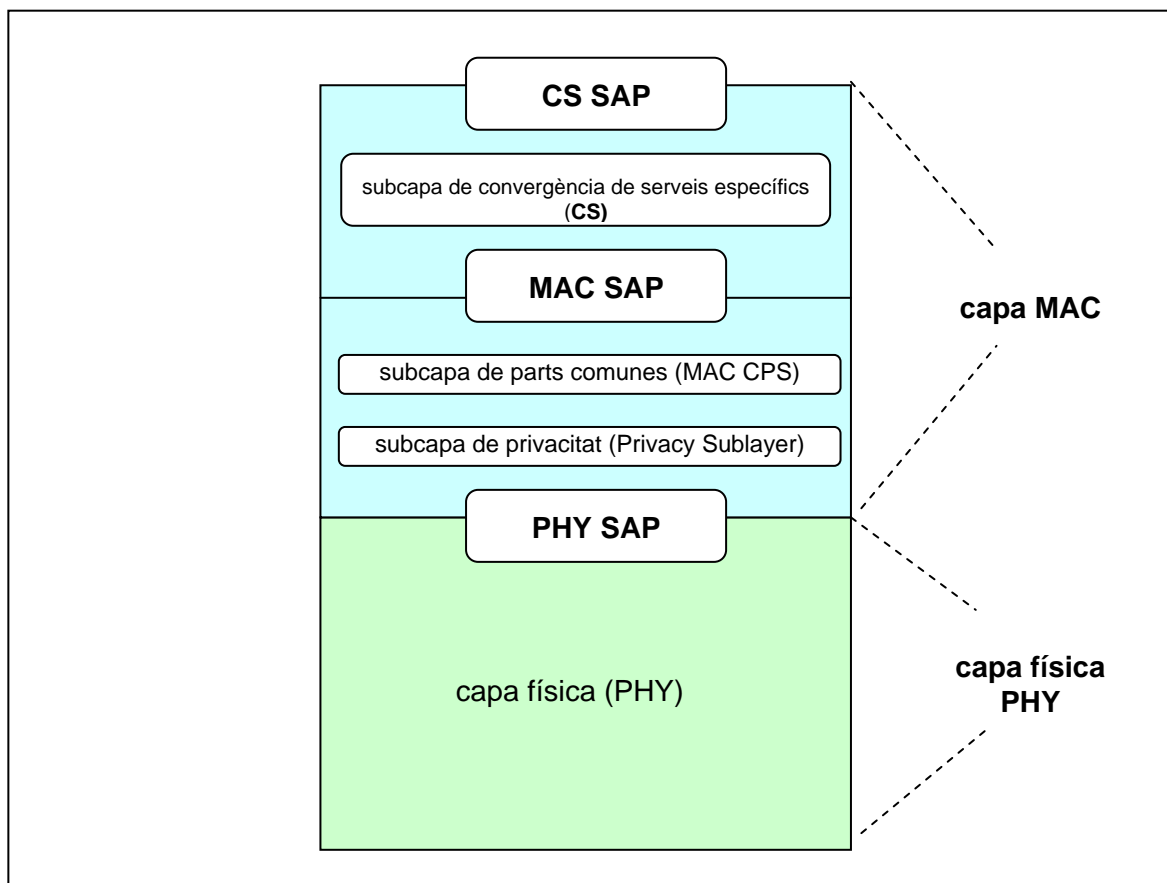


Fig. 3-1. Model de capes de l'IEEE Std. 802.16-2001 amb punts d'accés als serveis (SAP)

3.1 Protocol d'accés al medi

El protocol d'accés al medi es defineix a la capa MAC. Les funcions necessàries es distribueixen entre tres subcapes:

- subcapa de convergència de serveis específics, que proporciona la interfície amb les capes superiors

- subcapa de parts comunes, on es troben les funcions principals de la capa MAC
- subcapa de privacitat, permet els serveis d'autenticació i confidencialitat

La unitat d'intercanvi de dades entre entitats de la mateixa capa del protocol s'anomenen PDU (*Protocol Data Unit*)

La unitat d'intercanvi de dades entre entitats de capes adjacents del protocol s'anomenen SDU (*Service Data Unit*)

La figura següent explica gràficament aquestes definicions:

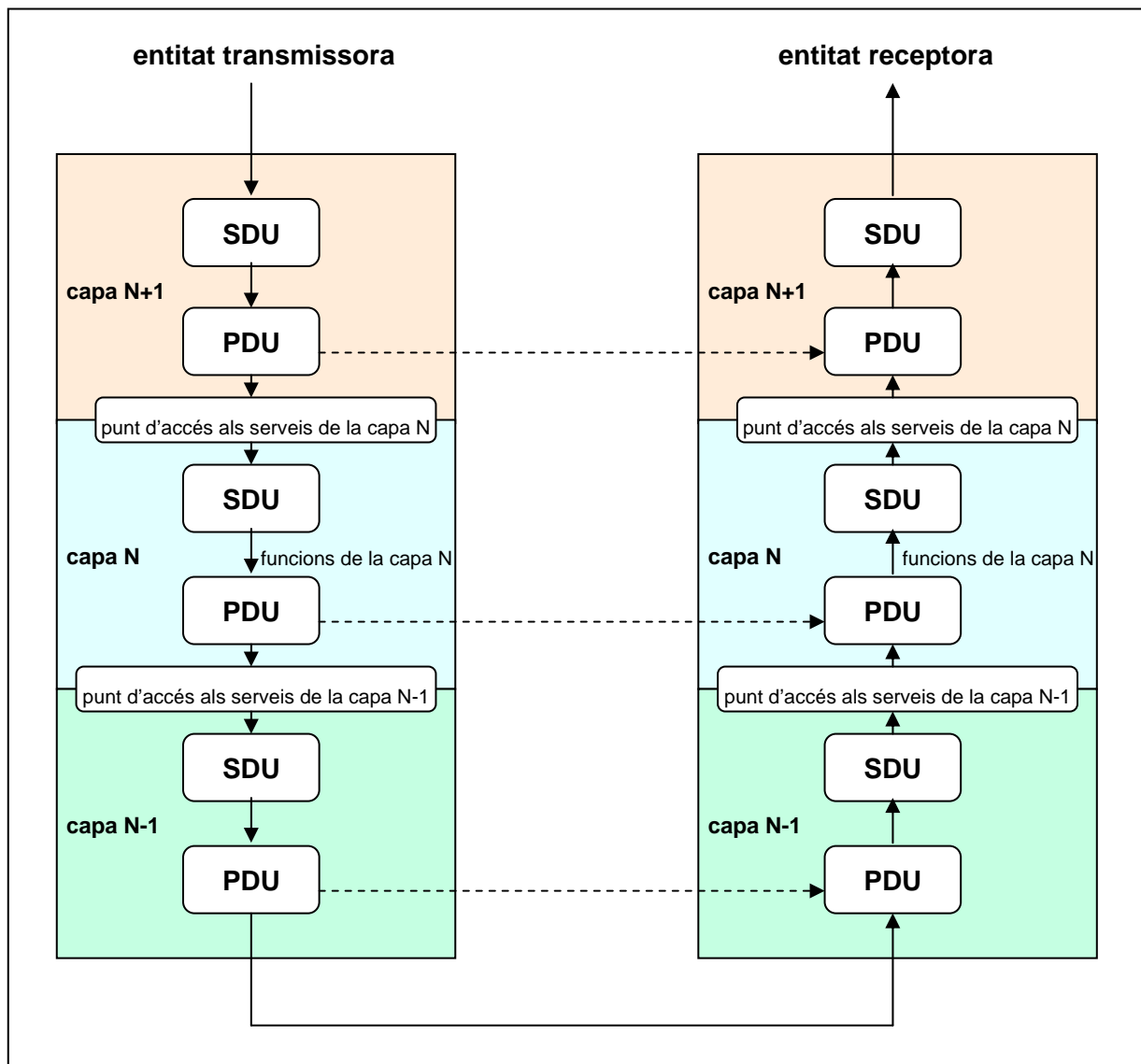


Fig. 3-2. Unitats d'intercanvis de dades entre les capes de l'IEEE Std. 802.16-2001

3.1.1 Subcapa de convergència de serveis específics

Aquesta capa es troba a la part superior de la capa MAC i utilitza els serveis oferts per la subcapa de les parts comunes. Per a la comunicació entre les dues capes s'utilitzen les funcions del punt d'accés al servei MAC - *MAC Acces Service Point* (MAC SAP)

Les funcions encomanades a aquesta subcapa són:

- acceptar les trames de les capes superiors
- classificar les trames de les capes superiors i, si és necessari, processar les
- adaptar les trames de les capes superiors al format requerit pel MAC SAP
- lliurar les trames de les capes superiors al MAC SAP adequat
- rebre les trames de la subcapa de convergència de serveis específics amb la qual es comunica

En l'actualitat hi ha definides dues especificacions per a aquesta subcapa: la subcapa de convergència ATM i la subcapa de convergència de paquets.

subcapa CS: la subcapa de convergència ATM

És una interfície lògica que associa els diferents serveis ATM amb el MAC SAP. Aquesta subcapa accepta les trames ATM d'una xarxa externa ATM; les classifica; si convé suprimeix les capçaleres dels grups de dades, i les lliure al punt d'accés al MAC SAP apropiat.

Les trames estan formades per una capçalera de trama ATM CS seguida de la trama amb la càrrega ATM CS, que és la mateixa que la trama de la càrrega d'una cel·la ATM típica.

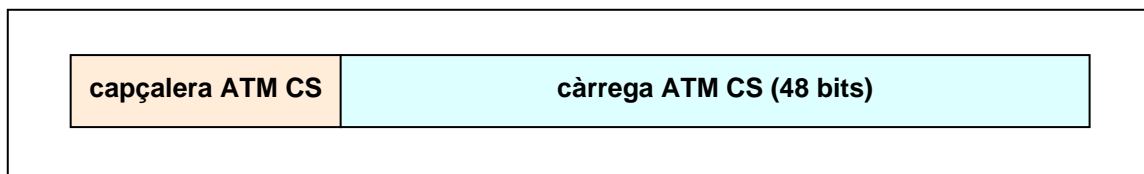


Fig. 3-3. Format de les trames en la subcapa de convergència ATM

La informació que hi ha dins de cada trama és diferent segons si el mode de connexió ATM és del tipus camí virtual commutat o canal virtual commutat; i de si existeix o no supressió de capçaleres. La supressió de capçaleres permet eliminar aquelles part repetides de les capçaleres de les trames per a reduir la sobrecàrrega d'informació.

Per a augmentar l'ample de banda disponible es poden empaquetar diverses cel·les ATM que comparteixin el mateix identificador de connexió - *Connexion Identifier* (CID) i enviar-les en una sola trama, tant si hi ha supressió de capçaleres com si no. Si es desactiva la supressió de capçaleres no es pot suprimir cap part de la capçalera, proporcionant un mecanisme de protecció.

Les interfícies ATM treballen amb tres tipus de connexió:

- circuits virtuals commutats (SVC), establerts i eliminats a través de la senyalització segons les necessitats dels serveis
- circuits permanents virtuals (PVC), establerts i eliminats administrativament en el moment de la seva contractació
- i circuits permanents virtuals per software (softPVC), establerts i eliminats administrativament mitjançant la senyalització

Segons el tipus de connexió les responsabilitats de senyalització en l'establiment i finalització de les connexions varia:

- connexió SVC, la part que demana la connexió inicia el procediment de senyalització. Qualsevol dels dos extrems pot establir o tancar la connexió

- connexió soft PVC, el sistema gestor de la xarxa identifica un dels extrems de la connexió. L'extrem final de la connexió s'encarrega d'establir-la i alliberar-la. La part que demana la connexió té la responsabilitat de restablir la connexió en el cas que hi hagi una caiguda de la xarxa

En el sentit de baixada de dades, el procés de senyalització l'inicia l'usuari final i finalitza a l'estació base. La senyalització pot ser prolongada cap a algun usuari d'una xarxa que estigui connectada a l'estació client.

En el sentit de pujada de dades la senyalització comença a l'estació base i acaba en l'usuari final. La senyalització també la pot originar un usuari d'una xarxa que estigui connectada a l'estació client.

Durant el procés administratiu d'alta de les estacions base s'ha d'assignar un identificador CID per a ser utilitzat en la senyalització per canal comú dels circuits ATM. Per a complir aquest requisit, cada sistema dissenyat segons IEEE Std 802.16-2001 proporciona un conjunt de CID.

subcapa CS: la subcapa de convergència de paquets

Aquesta subcapa és troba al capdamunt de la capa MAC. Utilitza els serveis de la subcapa de parts comunes MAC i proporciona les següents funcions:

- classifica les PDU de les capes superiors segons el tipus de connexió
- opcionalment, supressió d'informació de les capçaleres de la càrrega
- lliura les PDU de la capa de convergència al MAC SAP per a transportar la informació al MAC SAP corresponent de l'altre entitat
- rep les PDU de la capa de convergència del MAC SAP corresponent de l'altre entitat
- opcionalment, reconstrucció d'informació de les capçaleres de la càrrega suprimides

La part transmissora és la responsable d'enviar les SDU MAC al MAC SAP. La capa MAC ha de lliurar les dades a la capa MAC corresponent de la part receptora d'acord amb els paràmetres de qualitat de servei (QoS), fragmentació, concatenació i d'altres característiques acordades durant la connexió. A la banda de l'entitat receptora, la subcapa de convergència té la missió d'acceptar les SDU MAC i lliurar-les a la corresponent entitat de la capa superior.

La subcapa de convergència de paquets s'utilitza per a tots els protocols basats en la transmissió de paquets, com ara IP, PPP, VLAN i Ethernet.

Les PDU de les subcapes superiors s'encapsulen en una SDU MAC segons el format de la figura:

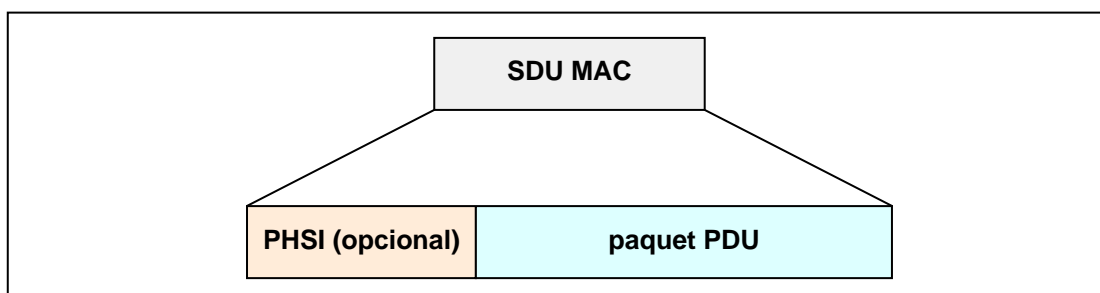


Fig. 3-4. Mapejat dels PDU de les capes superiors en SDU MAC

El paquet PDU serà diferent segons es tracti d'un tipus de protocol o altre. L'estàndard defineix les especificacions per IEEE Std 802.3/Ethernet; IEEE Std 802.1Q-1998 VLAN i IP, amb, i sense, supressió, de capçaleres.

3.1.2 Subcapa de parts comunes

En general, la capa MAC 802.16 està dissenyada per a arquitectures punt-multipunt amb un estació base central que pot controlar diversos sectors independents simultàniament. En el sentit de baixada, transmissió de dades de l'estació base cap a les estacions client, les dades es multiplexen per divisió en el temps- *Time Division Multiplex* (TDM)-, mentre que en el sentit invers, el de pujada, es multiplexen les dades enviades per les estacions client comparteixen el medi mitjançant accés múltiple per divisió en el temps- *Time Division Multiple Acces* (TDMA)

adreçament i connexions

Cada estació client té una adreça MAC de 48 bits, que serveix, principalment, com a identificador d'equip, ja que les adreces que s'utilitzen en les connexions són els CID. Un cop una estació base entra en una xarxa se li assignen tres connexions de gestió per a cada sentit (pujada i baixada de dades), que reflecteixen els tres diferents nivells de requeriment de QoS usats pels diferents nivells de gestió:

- la primera és la connexió bàsica, que s'utilitza per a la transferència de missatges curts, missatges MAC de temps crític i missatges de control d'enllaç per ràdio
- la segona és la connexió primària i serveix per a transferir missatges més llargs i més tolerants als retards, com ara els usats per a l'autenticació i a l'establiment de les característiques de la connexió
- la tercera és la connexió secundària s'utilitza per a transferir els missatges basats en altres estàndards, per exemple *Dynamic Host Control Protocol* (DHCP), *Trivial File Transfer Protocol* (TFTP), *Simple Network Management Protocol* (SNMP), etc.

A més d'aquests tipus de connexions, les estacions base disposen d'altres per als serveis contractats. Les connexions són unidireccionals, per a permetre paràmetres de QoS diferents per a la pujada i per a la baixada de dades, i normalment s'assignen un parell de connexions a cada servei.

La capa MAC també reserva connexions per d'altres propòsits: accés inicial basat en competència; difusió de missatges cap a les estacions client, així com difusió de senyalització per a accés en competència segons les necessitats d'ample de banda de les estacions client, etc.

L'ús d'identificadors CID de 16 bits permet fins a 64K connexions per cada canal de pujada o de baixada.

La subcapa de parts comunes MAC és una interfície lògica, i defineix els serveis entre ella i la subcapa de convergència de serveis específics. La transferència d'informació es fa a través de primitives, que representen diferents ítems de comunicació. L'estructura de les primitives permet enviar els paràmetres que defineixen amb exactitud les característiques de cada petició i resposta.

El sistema de comunicació mitjançant primitives s'il·lustra a la figura següent. La capa superior demana un servei a la capa inferior amb una primitiva "request" Aquesta petició es transmet per ones i quan arriba a la subcapa MAC corresponent genera una primitiva "indicate" que informa a la subcapa CS de la petició; aquesta respon amb una primitiva "response" que s'envia per les ones a la subcapa MAC que va generar

la petició. Un cop rebuda, envia a la capa demandant del servei una primitiva "confirm".

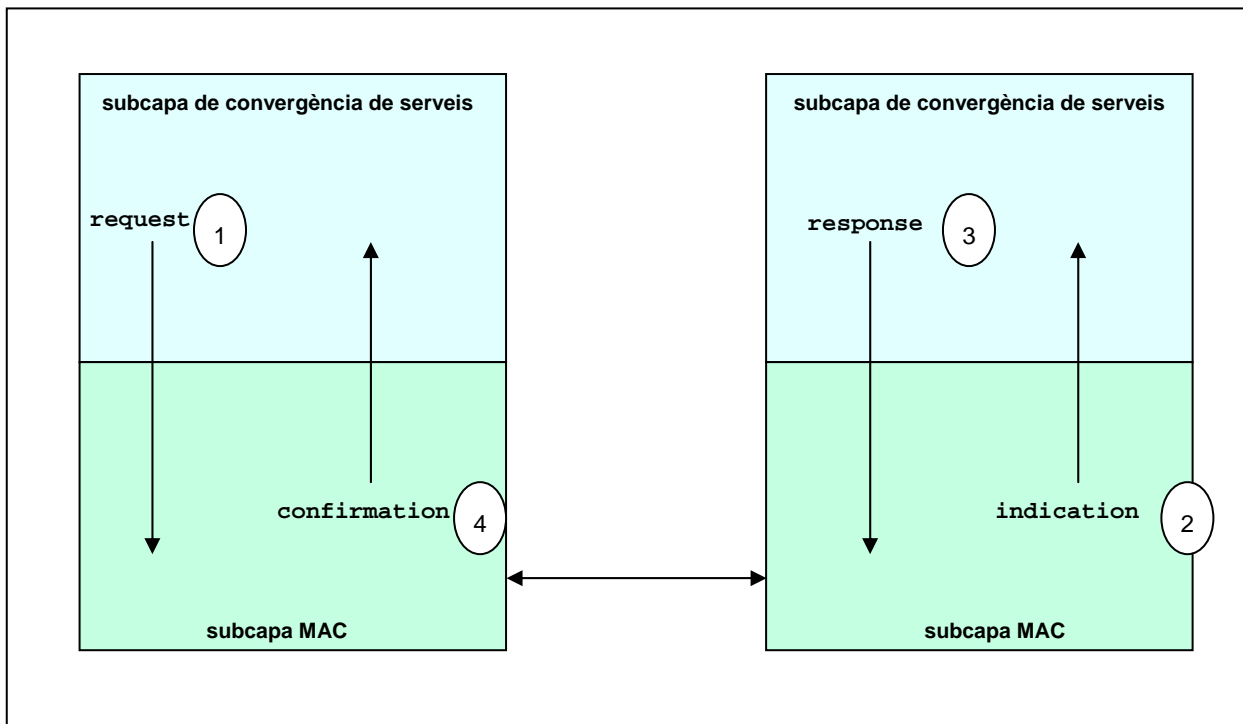


Fig. 3-5. Comunicació entre capes mitjançant primitives

format de les PDU MAC

Les PDU MAC són les unitats de dades que s'intercanvien entre les capes MAC de l'estació base i de les estacions client. Consisteixen en una capçalera de longitud fixa, una càrrega de longitud variable i, opcionalment, un control de redundància cíclica.

El format de la capçalera pot ser dos tipus: la capçalera genèrica i la capçalera de petició d'ample de banda, que es diferencien pel valor del camp HT.

La càrrega- *payload* - pot contenir cap o diverses subcapçaleres i cap o diverses SDU MAC, i/o fragments de SDU MAC. La longitud variable permet encapsular informació procedent de les capes superiors sense necessitat de conèixer el seu format o el patró de bits dels missatges.

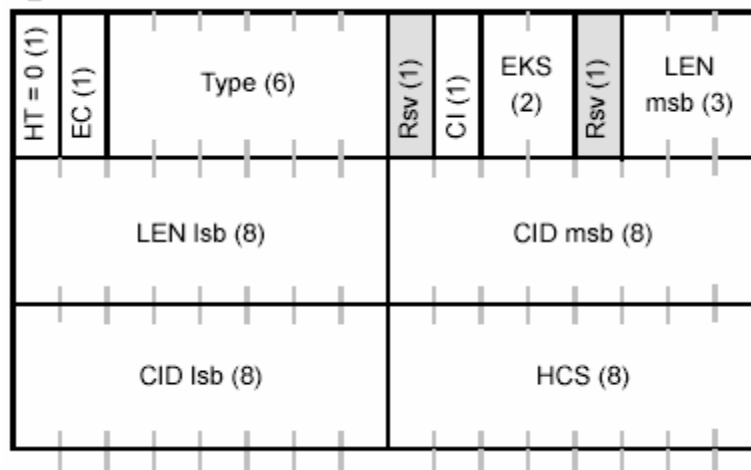


Fig. 3-6. Capçalera genèrica per les PDU MAC

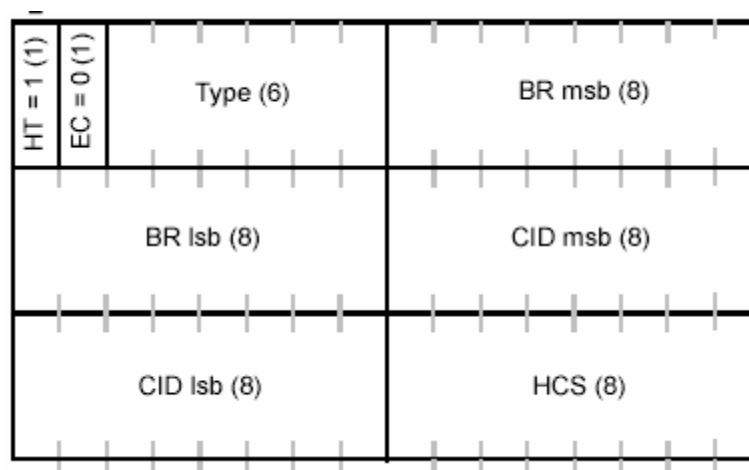


Fig. 3-7. Capçalera de petició d'ample de banda per les PDU MAC

missatges de gestió

Es defineix un conjunt de missatges de gestió que es transporten en la càrrega de les PDU MAC. Tots els missatges de gestió comencen amb un camp que informa del tipus de missatge, i poden contenir més camps.

La seva estructura es mostra a la figura següent:

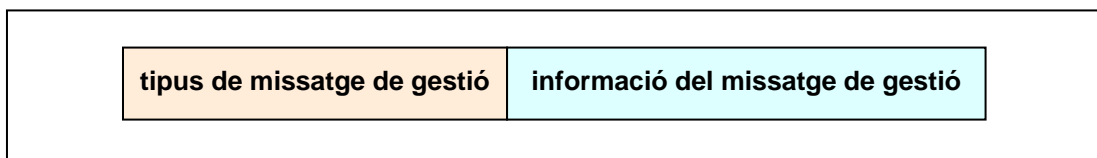


Fig. 3-8. Format dels missatges de gestió MAC

La codificació dels missatges i el tipus de connexió es poden veure a l'Annex 4, taula 7.

construcció i transmissió de les PDU MAC

Amb la finalitat d'optimitzar la transmissió de dades, l'ample de banda utilitzat i proporcionar seguretat, les PDU MAC es poden construir aprofitant diverses tècniques:

- es poden concatenar diverses PDU MAC en una sola ràfega de transmissió, tant en el sentit de pujada com en el de baixada. Els missatges de gestió, les dades d'usuari i les PDU MAC de petició d'ample de banda també es poden concatenar
- la fragmentació permet dividir el contingut d'una SDU MAC en diferents PDU MAC. Aquest procés permet millorar l'ús de l'ample de banda disponible segons els requeriments de QoS de la connexió. L'estació base pot iniciar la fragmentació en les connexions de baixada i les estacions client ho poden fer en el sentit de pujada
- és possible empaquetar diverses SDU MAC en una única PDU MAC. L'entitat transmissora és qui decideix si empaqueta o no les SDU MAC
- combinació de fragmentació i empaquetament per a optimitzar l'ús dels enllaços de ràdio
- es pot afegir un càlcul del CRC que pot protegir la capçalera genèrica MAC i la càrrega. Sempre s'ha de calcular després de les possibles encriptacions.
- encriptació de les PDU MAC. La capçalera genèrica no pot ser encriptada, ja que conté la informació necessària per a la desencriptació: camp de control de l'encriptació, camp de la clau de la seqüència d'encriptació i CID

servei de programació de les pujades de dades

Cada connexió de pujada té associat un servei de programació que permet millorar l'eficiència dels processos de petició i concessió d'ample de banda. Durant l'establiment de la connexió es negocien les necessitats del servei i els paràmetres QoS associats. Llavors, les estacions base poden anticipar les necessitats de velocitat i de retard del trànsit de pujada i actuar en conseqüència.

Es consideren quatre serveis bàsics:

- servei no sol·licitat de concessió- *Unsolicited Grant Service* (UGS)-, pensat per a serveis que generen unitats fixes de dades periòdicament. L'estació base assegura l'acompliment dels paràmetres de connexió sense necessitat d'efectuar peticions, amb la qual cosa s'elimina la sobrecàrrega i la latència deguda als missatges de petició. Generalment, aquest mode s'aplica a connexions ATM CBR i a circuits E1/T1 sobre ATM
- servei de peticions en temps real- *Real-Time Polling Service* (rtPS)-, dissenyat per als serveis de temps real que generen periòdicament paquets de mida variable, per exemple, transmissió de fluxos de dades de vídeo, veu sobre IP, etc. Les estacions client demanen l'ample de banda que necessiten i l'estació base els hi concedeix només el que realment necessiten. Les peticions augmenten la sobrecàrrega i la latència del protocol, però aquest sistema optimitza el transport de dades
- servei de peticions en temps no real - *Non-Real-Time Polling Service* (nrtPS)-, semblant a l'anterior, però amb la diferència que les estacions poden intentar utilitzar ample de banda sobrant enviant peticions a l'estació base. Està pensat per a aplicacions que toleren retards llargs, per exemple serveis FTP de banda ampla, o ATM GFR

- serveis de mínim esforç- *Best Effort Service (BE)* -, no es garanteix la velocitat ni els retards. Les estacions clients envien peticions quan tenen l'oportunitat. Els elements clau d'aquest servei són velocitat mínima reservada, la velocitat màxima sostinguda i la prioritat d'accés

La taula següent resumeix les característiques dels serveis de programació de pujada de dades:

servei de programació	petició dins de la connexió	apropiació d'ample de banda	sol·licituds (<i>polling</i>)
UGS	no es permet	no es permet	s'usa el bit PM per a demanar ample de banda per a connexions no-UGS individuals
rtPS	permesa	es permet per al mode GPSS	només es permet fer peticions per a connexions individuals
nrtPS	permesa	es permet per al mode GPSS	el servei pot obligar a què només es puguin fer peticions per a connexions individuals, o bé permetre qualsevol altre tipus de peticions
BE	permesa	es permet per al mode GPSS	es permet qualsevol tipus de petició

Taula 3-1. Característiques dels serveis de programació pujada de dades

mecanismes de petició i d'assignació d'ample de banda

Els requeriments d'ample de banda de les estacions client poden variar en el temps. Quan això succeeix, l'estació client fa una petició d'augment d'ample de banda a l'estació base. Les peticions d'ample de banda poden ser:

- incrementals: l'estació base l'afegirà segons el que cregui que necessita l'estació client
- agregades: l'estació base afegirà el que demani explícitament l'estació client

A causa de la naturalesa del protocol de petició i obtenció d'ample de banda, l'estació client ha d'utilitzar periòdicament peticions d'agregació. La periodicitat depèn de la qualitat de l'enllaç i de paràmetres de qualitat de servei.

Independentment del tipus de petició sol·licitat l'estació client podem diferenciar dos modes de treball:

- mode de petició per a connexió- *Grant Connection mode (GPC)*-, en aquest cas l'estació base assigna l'ample de banda a la connexió específica que ho sol·licita
- mode de petició per a estació client - *Grant per Subscriber Station mode (GPSS)*-, l'ample de banda s'assigna a l'estació client per a què el comparteixi amb totes les connexions que mantingui. Aquest mode pot ser útil per a aplicacions de temps real que requereixen una ràpida resposta del sistema.

enquestes (*polling*)

Periòdicament, l'estació base enquesta les estacions per si han variat els requeriments d'ample de banda. El mecanisme consisteix a assignar porcions de l'ample de banda per a què les estacions client puguin enviar les peticions. Aquest procediment es coneix amb el nom de *polling*.

La facilitat de poder augmentar o disminuir l'ample de banda dels serveis, tret dels serveis UGS de velocitat constant, permet adaptar els recursos a les necessitats de

cada moment. Aquesta tècnica es coneix com accés múltiple per petició d'assignació - *Demand Assigned Multiple Access (DAMA)*

enquestes individuals (unicast)

Quan una estació és enquestada individualment no s'envia cap missatge específic, simplement s'afegeix en el mapa de pujada l'ample de banda suficient perquè l'estació client pugui respondre amb una petició. Per a estalviar ample de banda no s'enquesten les estacions que, treballant en mode GPSS, tinguin connexions UGS actives amb suficient ample de banda.

enquestes a grups (multicast) i a tots (broadcast)

En el cas de que l'ample de banda sigui insuficient per a enquestar a les estacions client individualment, es pot enquestar un grup d'estacions (*multicast*) o bé a totes a l'hora (*broadcast*) Tampoc s'envia un missatge explícit, sinó que s'afegeix en el mapa de pujada l'ample de banda per a fer les peticions. Només han de contestar les estacions que necessitin fer una petició d'ample de banda.

bit de petició d'enquesta - *poll-me bit* -

Les estacions client amb connexions UGS actives que necessitin demanar ample de banda per a altres connexions no-UGS, poden activar el bit PM per a demanar que siguin enquestades per l'estació base. Quan l'estació base detecti aquest bit actiu li enviarà una enquesta individual.

suport de la capa MAC a la capa física PHY

La capa MAC ha de disposar de les funcions necessàries per a treballar amb les diferents implementacions de capa física que especifica l'estàndard.

resolució de la competència

L'estació base controla l'assignació de la subtrama de pujada i determina per quins minislots poden competir les estacions client per a poder connectar-se a la xarxa. També poden competir pels intervals destinats demanar ample de banda

La resolució de la competència es basa en un backoff exponencial binari truncat, amb un backoff inicial i una finestra màxima de backoff. Les estacions client seleccionen aleatòriament un número comprès entre els dos valors i aquest és el número de d'oportunitats de transmissió (minislots en els quals es pot començar una transmissió) hauran d'esperar.

accés a la xarxa i inicialització

El procediment d'accés d'una estació client a la xarxa es pot dividir en les següents fases:

- búsqueda d'un canal de baixada de dades
- sincronització amb l'estació base
- obtenir els paràmetres de pujada de dades
- alineament de trames de l'estació base i ajustaments automàtics
- negociació de les capacitats bàsiques
- autorització de l'estació client i intercanvi de claus
- registre de l'estació client
- negociació i establiment de la versió d'IP

- establiment del dia i l'hora
- transferència de l'arxiu de configuració de l'estació client
- inicialització de les connexions

control dels perfils de ràfegues

Inicialment, el perfil de ràfegues de baixada de dades per a un canal en concret el determina l'estació base segons factors com la pluviometria de la regió i les capacitats de l'estació client. Durant l'accés, l'estació client ajusta la potència d'emissió a través de l'intercanvi de missatges amb l'estació base, que l'informen de quins ajustos ha d'efectuar. L'estació base sempre monitoritza el senyal que rep de l'estació client i pot enviar missatges per a realitzar ajustos segons la qualitat de l'enllaç.

L'estació client, en funció de les mesures de qualitat de la senyal rebuda abans i durant l'alineació inicial, pot sol·licitar un perfil de ràfegues que l'estació base pot acceptar o denegar.

Mentre dura la connexió es continua monitoritzant i controlant els perfils. L'empitjorament de les condicions, per exemple, pluges intenses, poden forçar a una estació client a sol·licitar un perfil de pujada més robust, o la millora també pot provocar la petició d'un perfil menys robust però més eficient. Si és possible, l'estació base modificarà el perfil sense cap intercanvi de missatges.

En el sentit de baixada l'estació client és la que monitoritza la qualitat de la senyal rebuda i sap si es necessari modificar el perfil. Com que el control el té l'estació base, li ha de demanar el canvi i l'estació base ho confirmarà o ho denegarà.

Per a evitar les pèrdues de missatges deguts a errors irrecuperables els protocols de canvi de perfil s'estructuren de forma molt rígida. Les estacions client sempre estan obligades a acceptar els perfils més robustos.

3.1.3 Subcapa de privacitat

La privacitat de les comunicacions a través de la xarxa s'aconsegueix mitjançant l'encryptació de les comunicacions entre l'estació base i l'estació client. A més, la privacitat protegeix als operadors de comunicacions dels accessos no autoritzats i del robatori de serveis.

Per a l'autenticació s'utilitza un protocol de gestió de claus client-servidor en el qual l'estació base s'encarrega de la distribució del material protegit per claus a les estacions clients. Per a augmentar la robustesa dels mecanismes de privacitat s'afegeix al protocol de gestió de claus l'autenticació de les estacions clients mitjançant certificats digitals.

L'arquitectura utilitzada per la privacitat està formada per dos components:

- Un protocol d'encapsulació per a encriptar els paquets mentre viatgen pel sistema sense fils. Aquest protocol defineix un conjunt de mètodes criptogràfics i les regles per a aplicar aquests algorismes a la càrrega que transporta la PDU
- Un protocol de gestió de claus- *Privacy Key Management (PKM)*- que proporciona una distribució segura de claus entre l'estació base i les estacions client. Aquest protocol l'aprofita l'estació base per a reforçar la seguretat en l'accés als serveis de la xarxa

3.2 La capa física PHY per a la banda de 10 a 66 GHz

La especificació de la capa física per a la banda de freqüències entre 10 i 66 GHz està dissenyada amb un alt grau de flexibilitat per a permetre als fabricants optimitzar el desplegament dels sistemes des del punt de vista del planejament de cèl·lules, cost, capacitats de ràdio, serveis i capacitat dels sistemes.

Accepta les tècniques de duplexació per divisió de temps- *Time Division Duplexing* (TDD)-, i de freqüència- *Frequency Division Duplexing* (FDD) En els dos casos s'utilitza un mecanisme de transferència de dades a ràfegues que permet adaptar els perfils de transferència a les condicions de cada estació client en cada moment, incloent la modificació dels esquemes de modulació i codificació.

- en un sistema amb duplexació per divisió de freqüència els canals de pujada i de baixada de dades treballen a freqüències diferents i cada estació client pot emetre i rebre dades simultàniament.
- en un sistema amb transmissió a ràfegues i amb duplexació per divisió de freqüència els canals de pujada i de baixada treballen en freqüències diferents.

En la pujada i en la baixada de dades s'utilitza una trama de duració fixa. Així es facilita l'ús de diferents tipus de modulació, simplifica els algorismes de distribució d'ample de banda i permet la definició de estacions client *full-duplex* o *half-duplex*

- en el cas de duplexació per divisió en el temps els canals de pujada i de baixada ocupen diferents intervals de temps i acostumen a compartir la mateixa freqüència. Les trames tenen una duració fixa i contenen una subtrama de baixada i una subtrama de pujada de longitud variable que es modifica segons les necessitats d'ample de banda en cada sentit

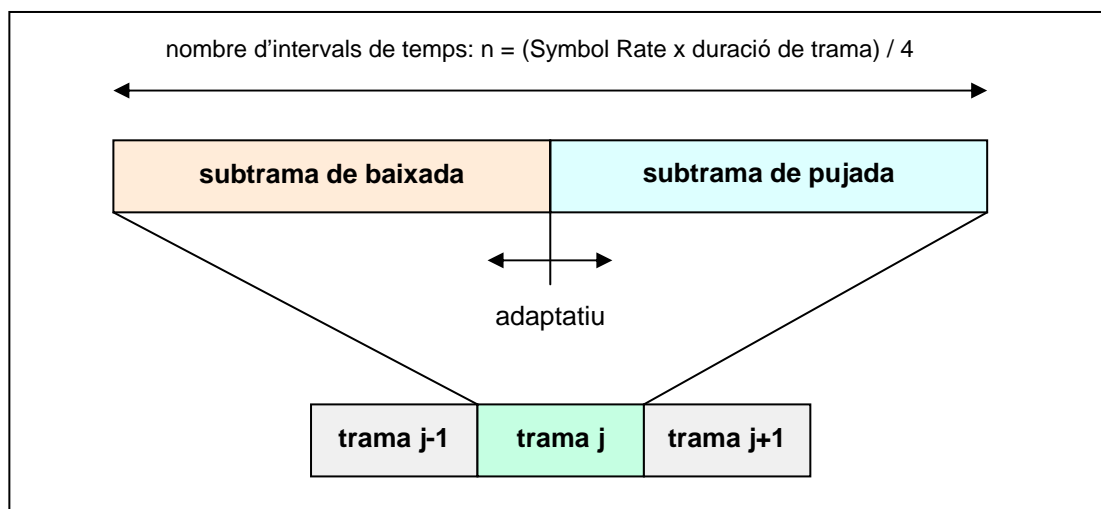


Fig. 3-9. Estructura de les trames TDD

Les subtrames comencen amb una secció de control que conté els missatges:

- *Downlink Map* (DL-MAP), que defineix l'ús dels intervals de temps de la subtrama de baixada
- *Uplink Map* (UL-MAP), que defineix l'ús de les divisions - minislots- que es fan a la subtrama de pujada

L'estàndard defineix dos modes d'operació: un que permet fluxos de transmissió continua (necessari per a aplicacions de transmissió de vídeo o serveis que no puguin tenir retards), i un altre per a transmissions a ràfegues (per exemple, serveis basats en trànsit IP) La transmissió continua permet l'ús de determinades tècniques de millora de la robustesa, com l'entrellaçat; mentre que en el mode de ràfegues possibilita tècniques més avançades de millora de la robustesa i de la capacitat, per exemple perfils adaptatius de transmissió de ràfegues i ús de sistemes avançats d'antenes.

Per a la transmissió des dels clients cap a l'estació base s'utilitza l'accés múltiple per demanda- *Demand Assignment Multiple Access* (DAMA) Concretament, el canal de pujada es divideix en intervals de temps i la capa MAC de l'estació base controla quants es destinen a cada ús (registre, competència, guarda, o trànsit de dades d'usuari), podent variar per a obtenir unes prestacions òptimes. La pujada de dades es basa en una transmissió a ràfegues TDMA. Cada ràfega pot transportar PDU MAC de longitud variable. El transmissor aleatoritza les dades, les codifica amb *Forward Correction Errors* (FEC) i les modula amb un esquema QPSK, QAM-16 o QAM-64.

En el canal de baixada de dades s'utilitza la multiplexació per divisió en el temps- *Time Division Multiplexed* (TDM) Totes les estacions client reben una trama única en la qual s'han multiplexat les dades que s'han d'enviar a cada estació. Els bits que provenen de la subcapa de transmissió són aleatoritzats, codificats amb *Forward Correction Errors* (FEC) i modulats amb un esquema QPSK, QAM-16 o QAM-64.

Amb la conjunció de les dues tècniques s'aconsegueix assignar dinàmicament els intervals de temps de la trama.

3.2.1 Serveis que ofereix la capa PHY a la capa MAC

La capa física ofereix serveis a la capa MAC utilitzant un conjunt de primitives que són gestionades pel punt d'accés a serveis PHY. Inclouen funcions d'ajust de freqüència, control de potència, compensació dels retards de propagació, etc. Són de tres tipus:

- primitives per a la transferència de dades en les interaccions entre les capes MAC de les estacions que es comuniquen
- primitives relacionades amb el control de capa, per a permetre les interaccions locals entre subcapes
- primitives per a les funcions de control

Algunes de les primitives utilitzen vectors de paràmetres que es poden utilitzar per a intercanviar informació entre les capes PHY i MAC. Per exemple:

- programació dels serveis, com la durada dels símbols
- configuració del canal de baixada i del de pujada, com la freqüència central i el conjunt actiu de perfils de ràfegues
- ajustos de transmissió demanats per l'emissor
- informes de la qualitat de recepció obtinguda pel receptor
- indicadors relacionats amb la transmissió i recepció de la PDU PHY, com la potència de transmissió, l'especificació de capçaleres, els perfils de ràfegues per a cada ràfega, la quantitat de dades que s'han de transmetre (o s'esperen rebre) en cada ràfega, etc.
- indicadors de la capa física que representen tota l'activitat de la capa PHY provocada per una petició de transmissió, o de recepció, de la capa MAC, per

exemple, informació sobre sobrecàrregues produïdes durant la transferència de dades, robustesa de la senyal de recepció, errors trobats durant la correcció d'errors FEC, etc.

3.2.2 Trames

Les trames estan formades per una subtrama de baixada i una subtrama de pujada. La subtrama de baixada comença amb la informació necessària per a la sincronització i control de la trama.

Cada estació client intenta rebre tota la informació de baixada, excepte aquelles corresponents a un perfil de ràfegues no implementat a l'estació o menys robust que el perfil que actualment està usant.

3.2.2.1 Estructura de les trames de baixada

trames usant duplexació per divisió en el temps TDD

La subtrama de baixada comença amb una capçalera d'inici utilitzada per la capa física per a la sincronització i l'equalització.

A continuació ve la secció de control de trama, que conté el mapa de baixada DL-MAP i el mapa de pujada UL-MAP, que especifiquen on comencen les ràfegues de dades. S'utilitza per a controlar la informació destinada a totes les estacions client i no pot anar encriptada. Conté un missatge DL-MAP pel canal, seguit de tants missatges UL-MAP com canals hi hagi destinats per a la pujada de dades. Pot contenir també missatges DCD i UCD darrera de l'últim UL-MAP.

Després apareix la part de la trama que du la informació multiplexada en el temps, on es troben les dades organitzades en ràfegues, amb el seu perfil de ràfega i els diferents nivells de robustesa. Es transmeten segons el nivell de robustesa, en ordre decreixent. Per exemple, utilitzant una FEC amb paràmetres fixos, es trobarien en primer lloc les dades codificades amb modulació QPSK, després anirien les codificades amb QAM-16 i , a continuació, les codificades amb QAM-64. També transporten les dades de control per a estacions de client concretes.

Finalment es troba l'espai de separació entre la subtrama de baixada i la de pujada, el TTG.

Cada estació client rep la informació de control, la descodifica i busca en les capçaleres MAC quina part de la informació li pertany.

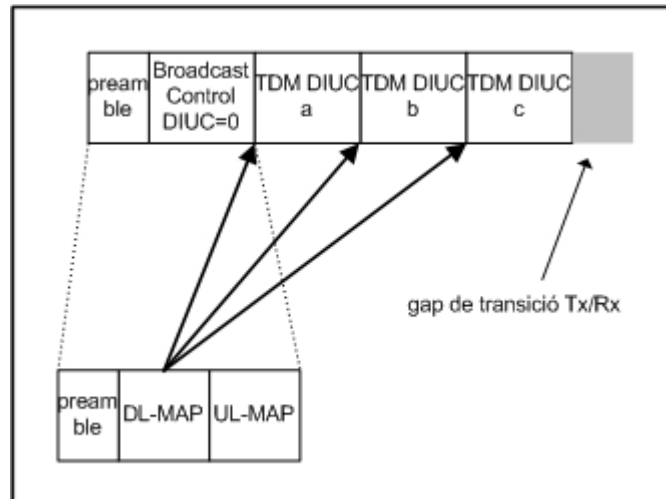


Fig. 3-10. Estructura de la subtrama de baixada amb duplexació per divisió en el temps TDD

trames usant duplexació per divisió en freqüència FDD

La trama es diferencia del cas TDD en la porció de la trama que du la informació multiplexada en el temps, que ara pot contenir dades transmeses en diferents modes:

- estacions clients en mode *half-duplex*
- estacions clients en mode *half-duplex*, programades per a transmetre després de rebre
- estacions clients en mode *half-duplex*, no programades per a transmetre en la trama actual

A continuació ve una part que transporta la informació de les estacions clients en mode *half-duplex* programades per a transmetre després de rebre. Això permet a una estació client descodificar només un porció de la subtrama. En aquesta part de la subtrama cada ràfega comença amb una informació per a la resincronització de fase. Les ràfegues no necessiten anar ordenades segons la robustesa del perfil de ràfegues.

En el cas de la duplexació per divisió en freqüència, la secció de control de trama inclou un mapa de les ràfegues TDM i TDMA.

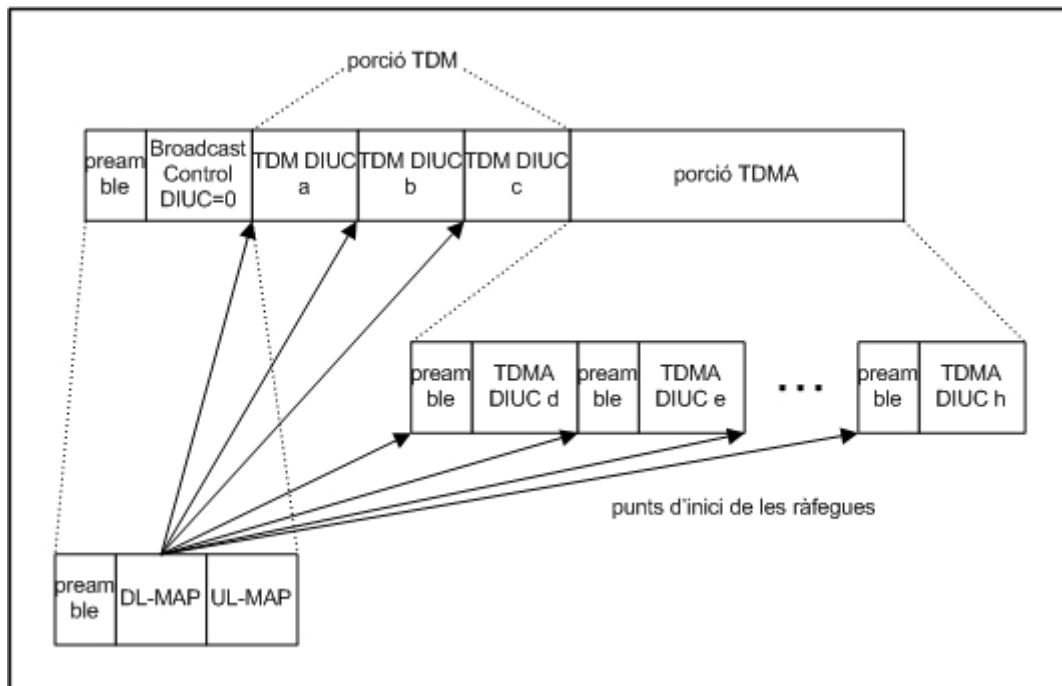


Fig. 3-11. Estructura subtrama de baixada amb duplexació per divisió en freqüència FDD

Si la porció de dades és del tipus TDM, les dades s'han de transmetre en ordre decreixent segons la robustesa del perfil de ràfegues; si és del tipus TDMA, les dades s'agrupen en ràfegues separades i no necessiten estar ordenades. El missatge DL-MAP conté un mapa que indica en quines posicions hi ha un canvi de perfil.

conjunt de característiques de l'estació client

Durant el període de registre l'estació client ha de comunicar a l'estació base les seves capacitats: tipus de modulació, esquemes de codificació FEC acceptats, etc.

codificació de la secció de control de la trama

La secció de control de la trama ha de codificar un conjunt de paràmetres coneguts per les estacions client durant la inicialització, de manera que les estacions client puguin llegir la informació.

perfils de ràfegues

Es poden definir fins a 12 perfils de ràfegues, que permeten adaptar la robustesa del perfil a les característiques de propagació del medi de transmissió.

Mitjançant missatges MAC, l'estació base comunica a l'estació client el canal de baixada, els paràmetres dels perfils i el perfil a usar. Per a canviar d'un perfil de ràfegues a un altre, l'estació base ha d'ajustar la potència segons un dels dos modes següents:

- mantenir constant la potència de pic, totes les subportadores es transmeten amb la mateixa potència, independentment del tipus de modulació
- mantenir constant la potència mitja, llavors, el senyal es transmet a la mateixa potència mitja, independentment del tipus de modulació

La modulació en el canal de pujada és variable i la determina l'estació base. Les estacions clients han d'implementar el tipus QPSK, mentre que QAM-16 i QAM-64 són opcionals.

3.2.2.2 Estructura de les trames de pujada

La subtrama de pujada la utilitzen les estacions clients per a pujar dades cap a l'estació base. Només es poden transmetre en determinats moments:

- durant les oportunitats de competència i que estan reservades per al manteniment inicial
- durant les oportunitats de competència reservades per a respondre als missatges de multidifusió i de difusió a grups
- en els intervals específicament definits per a cada estació client

Cada una d'aquestes ràfegues es pot trobar a qualsevol trama. Dins d'una trama poden aparèixer en qualsevol quantitat i ordre, segons el mapa de pujada definit per l'estació base.

A la subtrama de pujada, les transmissions de les diferents estacions clients es separen mitjançant els separadors de transició- *SS Transition Gaps* - que, amb l'ajut de les capçaleres, permeten a l'estació base sincronitzar-se amb les diferents estacions client.

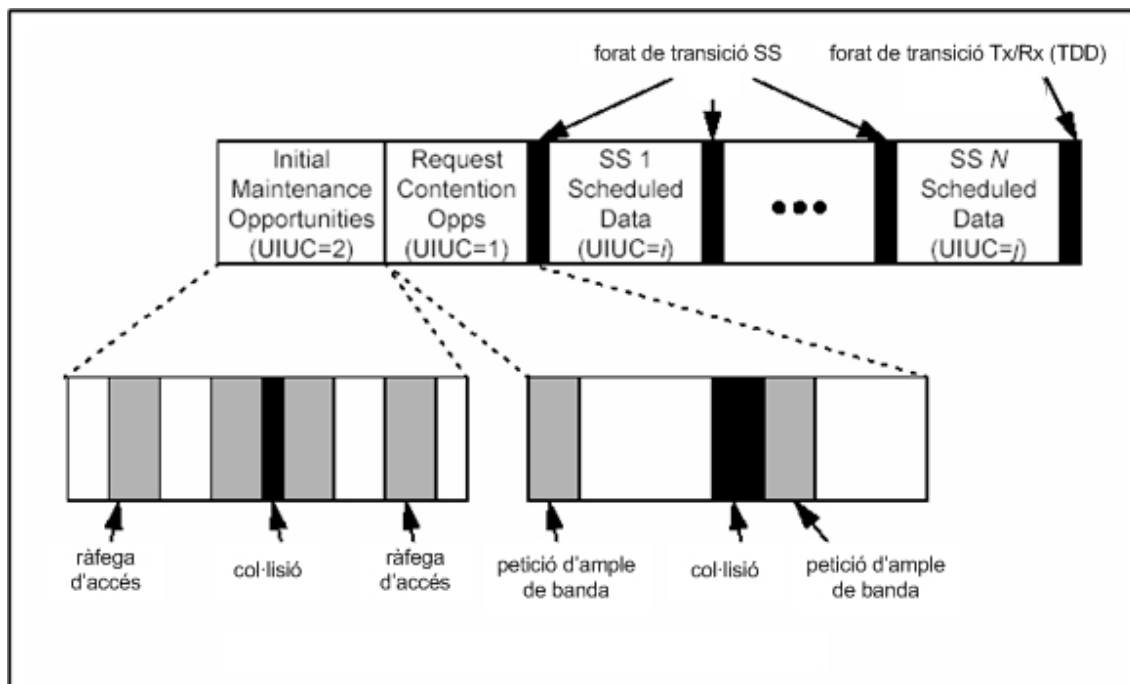


Fig. 3-12. Estructura de la subtrama de pujada de dades de la capa física

3.2.3 Codificació i modulació dels canals de baixada i de pujada

Les passes principals que es segueixen són:

- aleatorització del senyal per a minimitzar la possibilitat de transmissió de portadores no modulades i per a assegurar un nombre de transicions de bit que permetin la recuperació del rellotge
- codificació amb un esquema de correcció d'errors. L'esquema concret depèn de si és una estació base o client i del tipus de modulació emprada (a l'annex 4, la taula 9 resumeix les diferents opcions)
- modulació amb l'esquema adequat

Per a optimitzar l'ús de l'enllaç, la capa física utilitza un esquema de modulació multinivell. L'estació client pot demanar el canvi del tipus de modulació en funció de la qualitat del canal de radiofreqüència:

- si les condicions de transmissió són bones es selecciona una modulació que permeti una major velocitat de transmissió de dades a costa d'una menor robustesa
- si el medi es degrada, es selecciona una modulació més robusta, però més lenta

Es tracta d'aconseguir en cada moment el màxim de velocitat que permeti mantenir una connexió fiable.

Les estacions base han d'implementar les modulacions QPSK i QAM-16, i, opcionalment, la QAM-64. L'eficiència espectral, mesurada en bits/s/Hz, depèn del tipus de modulació:

tipus de modulació	número de bits per símbol
QSPK	2
QAM-16	4
QAM-64	6

Taula 3-2. Eficiència espectral segons el tipus de modulació emprat

El diagrama de blocs bàsics dels processos de transmissió i recepció es representa a la següent figura:

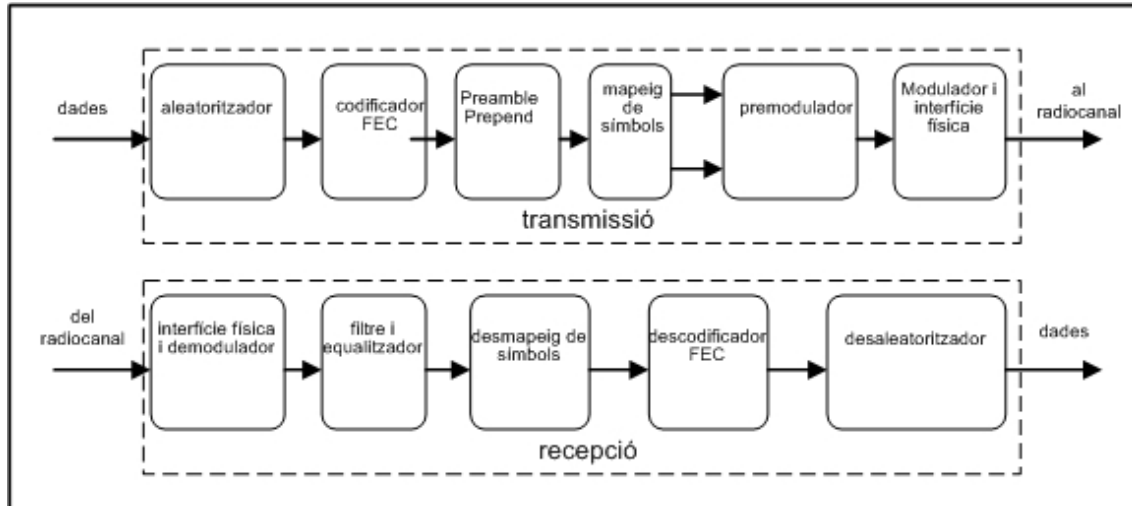


Fig. 3-13. Diagrama de blocs de baixada de dades de la subcapa dependent del medi

3.2.4 Velocitat i ample de banda dels canals

La banda entre 10 i 66 GHz ofereix una gran quantitat d'espectre utilitzable per als sistemes punt-multipunt. Tot i les diferents regulacions i restriccions legals aplicables a cada zona, existeixen suficients coincidències com per a definir uns valors per defecte de l'ample de banda dels radiocanals, vàlids en zones relativament amplies. Aquesta definició és necessària per a construir equips que mantinguin la interoperabilitat en el medi de transmissió (a la interfície aire)

Les prestacions que es poden aconseguir en funció de l'ample de banda del canal i de la modulació utilitzada es mostren a la següent taula:

ample de banda del canal (MHz)	velocitat de modulació (Mbaud)	velocitat de bits (Mbps) QPSK	velocitat de bits (Mbps) QAM-16	velocitat de bits (Mbps) QAM-64	durada recomanada de la trama (ms)	nombre d'interval·ls per trama
20	16	32	64	96	1	4000
25	20	40	80	120	1	5000
28	22.4	44.8	89.6	134.4	1	5600

Taula 3-3. Prestacions dels radiocanals segons l'ample banda i la modulació utilitzada

Les velocitats de modulació s'han triat de manera que s'utilitzin un nombre enter d'interval·ls per trama. La durada de la trama ofereix un compromís entre l'eficiència en el transport (per poca sobrecàrrega deguda a les trames) i la latència.

3.2.5 Subsistema de control de ràdio

tècniques de sincronització

L'estació client es sincronitza amb el rellotge de l'estació base amb la informació del canal de baixada. Aquest senyal de rellotge es pot utilitzar per a processos crítics.

En el sentit de pujada, la subcapa MAC defineix un procediment que assegura la sincronització de temps dels interval·ls, de manera que no es produeixin interferències en la pujada de dades de diferents usuaris.

control de freqüència

El control de freqüència és un component crític de la capa física. Les altes freqüències són molt sensibles a l'envelliment i a la temperatura. Per a minimitzar la complexitat dels equips de radiofreqüència a les estacions client cal que les freqüències dels canals de baixada i de pujada es coordinin, fent referència les unes a les altres.

Tot i que durant la connexió inicial ja existeix un procediment de calibració i control de freqüència i potència, periòdicament es fan mesuraments que serveixen a l'estació base per a decidir si cal efectuar ajustaments a l'estació client i enviar, si és el cas, els missatges MAC amb les indicacions per a corregir la freqüència d'emissió.

control de potència

També cal un algoritme per al control de potència en el canal de pujada. S'efectua una calibració inicial, i, posteriorment, mesures i ajustaments periòdics per a assegurar que no hi hagi pèrdua de dades.

L'estació base ha de poder realitzar mesures precises de la potència rebuda. Aquest valor es compara amb un nivell de referència. Si s'ha de modificar la potència l'estació client se li envia un missatge MAC amb les indicacions per a calibrar-la.

Aquest algoritme ha de permetre controlar atenuacions de potència, degudes a les pèrdues per distància o a les fluctuacions de potència, de com a màxim 10 dB/s amb una profunditat mínima de 40 dB i ha de tenir en compte les interaccions entre l'amplificador de radiofreqüència amb diferents perfils de ràfegues. La implementació exacta de l'algoritme depèn del fabricant.

Prestacions mínimes dels equips

Per a garantir la interoperabilitat de les estacions client s'estableixen un conjunt de prestacions mínimes que han d'oferir tant els equips transmissors com els receptors. En canvi per a les estacions base només es defineixen els requisits mínims dels equips transmissors.

A l'annex 4, a les taules 12 i 13 es poden consultar les prestacions mínimes que han d'oferir les estacions base i les estacions client.

3.2.6 Característiques de propagació

visibilitat i camins múltiples de recepció

Per a aconseguir alta qualitat i disponibilitat de servei cal que entre les estacions clients i l'estació base hi hagi visibilitat directa (LOS)

Les estacions base necessiten antenes molt direccionals per a minimitzar el nombre de recepcions per camins múltiples i les interferències produïdes per d'altres emissions inesperades.

atenuacions causades per la pluja

La pluja és un dels factors més importants en l'atenuació de la transmissió de les freqüències en la banda entre 10 i 66 GHz. La severitat de la degradació depèn del règim de pluges de la zona, de la freqüència de treball i de la llargada de l'enllaç. Per a un mateix conjunt d'equipament de transmissió, de paràmetres d'ajust i de requeriments de disponibilitat de servei, el règim de pluges determina el radi màxim de les cel·les que envolten una estació base.

La discriminació angular que proporcionen els sistemes d'antenes ajuda a mitigar aquests problemes i també pot millorar les condicions de propagació en condicions meteorològiques bones. Les característiques recomanades per als diagrames de radiació d'aquests sistemes es descriuen a l'especificació IEEE Std 802.16.2-2001.

3.2.7 Característiques del transmissor

Les mesures s'han de prendre en el punt de sortida d'antena per a qualsevol transmissor sintonitzat a qualsevol freqüència.

potència de sortida, màscares d'emissió i precisió de la modulació

Definim la potència com la potència mitja durant el temps d'emissió del senyal, excloent el temps entre ràfegues, mesurada sobre els bits aleatoritzats d'una ràfega de transmissió.

- potència de sortida de les estacions base: una estació base ha d'emetre una densitat espectral de potència isotròpica efectiva- *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) que no superi + 14 dBW/ MHz, o el marcat per la legislació aplicable.

- potència de sortida de les estacions client: una estació client ha d'emetre una EIRP que no superi + 30 dBW/ MHz, o el marcat per la legislació aplicable.

Generalment, les legislacions locals estableixen quins tipus de màscares d'emissió s'han d'utilitzar. En el cas de què es permetin diferents tipus de màscares, s'ha de seguir la màscara de tipus B definida a l'especificació ETSI EN 301 213-3.

La precisió de la modulació es mesura mitjançant el vector d'error de magnitud - *Error Vector Magnitude* (EVM) - que defineix l'error mig de la constel·lació respecte del punt més proper de la constel·lació.

Aquesta mesura s'ha de realitzar amb els ajustos de màxima potència i sobre una porció continua d'una ràfega que ocupi al menys 1/4 del total de la trama de transmissió.

3.2.8 Valors específics de la capa PHY per a la banda de 10 a 66 GHz

La següent taula resumeix alguns dels valors específics de la capa PHY per a la banda de 10 a 66 GHz.

paràmetre	valor
durada dels intervals de temps	la durada de la modulació de 4 símbols a la velocitat de modulació del canal de baixada
velocitat de modulació	ha d'estar compresa entre 10 i 32 KBaud, amb increments de 100 KBaud
freqüència central del canal de baixada	ha de ser un múltiple de 250 KHz
freqüència central del canal de pujada	ha de ser un múltiple de 250 KHz

Taula 3-4. Valors específics de la capa PHY per a la banda de 10 a 66 GHz

3.3 Qualitat de servei

L'estàndard defineix diversos conceptes relacionats amb la qualitat de servei (QoS), incloent-hi els següents:

- programació de la QoS del flux de servei
- model d'activació de dues fases
- establiment dinàmic de servei

Els sistemes descrits a l'estàndard serveixen per a oferir QoS en el trànsit de baixada i en el de pujada, des del punt de vista d'usuari final a usuari final.

El mecanisme principal per a proporcionar QoS és associar els paquets que travessen la interfície MAC amb un flux de servei. Les estacions base i les estacions client proporcionen el QoS d'acord amb el conjunt de paràmetres QoS - *QoS Parameter Set* - definit per al flux de servei.

Un flux de servei es caracteritza parcialment pels atributs:

- a) *Service Flow ID* (SFID): qualsevol flux de servei assignat té un SFID que serveix com a indicador principal per a l'estació base i les estacions clients. Qualsevol flux de servei existent té, al menys, un SFID i una direcció associats
- b) *Connection ID* (CID) una connexió pot ser associada amb un SFID només si accepta fluxos de servei

- c) *ProvisionedQoSParamSet*: conjunt de paràmetres QoS proporcionats a través de mecanismes que no són dins l'abast de l'estàndard, per exemple, un sistema de control de la xarxa
- d) *AdmittedQoSParamSet*: defineix un conjunt de paràmetres QoS per als quals l'estació base, i possiblement les estacions client, reservaran determinats recursos, principalment ample de banda, recursos de temps o de memòria, etc.
- e) *ActiveQoSParamSet*: defineix el conjunt de paràmetres QoS aplicables al flux de servei
- f) *Authorization Module*: funció lògica de l'estació base que accepta o denega cada canvi dels paràmetres QoS i Classes de Serveis associats a un flux de servei. Serveix com a limitador dels possibles valors de *AdmittedQoSParamSet* i *ActiveQoSParamSet*

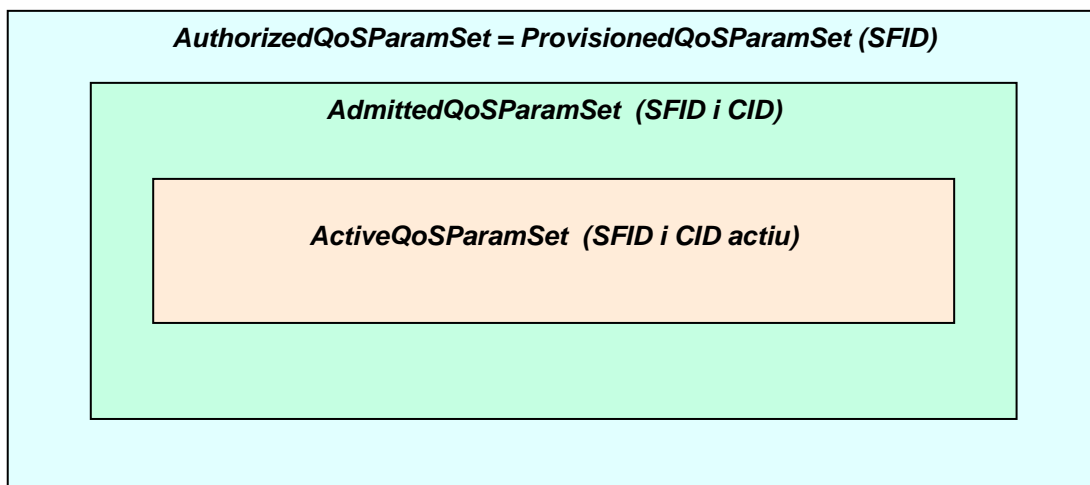


Fig. 3-14. Relacions entre els atributs referents als conjunts de paràmetres QoS

Així, un flux de servei pot especificar els paràmetres QoS de tres maneres:

- definint-los explícitament
- mitjançant referència indirecta a un conjunt de paràmetres, amb l'ús de les Classes de Servei
- indicant una Classe de Servei amb alguns paràmetres modificats

El flux de servei és el concepte principal del protocol MAC. Per exemple, un flux de servei pot estar associat amb cap o amb diverses PDU, però una PDU només pot tenir associat un flux de servei.

A continuació es representa el model de l'arquitectura:

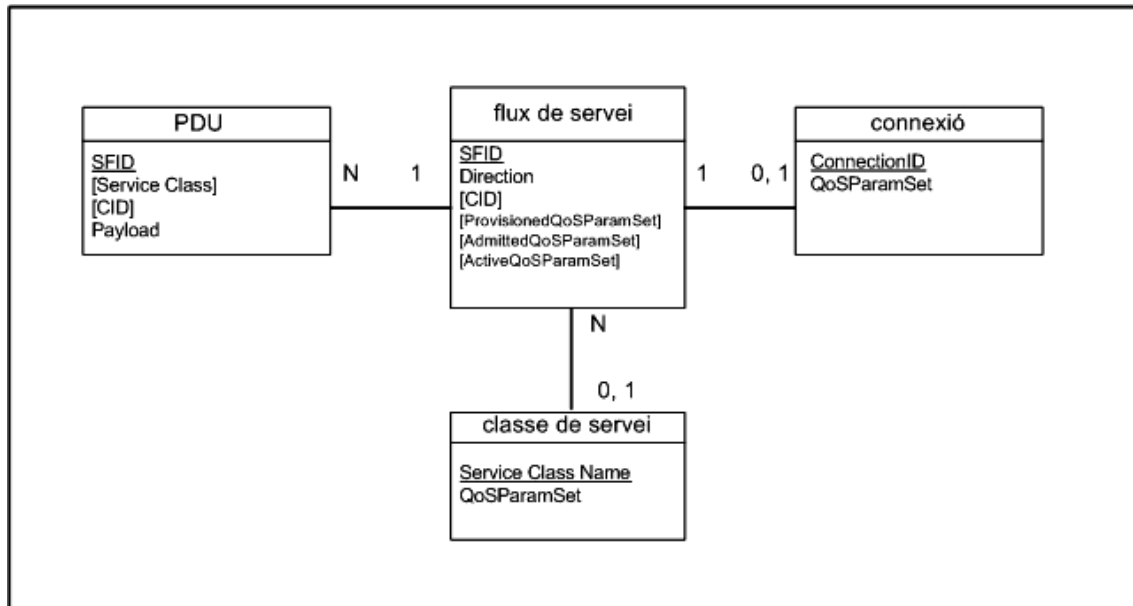


Fig. 3-15. Model de funcionament basat en el flux de servei

Tot i que hi ha més fluxos de servei, s'han de destacar tres tipus bàsics:

- fluxos de servei previstos. L'estació base assigna un SFID a cada flux de servei previst, però no li reserva recursos fins que s'activa.
- fluxos de servei admesos. Aquest protocol permet un model d'activació de dues fases: en primer lloc, s'admeten els fluxos i posteriorment, quan es completa la negociació entre els dos extrems, s'activen els fluxos.

Amb aquest model s'aconsegueix:

- reservar els recursos fins que el procés de connexió no s'ha completat adequadament
- efectuar comprovacions d'accés i controls d'utilització de recursos el més ràpidament possible
- prevenir la possibilitat de robatori de serveis per part de tercers no autoritzats
- fluxos de servei actius, tenen definits els conjunts de paràmetres QoS i assignats els recursos que necessiten per a transportar els paquets de dades

Els fluxos de servei poden ser iniciats, modificats i finalitzats dinàmicament per l'estació base o per les estacions client i en qualsevol dels dos sentits de la transmissió de dades.

4 Anàlisi de seguretat, mobilitat i regulació normativa de l'estàndard 802.16

4.1 Anàlisi de les característiques de seguretat de l'estàndard 802.16⁴

La privacitat de les comunicacions de banda ampla sense fils entre punts fixes s'aconsegueix mitjançant l'encriptació de les comunicacions entre l'estació base i l'estació client. A més, la privacitat protegeix a la xarxa d'accessos no autoritzats i de robatori de serveis.

Per a l'autenticació s'utilitza un protocol de gestió de claus client-servidor en el qual l'estació base s'encarrega de la distribució del material d'encriptació, protegit per claus, a les estacions clients. Per a augmentar la robustesa dels mecanismes de privacitat s'afegeix l'autenticació de les estacions clients mitjançant certificats digitals.

4.1.1 Encriptació dels paquets de dades

L'encriptació de serveis es defineix com un conjunt de capacitats de la subcapa de privacitat de la capa MAC. La capçalera MAC que du la informació específica de l'encriptació es troba en el format genèric de la capçalera MAC.

L'encriptació s'aplica únicament a les dades del servei, en concret a la càrrega de dades de les PDU MAC. La capçalera genèrica MAC, tots els missatges MAC de gestió i el CRC, si n'hi ha, s'envien en text clar per a facilitar el registre, accés i les operacions normals de la subcapa MAC.

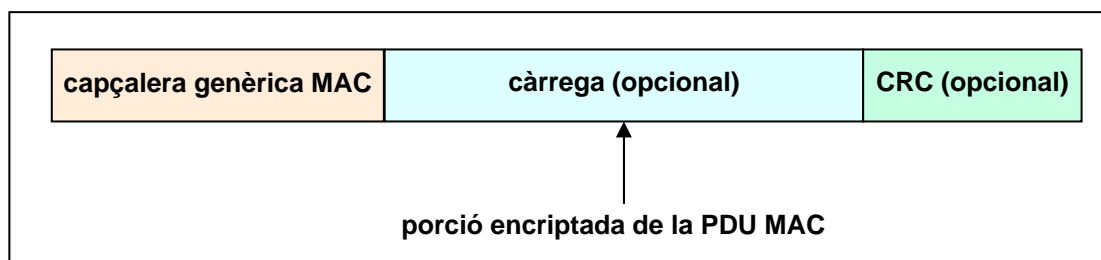


Fig. 4-1. Format de les PDU MAC amb la dades d'informació enciptades

4.1.2 Protocol de gestió de claus

Les estacions client utilitzen el *Privacy Key Management* (PKM) per a obtenir de l'estació base autoritzacions i el material per a encriptar el trànsit, i implementen les funcions necessàries per a permetre la reautorització periòdica i la renovació de claus.

El protocol PKM utilitza:

- certificats digitals X.509 (IETF RFC 2459)
- l'algoritme RSA d'enciptació de clau pública (PKCS #1)
- algoritmes simètrics robustos per a l'intercanvi de claus entre l'estació client i l'estació base

⁴ A l'annex 5 es pot veure un anàlisi més detallat de les característiques de seguretat de l'estàndard 802.16

Funciona segons el model client-servidor: l'estació client (el client PKM) demana el material d'enciptació a l'estació base (el servidor PKM), que respon assegurant-se de que cada client rep únicament el material per al qual està autoritzat.

Bàsicament, el funcionament del procés és el següent:

- durant el procés inicial d'intercanvi d'autoritzacions l'estació base autentica l'estació client a partir del seu certificat digital. Cada estació client té un certificat digital X.509 únic proporcionat pel fabricant, que conté la clau pública de l'estació client i l'adreça MAC. Quan l'estació client vol una clau d'autorització ha de presentar el certificat digital a l'estació base
- l'estació base comprova el certificat digital i utilitza la clau pública de l'estació client per a encriptar la clau d'autorització, que envia a l'estació client com a resposta
- l'estació base associa una estació client autenticada amb un client de pagament, i permet la utilització de tots els serveis que aquest client té autoritzats. L'ús conjunt dels certificats digitals i aquest mecanisme protegeix contra la suplantació d'identitat per clonació d'estacions client

En el moment de la comercialització, totes les estacions client han de disposar d'un dels dos mecanismes següents:

- disposar d'una parella de claus RSA - pública i privada -, i d'un certificat digital X.509
- incloure un algoritme intern que pugui generar la parella de claus RSA i un sistema que permeti la instal·lació d'un certificat X.509 proporcionat pel fabricant. Les claus s'han de generar abans de la primera clau d'autorització.

4.1.3 Associacions de seguretat (SA) i connexions

Una associació de seguretat és un conjunt d'informacions de seguretat que comparteixen una estació base i una, o més, estacions client amb l'objectiu de proporcionar comunicacions segures.

Les SA s'identifiquen per identificadors SAID, i es defineixen tres tipus de SA:

- primàries, durant el procés d'inicialització de l'estació client s'estableix una associació primària de seguretat que és exclusiva.
- estàtiques, les proporciona l'estació base
- dinàmiques, les estableix i les elimina dinàmicament l'estació base com a resposta a l'inici i a la finalització de fluxos de servei concrets

L'estació base és la responsable de mantenir informació de totes les associacions de seguretat i ha d'assegurar que una estació client només tingui accés a les SA per a les quals està autoritzada. El material d'enciptació - per exemple, la clau DES i el vector d'inicialització -, tenen una data d'expiració que la marca l'estació base; l'estació client ha de demanar nou material abans de que finalitzi aquest període. En el cas de què no es disposi del nou material d'enciptació abans de la data, l'estació client ha de tornar a entrar a la xarxa.

4.1.4 El protocol PKM

El procés d'autenticació d'una estació client es basa en l'intercanvi de certificats digitals, claus de reconeixement, claus per encriptar claus, claus d'autenticació de

missatges i informació sobre els protocols que accepten tant l'estació base com l'estació client.

Tot aquest material d'encriptació té un període de vida. Per a renovar-ho l'estació base ha de sol·licitar reautoritzacions periòdicament.

4.1.5 Mètodes criptogràfics

Totes les estacions base i les estacions client han d'acceptar:

- encriptació de dades amb l'algoritme DES
- encriptació de claus d'encriptació del trànsit (TEK) amb l'algoritme 3-DES
- càlcul de resum de dades amb l'algoritme de *hash* SHA-1 (FIPS 180-1)

4.2 Anàlisi de les característiques de mobilitat de l'estàndard 802.16

L'especificació de la mobilitat a l'estàndard 802.16 es desenvolupa mitjançant l'estàndard 802.16e que, probablement, estarà acabat a finals de l'any 2004.

Inicialment, es descriuran les característiques que han de permetre la connexió d'estacions mòbils fins a velocitats d'uns 150 Km/h. L'estàndard permetrà combinar l'accés a la banda ampla des de punts fixos i mòbils. Entre d'altres aspectes, s'ha de descriure el *handover* entre estacions base i entre diferents sectors d'una mateixa estació base.

De moment, les característiques principals que contempla el protocol 802.16e són:

- ús de bandes amb llicència i dins del rang de freqüències de 2 a 6 GHz
- funcionament sense visibilitat directa (NLOS)
- velocitats de fins a 15 Mbps amb canals de 5 MHz
- els mateixos tipus de modulació que els definits a l'estàndard 802.16a (QSPK, QAM-16 i QAM-64 i OFDM amb 256 subportadores)
- ample de banda de canals com els definits a l'estàndard 802.16a, amb subcanals de pujada
- abast típic de les cèl·lules de 1,6 Km fins a 5 Km
- sistemes d'estalvi d'energia quan les condicions del trànsit de dades ho permetin

Amb la definició d'aquest estàndard es pretén incrementar el mercat de les solucions d'accés a la banda ampla sense fils utilitzant els avantatges inherents de mobilitat dels dispositius sense fils. Hauria d'emplenar el forat que hi ha entre les aplicacions d'alta velocitat de les xarxes d'àrea local sense fils i la gran mobilitat dels sistemes cel·lulars.

En l'actualitat només es disposa d'esborranys - *drafts* - de les especificacions de l'estàndard. La IEEE allibera els protocols sis mesos després de la seva aprovació definitiva, però manté una política d'accés restringit als esborranys: només poden accedir els membres que pertanyen al grup de treball o bé es poden adquirir a uns preus relativament elevats, tenint en compte que es tracta de documents que es poden modificar profundament durant el procés de desenvolupament. Aquesta política de distribució de material d'informació dificulta enormement l'estudi de les característiques de mobilitat del protocol 802.16, quedant fora de l'abast d'aquest projecte .

4.3 Anàlisi de la regulació normativa espanyola, rang de freqüències i potència emesa⁵

A l'estat espanyol l'espectre electromagnètic es regula segons el *Cuadro Nacional de Frecuencias* (CNAF) aprovat per la "*Orden CTE/630/2002 de 14 de Marzo de 2002*" publicada al B.O.E número 70, del 22 de març de 2002, i modificat per la "*Orden CTE/2082/2002 de 16 de Julio de 2003*" publicada al B.O.E número 175, del 32 de juliol de 2003.

El CNAF proporciona informació sobre l'atribució de bandes de freqüències als diferents serveis segons el Reglament de Radiocomunicacions, que complementa els convenis amb la *Unión Internacional de Telecomunicaciones* (UIT) A més, indica quines normes del *Reglamento de Radiocomunicaciones* (RR), quines notes tècniques d'utilització nacional (notes UN) i quins usos es poden fer de cada banda.

Segons la "*ORDEN de 9 de marzo de 2000*" per la qual s'aprova el "*Reglamento de Desarrollo de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico*" es preveuen uns determinats usos de l'espectre radioelèctric.

domini	ús	codi	descripció
públic	comú	C	Els serveis que tinguin aquest ús no poden produir interferències ni demanar protecció davant d'altres serveis autoritzats d'altres categories. No es requereix cap títol habilitant. Són d'ús comú: <ul style="list-style-type: none"> • aquelles bandes, subbandes, canals i freqüències que s'indiquin al CNAF per a ús comú • aquelles bandes, subbandes, canals i freqüències reservades per a aplicacions industrials, científiques i mèdiques (ICM)
	especial	E	Cal obtenir una autorització individualitzada, que s'obté per ordre de presentació de sol·licituds administratives. Tenen aquest ús les bandes, subbandes, canals i freqüències que s'assenyalin per a ús compartit- sense exclusió de tercers -, per a radioaficionats o per d'altres finalitats d'entreteniment sense contingut econòmic
	privatiu	P	Les assignacions de freqüències per a l'ús privatiu han d'anar associades a la prestació d'un determinat servei o a l'explotació d'una xarxa de telecomunicacions. Els titulars de les assignacions han de complir les condicions imposades a la llicència obtinguda. Les llicències recullen tots els paràmetres tècnics de funcionament, terminis i zones de servei permeses.
afectat	per l'Estat	Rx	Ús exclusiu per a l'Estat
	per l'Estat per a la gestió a través d'Administracions Públiques o per concessió	R	Ús exclusiu per a l'Estat, Administracions Públiques i ens públics que en depenguin, per a la prestació de serveis o per a l'explotació de xarxes de telecomunicacions en règim d'autoprestació i sense contraprestació econòmica de tercers
mixt	mixt	M	Comprèn els usos R i P

⁵ A l'annex 1 es pot veure un estudi més detallat de les característiques de la regulació normativa espanyola

Taula 4-1. Descripció dels usos de l'espectre radioelèctric a l'estat espanyol

Hi ha diverses notes tècniques UN que afecten l'espectre entre 2 i 66 GHz. Tanmateix, no totes les bandes d'aquest rang es poden utilitzar per al protocol 802.16, ja que n'hi ha que estan reservades per a ús exclusiu de l'Estat o per d'altres serveis amb exclusivitat.

A l'annex 1 es poden veure tots els subrangos en què es divideix la banda de freqüències entre 2 i 66 GHz, si són utilitzables o no per l'estàndard 802.16, i quines notes tècniques UN del "Cuadro Nacional de Frecuencias" i notes S del "Reglamento de Radiocomunicaciones" que les afecten.

Per a veure quins subrangos pot utilitzar el protocol 802.16 cal veure en quin tipus de servei es pot enquadrar. En principi, el protocol s'ha dissenyat per a les comunicacions sense fils entre punts fixes, per tant, es correspon amb la següent definició dels serveis que fa l'CNAF:

- **servicio fijo: Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados**

L'estàndard, tret de la possible ampliació futura 802.16e, sempre té en compte que les estacions base o client es troben en llocs fixes, per tant, una possible interpretació és que es pot considerar que els enllaços entre les estacions base i client, o entre les estacions client en el mode *Mesh*, són enllaços de radiocomunicació entre punts fixos determinats. Així podrem utilitzar aquelles bandes destinades específicament a aquest fi, tant si es necessita llicència (llavors s'haurà de sol·licitar a l'autoritat competent) com si és una banda d'ús comú. En qualsevol dels dos casos s'hauran de complir les restriccions que imposi el CNAF, i/o la llicència atorgada, per a la utilització de la banda de freqüències en qüestió. Tot i que hi ha subbandes que poden tenir un ús preferent - o primari - per a determinats serveis, no s'exclou la utilització per part d'altres amb títol de secundari.

Així doncs, les bandes on es pot utilitzar el protocol 802.16 són aquelles destinades al servei fix que tinguin usos C, R o M, i s'hauran de complir tots els requeriments tècnics que indiquin les notes tècniques aplicables quant a la potència màxima permesa, la forma en què s'usen els canals (ample de banda, freqüència central, etc.), els límits d'emissió fora de la banda, etc.

De l'anàlisi de l'espectre es pot concloure que hi ha força subrangos de freqüències disponibles per a desplegar dispositius basats en el protocol 802.16. Si ens ajustem a la banda entre 2 i 11 GHz, que és el subconjunt que abasta WiMAX, també hi ha un elevat nombre de subrangos utilitzables. S'ha de tenir en compte que a les bandes lliures de llicència, per tractar-se de bandes ISM, s'ha d'acceptar qualsevol tipus d'interferència i tenen la potència limitada a 100 mw PIRE.

CAPÍTOL III. L'estàndard IEEE 802.16a-2003

5 Modificacions que proposa l'estàndard IEEE 802.16a-2003

L'estàndard 802.16a especifica la capa de control d'accés al medi (MAC) i la capa física (PHY) de la interfície aire en la banda de 2 a 11 GHz per a sistemes d'accés sense fils a la banda ampla a través d'estacions fixes, funcionant en mode punt-multipunt i, opcionalment, amb topologia de malla- *Mesh* -.

L'especificació permet l'accés a dades, vídeo i serveis de veu amb una qualitat de servei (QoS) determinada.

La capa MAC és capaç de treballar amb diferents especificacions de capes físiques, cada una optimitzada per a un entorn particular de funcionament, tant en bandes sense o amb necessitat de llicència.

Amb les correccions i afegits proporcionats per l'especificació 802.16a-2003 s'aconsegueix cobrir la banda de freqüències entre 2 i 66 GHz per l'accés a la banda ampla sense fils a través d'estacions fixes.

5.1 Banda de 2 a 11 GHz amb llicència

La banda de 2 a 11 GHz té unes longituds d'ona relativament grans, per la qual cosa no és necessària la visibilitat directa entre antenes (NLOS) i els rebots de senyal poden ser significatius. La capacitat per a donar servei en escenaris amb antenes pròximes i escenaris sense visibilitat directa exigeix funcionalitats addicionals a la capa física (PHY), així com tècniques avançades de gestió de potència, d'interferències, de coexistència de diferents sistemes i d'antenes múltiples.

També cal introduir prestacions a la capa MAC, com la repetició automàtica de peticions per a poder solucionar els problemes de pèrdues inherents al medi, així com per a donar suport a la topologia *Mesh*.

5.2 Banda de 2 a 11 GHz sense llicència

Aquest entorn és similar a l'anterior, però la naturalesa de les bandes sense necessitat de llicència afegeix problemes addicionals d'interferències i de coexistència de sistemes, a més, les regulacions locals poden limitar la potència radiada. Per a detectar i evitar els problemes d'interferències cal introduir mecanismes com la selecció dinàmica de freqüència - *Dynamic Frequency Selection (DFS)*-.

5.3 Nomenclatura de les interfícies aire i principals característiques

La següent taula resumeix la nomenclatura i les característiques de les diferents interfícies, incloent les correccions proposades per l'especificació 802.16a:

nom	aplicable a la banda de	requeriments addicionals de la capa MAC	opcions	modos de duplexació permesos
WirelessMAN-SC	10-66 GHz	cap	-	TDD FDD
WirelessMAN-SCa	2-11 GHz amb llicència	cap	AAS (<i>Adaptive Antenna System</i>); ARQ; STC (<i>Space Time Coding</i>)	TDD FDD
WirelessMAN-OFDM	2-11 GHz amb llicència	cap	AAS; ARQ; topologia Mesh; STC	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA	2-11 GHz amb llicència	cap	AAS, ARQ; STC	TDD FDD
WirelessHUMAN	2-11 GHz sense llicència	DFS	AAS, ARQ; topologia Mesh (en determinades situacions); STC	TDD

Taula 5-1. Nomenclatura de les interfícies aire i característiques a l'estàndard 802.16

5.4 Protocol d'accés al medi

Amb les correccions proposades per l'estàndard 802.16a el medi compartit - la interfície aire- ha de poder funcionar en mode punt-multipunt i en mode *Mesh*.

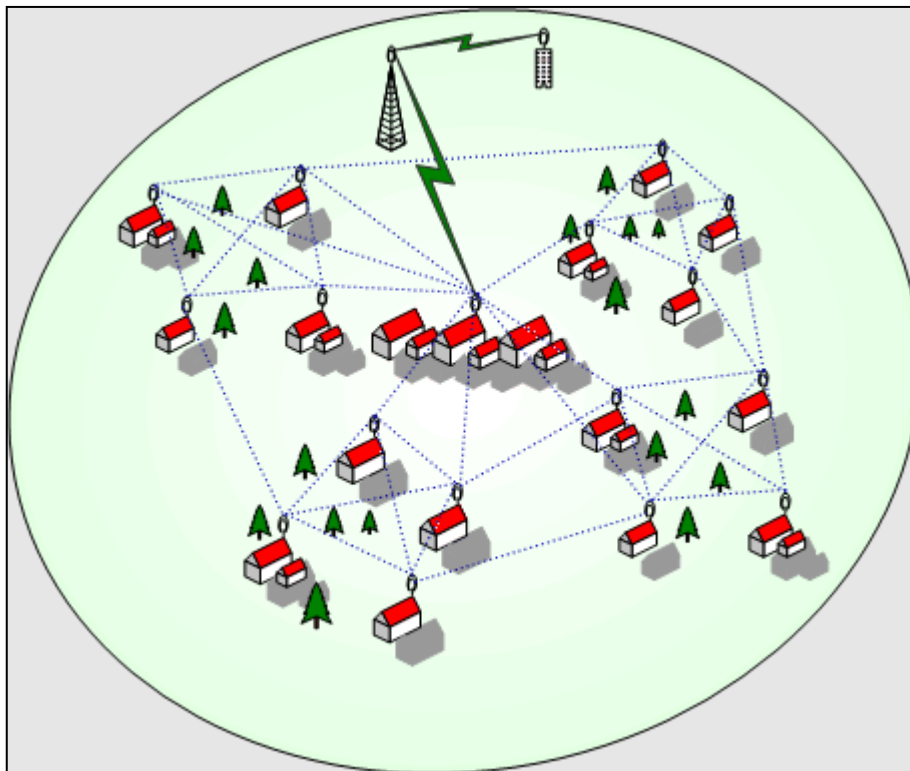


Fig. 5-1. Topologia de malla Mesh

5.5 La topologia de malla Mesh

La principal diferència entre el mode punt-multipunt i el mode Mesh és que en el primer cas només hi ha trànsit entre l'estació base i les estacions clients; mentre que en el segon es pot enrutar el trànsit utilitzant estacions client i, fins i tot, pot haver trànsit només entre estacions client. Depenent de l'algoritme de transmissió es pot distribuir el trànsit equitativament, obtenint una xarxa distribuïda; donar prioritats a les estacions base Mesh, i parlariem d'una xarxa centralitzada; o utilitzar una combinació de les dues.

En el mode Mesh es considera com una estació base Mesh aquella que té connexió amb serveis externs a la xarxa Mesh, la resta d'estacions són estacions client Mesh.

El trànsit de baixada és el que surt de les estacions base Mesh i el de pujada el que va cap a les estacions base Mesh. En general, però, tots els sistemes de la xarxa s'anomenen nodes.

Altres conceptes importants són:

- veïns d'un node: estacions que tenen un enllaç directe amb el node. Es considera que estan a un salt (*hop*) de distància del node
- veïnatge d'un node: el conjunt de veïns d'un node
- veïnatge estès d'un node: conté el veïnatge del node i tots els nodes veïns del veïnatge

En un sistema *Mesh* no igualitari una estació base Mesh pot transmetre sense necessitat de coordinar-se amb altres nodes. En canvi, en els sistemes distribuïts tots els nodes del veïnatge, inclosa l'estació base, han de coordinar les seves transmissions, i han de fer conèixer totes les seves programacions (recursos disponibles, peticions i concessions) a tots els seus veïns. Opcionalment, si s'assegura que no es provocaran col·lisions amb les dades i el trànsit de control de la resta de nodes del veïnatge, es poden coordinar dos nodes independentment de la resta.

Si el sistema és centralitzat l'estació base Mesh atorga els recursos de forma centralitzada fins a una distància, en salts (*hops*), determinada. Assigna les concessions de pujada i baixada de tots els nodes i ho comunica a la resta de nodes del rang abastat.

Totes les comunicacions tenen lloc en el context d'un enllaç establert entre dos nodes. Les especificacions de qualitat de servei i els serveis no són inherents als enllaços, sinó que cada missatge du la informació dels paràmetres en la capçalera. La classificació del trànsit i la regulació del flux es regulen a través dels protocols de les capes superiors.

Els sistemes Mesh acostumen a utilitzar antenes omnidireccionals, o antenes orientables en 360°, però també es poden utilitzar antenes sectorials. Fins i tot, en les fronteres de la xarxa, en aquells punts en els quals tan sols es necessita una connexió amb un únic node, es poden usar antenes molt directives.

5.5.1 Adreçament, connexions i missatges de control

Cada node té una adreça MAC universal i única de 48 bits que identifica el fabricant i el tipus d'equip. S'utilitza durant el procés d'accés a la xarxa com a part del procediment d'autorització i reconeixement mutu entre la xarxa i el node.

Quan la xarxa accepta l'accés del node, aquest demana a l'estació base Mesh que li assigni un identificador de node de 16 bits - *Node ID* -. Aquest identificador és la base per a la identificació dels nodes durant les operacions normals.

Dins del seu veïnatge els nodes s'adrecen amb identificadors de 8 bits - *Link ID* - Cada node ha d'assignar un Link ID per a cada enllaç que estableixi amb els seus veïns.

Les comunicacions entre capes en el mode *Mesh* es fan mitjançant primitives i l'ús de missatges de control⁶.

5.5.2 Construcció i transmissió de les PDU MAC

L'estàndard 802.16a afegeix restriccions a la construcció i transmissió de les PDU MAC:

- quant a la fragmentació: la mida màxima dels fragments es pot negociar durant o després de l'establiment de la connexió. Un cop s'ha establert un màxim, el transmissor no pot augmentar la mida dels fragments, encara que l'ample de banda lliure ho permeti
- la construcció de les PDU varia segons si les connexions utilitzen, o no, el mecanisme de petició automàtica de retransmissions. Per exemple, la banda transmissora pot decidir empaquetar diversos fragments d'una mateixa SDU en una única PDU MAC, encara que hi hagi suficient ample de banda com per a enviar-ho sense fragmentar. Això permet més flexibilitat en la transmissió de paquets.

5.5.3 Petició automàtica de retransmissions (ARQ)

El mecanisme ARQ és una prestació opcional de la capa MAC que, si està implementat, pot ser activat en el moment d'establir la connexió bàsica. L'activació i els paràmetres ARQ s'han d'especificar i negociar durant la creació o el canvi d'una connexió i només són vàlids per a aquesta connexió unidireccional.

L'especificació 802.16a modifica les característiques dels serveis de programació de pujada de dades descrits a l'estàndard 802.16-2001, des del punt de vista d'apropiar-se d'ample de banda no utilitzat, tal com reflexa la següent taula:

servei de programació	petició dins de la connexió	apropiació d'ample de banda	sol·licituds (<i>polling</i>)
UGS	no es permet	no es permet	s'usa el bit PM per a demanar ample de banda per a connexions no-UGS
rtPS	permesa	es permet	només peticions per a connexions individuals
nrtPS	permesa	es permet	el servei pot obligar a què només es puguin fer peticions per a connexions individuals, o bé permetre qualsevol altre tipus de peticions
BE	permesa	es permet	es permet qualsevol tipus de petició

Taula 5-2. Característiques dels serveis de programació a l'estàndard 802.16a

5.5.4 Mecanismes de petició i d'assignació d'ample de banda

L'estàndard 802.16a amplia els mecanismes de petició d'ample de banda.

⁶ A l'annex 6, taula 16, es pot consultar una taula amb els nous missatges de control que afegeix l'estàndard 802.16a

peticions basades en la competència (per a WirelessMAN-OFDM)

La capa física WirelessMAN-OFDM accepta dos mecanismes de petició d'ample de banda basats en la competència:

- Un mecanisme obligatori [descriu a l'estàndard 802.16-2001](#), que permet a les estacions client demanar ample de banda com una petició expressa
- Un mecanisme alternatiu que consisteix en enviar, amb la mateixa probabilitat, o bé una modulació d'un codi de competència, o bé quatre portadores per a competir per a un canal. Després que l'estació base ho detecti, inserirà al mapa de pujada un espai per a què l'estació client pugui transmetre la petició d'ample de banda i, opcionalment, dades addicionals

peticions basades en la competència CDMA (per a WirelessMAN-OFDMA)

La capa física WirelessMAN-OFDMA, a més del mecanisme obligatori descrit a l'estàndard 802.16-2001, ha d'acceptar-ne un altre mecanisme basat en l'accés múltiple per divisió del codi - *Code Division Multiple Access* (CDMA)

Es defineix un subcanal d'alineament i un subconjunt de codis d'alineament per a fer les peticions d'ample de banda basades en CDMA. L'estació client ha de seleccionar, amb la mateixa probabilitat, un dels codis d'alineament, el qual es modularà en un dels subcanals d'alineament i es transmetrà en el lloc adequat de la subtrama de pujada. Quan l'estació base ho detecti proporcionarà espai a la subtrama de pujada per a què l'estació client pugui enviar la petició d'ample de banda i, opcionalment, dades addicionals.

Si l'estació base no proporciona aquest espai per a fer la petició, o si després de fer la petició l'estació client no obté ample de banda per a emetre, l'estació client dedueix que hi ha hagut una col·lisió i utilitza el mecanisme de resolució de col·lisions.

suport opcional per a la topologia Mesh (per a WirelessHUMAN)

Opcionalment, el sistema *WirelessHUMAN* pot utilitzar la topologia *Mesh*. En el mode *Mesh* cada estació client és capaç d'establir enllaços amb d'altres estacions client de la xarxa, en lloc de comunicar-se únicament amb una estació base determinada. Tot i això, el més normal és que alguns nodes tinguin accés a les xarxes externes i exerceixin el paper d'estacions base *Mesh*, oferint moltes de les funcions bàsiques de les estacions base en el mode punt-multipunt.

La diferència fonamental amb el mode punt-multipunt és que les estacions client poden tenir enllaços amb altres estacions client i que, a més, no és necessari tenir connexió directa amb una estació base *Mesh* per a accedir a les xarxes externes, ja que la connexió es pot obtenir mitjançant els enllaços amb d'altres estacions client.

Totes aquestes comunicacions poden ser gestionades de forma centralitzada per una estació base *Mesh*, de forma distribuïda entre els nodes que formen la xarxa *Mesh*, o amb una combinació d'ambdues.

topologia Mesh amb gestió distribuïda

Totes les estacions que formen el veïnatge estès han de coordinar les seves transmissions, informant a tots els veïns de la pròpia programació i dels canvis proposats. Tots els veïns transmeten i reben aquesta informació per un canal determinat

La gestió distribuïda assegura que les transmissions es programen de manera que no depenen de cap estació base.

La gestió distribuïda no coordinada permet obtenir programacions establertes segons les necessitats del moment i d'una forma ràpida. Es creen per peticions i concessions directes entre dos nodes i s'ha d'assegurar que la transmissió de dades i les transmissions de peticions i concessions no provoquin col·lisions amb les transmissions de dades i de control de trànsit dels mètodes de gestió distribuïts coordinats ni dels mètodes de gestió centralitzats.

En els dos tipus de gestió distribuïda, coordinada i no coordinada, s'usa un intercanvi de missatges amb el mecanisme de xocada de mans - *handshake* - de tres vies format per una petició, una concessió i una confirmació de concessió.

topologia Mesh amb gestió centralitzada

Els tipus de connexions i la topologia és la mateixa que per a la gestió distribuïda, però la gestió de les transmissions de les estacions client les defineix l'estació base Mesh.

Les diferències amb el mode punt-multipunt són:

- no cal que totes les estacions client estiguin connectades directament amb l'estació base
- les assignacions d'ample de banda de l'estació base s'estenen a les estacions client encara que no hi estiguin connectades directament

La gestió centralitzada ha d'assegurar que aquestes transmissions es coordinin de forma que no es produeixin col·lisions en els enllaços que formen part de l'arbre d'enrutament de l'estació base.

5.5.5 Suport de la capa MAC a la capa física PHY

L'estàndard 802.16a afegeix les especificacions per a l'ús de la banda de 2 a 11 GHz.

WirelessMAN-SCa

El primer tros de la trama MAC de baixada ha de dur la informació de control de la trama que es destina a totes les estacions, i no ha d'estar encriptada. Aquesta secció de control conté un missatge DL-MAP per al canal de baixada, seguit d'un missatge UL-MAP per a cada canal de pujada associat. A més, pot contenir missatges DCD i UCD darrera de l'últim missatge UL-MAP. En la secció de control no es pot enviar cap altre missatge.

La figura següent mostra l'esquema de modulació de la transmissió, que és el mateix per a la baixada i per a la pujada de dades:

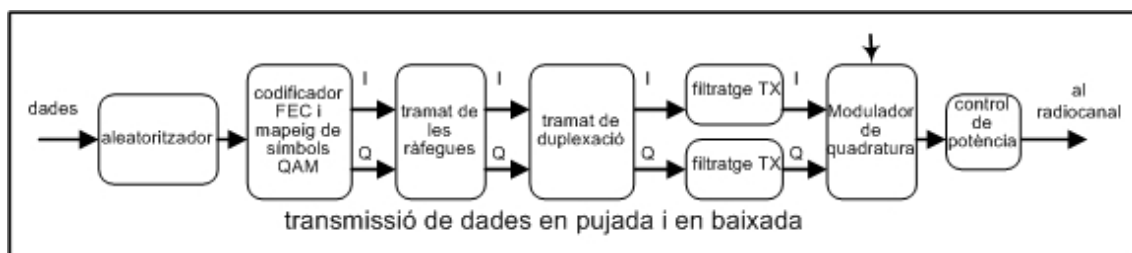


Fig. 5-2. Procés de modulació en la capa WirelessMAN-SCa

WirelessMAN-OFDM i WirelessMAN-OFDMA

La informació dels temps dels mapes de baixada i de pujada es calcula a partir de les dades del DL-MAP i de l'UL-MAP, respectivament.

mode Mesh amb gestió distribuïda (opcional)

En el mode Mesh només es pot treballar amb duplexió per divisió en el temps (TDD) No hi ha una separació clara entre les subtrames de baixada i les de pujada. Les transmissions entre estacions s'han de fer en canals programats o amb accés aleatori, com en el mode punt-multipunt.

Totes les funcions bàsiques es basen en la informació que tots els nodes han de mantenir sobre el veïnatge al qual pertanyen. Així, cada node conté una llista amb informació dels altres nodes: adreça MAC, distància en salts, identificador del node, etc.

Mitjançant missatges s'informa regularment a tots els nodes de les característiques de programació i s'envia informació per a la sincronització. Una estació client que té un enllaç amb una estació base Mesh es sincronitza amb ella, mentre que si està a més de dos salts de distància s'ha de sincronitzar amb l'estació client veïna que està al costat de l'estació base.

mode Mesh amb gestió centralitzada (opcional)

En aquest cas l'estació base Mesh actua com un programador centralitzat per a les estacions client de la xarxa, i és l'encarregada d'enviar la configuració de la gestió i les assignacions a les estacions client.

La validesa de la programació és calculada per cada node, i les estacions client veïnes de l'estació base tenen la responsabilitat de retransmetre aquestes informacions a les següents estacions clients.

sincronització de la xarxa Mesh

Les xarxes Mesh es sincronitzen mitjançant els paquets de comunicació i els paquets d'entrada a la xarxa, tant en el mode distribuït com en el mode centralitzat i permeten accions bàsiques de configuració, com ara:

- sincronització entre xarxes properes (per exemple, sincronització dels períodes de pujada i de baixada)
- comunicar i coordinar l'ús dels canals en xarxes properes
- descobrir i permetre l'accés bàsic dels nous nodes a la xarxa

5.5.6 Suport opcional de la capa MAC per als sistemes d'antenes adaptatius

Els sistemes d'antenes adaptatius - *Adaptive Antenes System (AAS)* -, poden millorar el rang de freqüències i la capacitat del sistema, mitjançant la utilització d'antenes de més d'un element, l'adaptació del patró d'antena i la concentració de la radiació per a cada estació individual. L'eficiència espectral s'incrementa linealment amb l'augment d'elements de l'antena.

Un altre benefici addicional és l'augment de la relació senyal-soroll - *Signal Noise Ratio (SNR)*- degut a la combinació coherent de diverses senyals, i la capacitat de dirigir aquest guany a determinats usuaris. Un altre possible millora és la reducció en les interferències dirigint els feixos de senyal nuls cap als originadors de la interferència en un mateix canal.

El mètode emprat per a obtenir tots aquests beneficis i, simultàniament, mantenir la compatibilitat amb els sistemes d'antenes no adaptatius és destinar una part de la trama per als sistemes d'antenes adaptatius i una altra per als no adaptatius. La

ubicació la fa l'estació base i les estacions client identifiquen quin trànsit els hi correspon en funció del sistema d'antenes emprat.

5.5.7 Accés a la xarxa i inicialització

L'especificació 802.16a afegeix els procediments d'accés de noves estacions client, o nodes, a la xarxa Mesh. El procediment és el següent:

- 1) búsqueda d'una xarxa activa i establiment d'una primera sincronització
- 2) obtenir els paràmetres de la xarxa (mitjançant els missatges MSH-NCFG)
- 3) obrir un canal de suport
- 4) autorització del node
- 5) executar el registre
- 6) establir la connectivitat IP
- 7) establiment del dia i l'hora
- 8) transferir els paràmetres d'operació

Cada node conté l'adreça MAC de 48 bits, introduïda en el moment de la fabricació, que s'usa per a identificar el node durant el procés d'inicialització i també per a autenticar el node a través dels nodes veïns.

5.5.8 Alineament

Una de les correccions proposades per l'estàndard 802.16a és la redefinició dels dos processos d'alineament:

- alineament inicial. És el procés que utilitza una estació client nova per a ajustar els seus paràmetres per a poder comunicar-se correctament amb l'estació base.

L'estació client envia un missatge transmeten a potència mínima. Si no rep cap resposta el torna a enviar en la propera oportunitat incrementant la potència en un pas. Si rep una resposta amb el número de trama on anava el missatge considera que no ha tingut èxit, corregeix els seus paràmetres segons el que diu el missatge de resposta i, després del corresponent retard (*backoff*) ho torna a intentar. Si la resposta conté la seva adreça MAC, considera que l'alineament inicial ha tingut èxit.

- alineament periòdic. És el procés que utilitza una estació client per a modificar els seus paràmetres segons l'indica l'estació base. Les característiques principals, a excepció del cas de l'alineament basat en CDMA, són:
 - l'estació base i les estacions client utilitzen un temporitzador pels alineaments periòdics i un temporitzador d'alineament inicial
 - tant l'estació base com l'estació client poden originar un alineament periòdic
 - l'estació client ha d'ajustar els paràmetres segons les instruccions rebudes de l'estació base
 - l'estació client ha tornar a registrar-se a la xarxa si es supera un temps determinat, si el nombre d'intents d'alineament és major de l'indicat, o si rep una indicació de l'estació base

5.5.9 Selecció de freqüència dinàmica per a les bandes sense llicència

La selecció de freqüència dinàmica - *Dynamic Frequency Selection* (DFS) - és la capacitat que té un sistema per a commutar entre diferents canals de radiofreqüència basant-se en mesures fetes sobre el canal. L'estàndard la fa obligatòria per a les bandes sense necessitat de llicència.

Disposa de procediments per a:

- provar els canals per a trobar usuaris. En general, cap tipus d'estació pot usar un canal si ja l'ocupa un usuari o si no n'ha fet recentment una comprovació, tret de que una estació base obligui a una client a fer un canvi de canal
- detectar l'ocupació d'un canal per un usuari
- interrompre operacions després de detectar l'ocupació d'un canal per un usuari
- programació de proves de canals. Les estacions base poden provar canals o bé indicar a uns estació client que faci mesures, tant en períodes de repòs com d'activitat
- peticions i informació de mesures. Les estacions clients han de mantenir informació sobre cada canal mesurat. L'estació base pot demanar aquests informes i pot posar a zero els comptadors dels canals desitjats.
- seleccionar i anunciar nous canals. Una estació base pot aturar les operacions en un canal en qualsevol moment i triar un nou canal. Les estacions base anuncien els nous canals disponibles a totes les estacions client associades.

5.5.10 Tunelització de la gestió de missatges MAC en el mode Mesh

En el moment de l'accés a una xarxa Mesh, és possible que hi hagi intercanvi de missatges entre estacions separades per diversos salts. En aquests casos, el node intermedi ha de comportar-se com una estació client, però ha de transmetre els missatges de la nova estació com si fos una estació base en el mode punt-multipunt; així mateix, ha de fer arribar els missatges de l'estació base Mesh a la nova estació client.

El format de paquet que s'utilitza és:

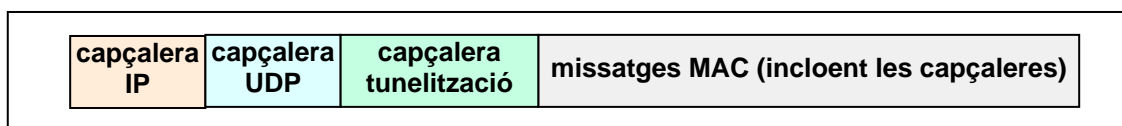


Fig. 5-3. Format de paquet amb tunelització

5.6 La capa física WirelessMAN-SCa

Es basa en una tecnologia de portadora simple i està dissenyada per a treballar sense visibilitat directa en la banda de freqüències de 2 a 11 GHz.

En les bandes que necessiten llicència, l'ample de banda dels canals s'ha de limitar a l'ample que indiqui la regulació dividit per qualsevol potència de 2, i no pot ser menor de 1,25 MHz.

Aquesta capa física inclou:

- possibilitat de treballar amb duplexació per divisió en el temps (TDD) i duplexació per divisió de freqüència (FDD)

- el canal de pujada treballa en TDMA
- el canal de baixada treballa en TDM
- modulació adaptativa de blocs i codificació FEC en els dos canals
- elements de trama que permeten millorar l'equalització i l'estimació de prestacions dels canals en entorns sense visibilitat directa i retards grans
- granularitat dels símbols unitaris en mides de paquet
- FEC concatenat utilitzant Reed Solomon i Pragmatic TCM amb entrellaçat opcional
- FEC utilitzant *Block Turbo Code* (BTC) i CTC
- possibilitat de no usar FEC quan s'utilitza ARQ
- opció d'emprar *Space Time Coding* (STC)
- ajust de paràmetres i missatges MAC i PHY que faciliten les implementacions amb sistemes avançats d'antenes (AAS)

5.7 La capa física WirelessMAN-OFDM⁷

Es basa en una tecnologia de modulació OFDM i està dissenyada per a treballar sense visibilitat directa en la banda de freqüència de 2 a 11 GHz.

En les bandes que necessiten llicència la limitació de l'ample de banda és la mateixa que en la capa física WirelessMAN-SC.

Les característiques de la modulació OFDM permeten que el receptor pugui prendre mostres per a la demodulació en qualsevol moment del símbol estès, amb la qual cosa s'aconsegueix immunitat als rebots, així com tolerància als errors de sincronització dels símbols temporals.

Un símbol bàsic OFDM està compost de portadores que poden ser de diferents tipus:

- portadores de dades, per a transmetre les dades
- portadores pilot, per a diversos usos
- portadores nul·les, com a bandes de guarda i portadores de continua

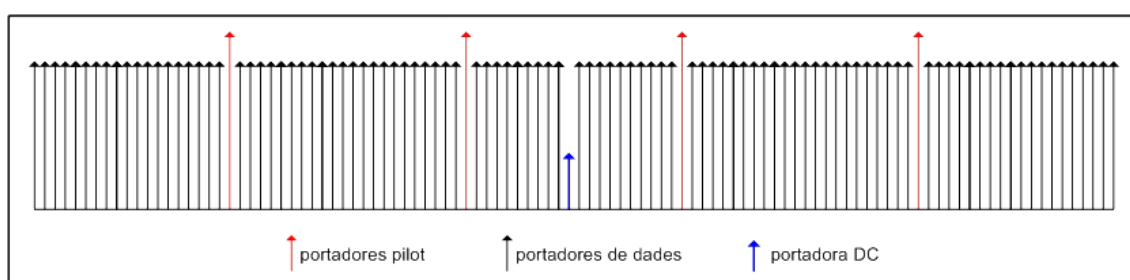


Fig. 5-4. Estructura de freqüències OFDM

En la transmissió els canals es codifiquen en tres passes:

⁷ A l'annex 6 es pot veure un estudi més detallat de la capa física WirelessMAN-OFDM

- aleatorització, tant en la pujada com en la baixada
- correcció d'errors. Obligatòriament s'ha d'implementar un codi intern Reed Solomon i un codi extern convolucional. Opcionalment es pot usar *Block Turbo Coding* (BTC) i *Convolutional Turbo Codes* (CTC)
- entrellaçat. Tots els bits de dades s'han d'entrellaçar per blocs en un procés de dues passes:
 - els bits codificats adjacents es transporten en portadores no adjacents
 - els bits codificats adjacents es codifiquen alternativament en els bits menys significatius i en els bits més significatius de la constel·lació QAM

En la recepció s'han de fer les operacions complementàries en ordre invers.

Modulació

Després de l'entrellaçat els bits ja estan serialitzats i es poden modular. Els sistemes han d'acceptar les modulacions QPSK i QAM-16, mentre que la QAM-64 és opcional. Les constel·lacions s'han de normalitzar per a aconseguir la mateixa potència mitja.

Per a la baixada s'ha de poder fer modulació adaptativa per assignació i codificació. En el sentit de pujada cada estació client ha de poder utilitzar diferents esquemes de modulació, per a adaptar-se als requeriments enviats per l'estació base.

Estructura de les trames

En les bandes amb llicència el mètode de duplexació pot ser TDD o FDD, i aquest darrer pot ser *semi-duplex* o *full-duplex* a les estacions client. En les bandes exemptes de llicència el mètode de duplexació ha de ser TDD.

Les trames contenen dades de les estacions base i client (PDU), espais buits (*gaps*) i intervals de guarda, i consisteixen en una subtrama de baixada i una subtrama de pujada. La subtrama de baixada només du una PDU de la capa física, mentre que la subtrama de pujada du intervals de competència i una o més PDU, transmeses per diferents estacions client.

La principal diferència amb la banda de 10 a 66 GHz és que abans parlàvem de ràfegues i ara parlem de d'unitats de dades de càrrega - *Payload Data Unit* (PDU)

L'estructura de les trames és força complexa i no es descriurà amb detall. A l'annex 6 es mostren representacions de les trames segons el mode de treball i el mètode de duplexació.

5.7.1 Mecanismes de control

És recomanable, encara que no obligatori, que totes les estacions base es sincronitzin amb un rellotge comú de 10 MHz. En el cas de què es perdi el sincronisme, les estacions poden continuar treballant i es resincronitzaran automàticament quan es recuperi el senyal de rellotge. D'aquest senyal es poden obtenir referències per a controlar la precisió de la freqüència de les estacions base.

Hi ha dos tipus de procediments d'alineament:

- alineament inicial, que es realitza durant el procés de registre i quan es perd la sincronització i utilitza els intervals de competència
- alineament periòdic, que s'efectua amb una periodicitat determinada i usa les ràfegues de pujada

Durant el registre, una nova estació utilitza el canal d'accés aleatori, i si es registra amb èxit, l'estació base inicia el procés d'alineament. En aquest procés es recalculen els paràmetres de temps i de potència fins a trobar uns que accepti l'estació client. Un cop comença la transferència de dades, i amb un determinada periodicitat, es mesuren, monitoritzen i emmagatzemen aquest paràmetres a l'estació base per a comunicar-los a l'estació client, amb l'objectiu d'adaptar el funcionament dels equips a l'estat del canal.

El canal de pujada ha de disposar d'un algoritme de control de potència sense pèrdua de dades, tant per a la calibració inicial com per als ajustaments periòdics. L'estació base ha de ser capaç d'efectuar mesuraments precisos de les ràfegues rebudes i ha d'indicar a les estacions client els ajustos que han de fer. L'algoritme ha de tolerar atenuacions degudes a la distància i a fluctuacions de potència a velocitats de fins a 30 dB/s i a caigudes de al menys 10 dB. L'algoritme depèn del fabricant.

5.7.2 Diversificació de la transmissió: codificació espai-temps

Opcionalment, es pot implementar la diversificació de la transmissió mitjançant una codificació espai-temps de 2n ordre en l'espai.

Hi ha dues antenes de transmissió a l'estació base i una de recepció a l'estació client. Les dues antenes emeten simultàniament la seva codificació OFDM, però amb un únic oscil·lador local.

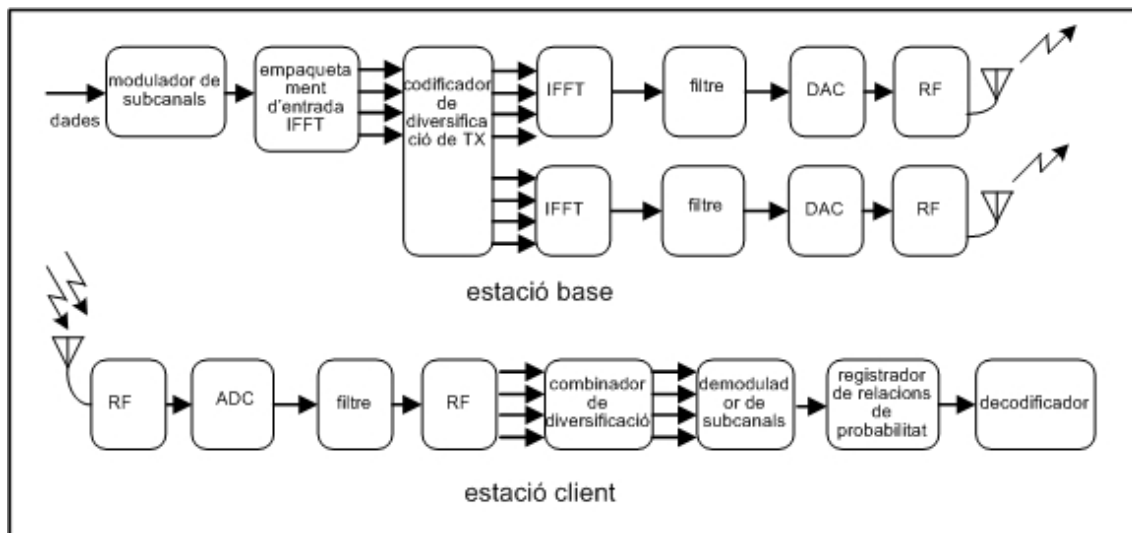


Fig. 5-5. Esquema de la diversificació de la transmissió amb codificació espai-temps

L'estació base rep els dos senyals i els combina adequadament per a obtenir les dades originals.

5.7.3 Mesures de qualitat del canal

Les mesures de nivell de recepció - *Receiver Signal Strength Indicator* (RSSI)- i *Carrier-to-Interference-and-Noise-Ratio* (CINR) i les seves estadístiques i informes associats s'han d'implementar obligatòriament. Aquests valors ajudaran en la selecció i l'assignació dels perfils adaptatius de ràfegues segons variïn les condicions dels canals. Els procediments de mesura RSSI no necessiten que el demodulador estigui bloquejat, per això ofereixen una fiabilitat raonable i precisió dels càlculs, fins i tot en condicions de baix nivell de senyal. Tot i que les mides CINR exigeixen tenir el demodulador bloquejat, subministren informació sobre l'actual estat operatiu del receptor, incloent l'energia del senyal i els nivells d'interferència i de soroll.

5.7.4 Característiques del transmissor

El transmissor ha d'oferir un control monotònic de potència de, com a mínim, 45 dB per a les bandes amb llicència i de 30 dB per a les bandes sense llicència. La regulació ha de ser en passes de 1dB i amb una precisió relativa de ± 0.5 dB.

L'energia mitjana de l'espectre s'ha de mantenir dins d'uns valors concrets que depenen de línies espectrals utilitzades en la modulació.

Per a assegurar que la relació senyal-soroll del receptor no es degrada a causa de la relació senyal-soroll del transmissor, l'error relatiu de la modulació ha d'estar dins uns marges que depenen del perfil de ràfegues utilitzat.

5.7.5 Característiques del receptor

La sensibilitat mínima del receptor és aquella per a la qual la taxa d'errors de bit - *Bit Error Rate* (BER) - és menor de 10^{-6} . La següent taula mostra la sensibilitat mínima en funció de l'ample de banda del canal, del tipus de modulació i del perfil de ràfegues utilitzat:

ample de banda en MHz	QPSK		QAM-16		QAM-64	
	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
1,5	-91	-89	-84	-82	-78	-76
1,75	-90	-87	-83	-81	-77	-75
3	-88	-86	-81	-79	-75	-73
3,5	-87	-85	-80	-78	-74	-72
5	-86	-84	-79	-77	-72	-71
6	-85	-83	-78	-76	-72	-70
7	-84	-82	-77	-75	-71	-69
10	-83	-81	-76	-74	-69	-68
12	-82	-80	-75	-73	-69	-67
14	-81	-79	-74	-72	-68	-66
20	-80	-78	-73	-71	-66	-65

Taula 5-3. Sensibilitat mínima del receptor en dBm

Si algun ample de banda no apareix, es pren el valor corresponent a l'ample de banda petit més proper.

El refús de senyal es mesura ajustant la potència del canal interferent 3dB per sota de la sensibilitat mínima per a la banda que es mira. Llavors, s'augmenta la potència fins que s'arriba a la taxa d'errors de 10^{-6} . La diferència entre la potència que es rep al canal interferit i la que envia el canal interferent és el refús del canal.

La següent taula mostra els valors mínims requerits:

modulació i codificació	refús del canal adjacent	refús del canal no adjacent
QAM-16 -3/4	11	30
QAM-64 -2/3	4	23

Taula 5-4. Valors mínims de refús de canals en dB

El receptor ha de poder treballar amb un nivell màxim de potència rebuda de -30dBm, i ser capaç de tolerar potències màximes de 0dBm sense espatllar-se.

Quant a les toleràncies de freqüències:

- en les estacions base, la freqüència central del transmissor, la freqüència central del receptor i la freqüència de rellotge dels símbols s'obtenen del mateix oscil·lador de referència. La tolerància ha de ser de ± 4 ppm en les bandes amb llicència
- en les estacions client, la freqüència central del transmissor i la freqüència de rellotge dels símbols s'han de sincronitzar amb l'estació base amb una tolerància de com a màxim el 2% de la separació entre portadores
- tots els dispositius preparats pel mode Mesh han de tenir una tolerància màxima de freqüència de ± 20 ppm, i han d'aconseguir sincronitzar-se amb els nodes del seu veïnatge amb una tolerància de com a màxim el 3% de la separació entre portadores
- totes les estacions client han d'ajustar els seus temps de manera que tots els símbols OFDM de pujada arribin a l'estació base amb una precisió major o igual que $\pm 50\%$ de l'interval de guarda

5.8 La capa física WirelessMAN-OFDMA

Les diferències entre les capes físiques WirelessMAN-OFDMA i WirelessMAN-OFDM venen donades pels tipus de modulació emprats: OFDMA en la primera i OFDM en la darrera. No es comenten aquells aspectes que coincideixen.

5.8.1 Domini de freqüència

La descripció en el domini de freqüència dels modes OFDM i OFDMA és molt semblant. La diferència rau en què les portadores actives es divideixen en subconjunts de portadores que s'anomenen subcanals. Diversos receptors, o grups de receptors, poden buscar un subcanal en la baixada; mentre que en la pujada es pot assignar un transmissor a un o a més subcanals, i diversos transmissors poden emetre en paral·lel. Les portadores que formen un subcanal poden no ser adjacents. Aquest mode de transmissió es mostra a la següent figura:

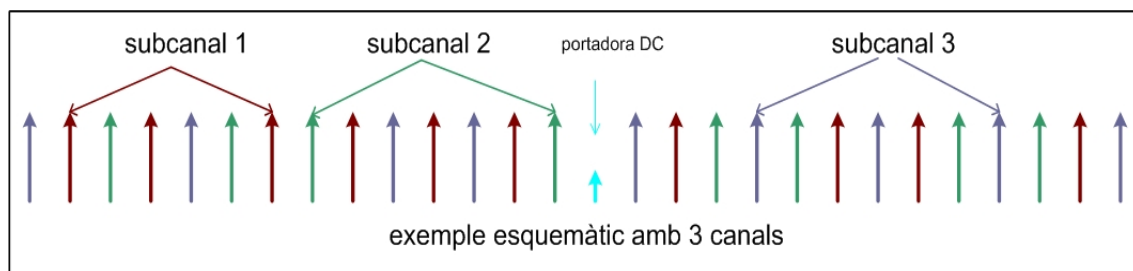


Fig. 5-6. Estructura de freqüències OFDMA

Per a la completa definició dels intervals de temps cal una nova dimensió que informi del subcanal emprat. Aquest tipus d'ubicació bidimensional s'anomena regió de dades. Tant en la pujada com en la baixada, les regions de dades es poden assignar a una estació client concreta o a un grup d'estacions client.

Per a mapejar les dades de la capa MAP en una regió de dades OFDMA es segmenten les dades en blocs de la mida del bloc FEC i després s'assigna cada bloc a

un subcanal, mitjançant un algoritme que assegura la correcta distribució dels subcanals.

Estructura de les trames

Com en el cas de l'OFDM, l'estructura de les trames és força complexa. A l'annex 6 es mostren les representacions.

5.9 Components específics per a WirelessHUMAN

La freqüència central del canal ha de complir la fórmula:

$$\text{freqüència central del canal (en MHz)} = 5000 + 5 * n_{ch},$$

amb $n_{ch} = 0, 1, \dots, 199$

Aquesta definició permet identificar unívocament, mitjançant un número de 8 bits, als canals de la banda de 5 GHz a 6 GHz, separats per 5 MHz, permetent flexibilitat a l'hora de definir conjunts de canals per a les actuals i futures regulacions legals d'aquesta banda.

Com a exemple, la següent taula mostra els canals possibles, si les regulacions ho permetessin, en dos dominis de regulació: Estat Units i Europa. No és obligatori implementar cap banda en concret, però sí s'ha de poder donar el servei en tots els canals de les bandes que es triïn.

domini de regulació	banda	canals possibles	
		amb ample de 20 MHz	amb ample de 10 MHz
Estats Units	U-NII mitja 5.25- 5.35	56, 60, 64	55, 57, 59, 61, 63, 65, 67
	U-NII superior 5.725- 5.825	149, 153, 157 161, 165	148, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 166

Taula 5-5. Exemple de canals possibles per a WirelessHUMAN als Estats Units

5.9.1 Intercanvi de claus en el mode Mesh

El protocol 802.16a especifica com ha de ser l'intercanvi de claus en el mode Mesh.

Després d'aconseguir l'autorització, el node inicia amb cada veí tants processos d'intercanvi de claus de trànsit de dades (TEK) com associacions de seguretat hagi identificat. Cada procés és responsable de mantenir el material d'encryptació de la seva associació de seguretat, i periòdicament s'envien peticions per a renovar el material d'encryptació.

Els veïns responen al node amb un missatge que conté el material actiu de l'estació base de cada associació de seguretat en concret.

Les claus TEK s'intercanvien encryptades usant la clau pública de l'estació client, que es troba al seu certificat.

CAPÍTOL IV. 802.16 en el mercat

6 Estat actual del mercat

Actualment, l'estàndard 802.16 encara no està prou implantat i reconegut als mercats. La majoria de desenvolupaments que segueixen aquesta tecnologia corresponen a fabricants i operadors que, generalment, participen en el consorci WiMAX, per la qual cosa la majoria de productes només n'adopten aquest subconjunt d'especificacions. Diferents empreses de fabricació de components han començat a desenvolupar circuits integrats que implementen la tecnologia 802.16, i alguns operadors han iniciat el desplegament de xarxes, ja sigui amb propòsits comercials o experimentals, amb dispositius basats en aquest estàndard.

Amb data de juny de 2004, els processos que permetran la certificació WiMAX encara no s'han completat, per la qual cosa no és possible certificar cap dispositiu com a WiMAX. Tot i això, s'han desenvolupat alguns productes que compleixen les especificacions 802.16a i s'autoqualifiquen de solucions "pre-Wimax", en el sentit de què implementen els requeriments que es preveu que exigirà la certificació WiMAX, que s'espera sigui funcional a finals del 2004.

6.1 Investigació d'equips disponibles i preus

En la data de redacció del projecte hi ha molt pocs equips disponibles en el mercat i és una tasca gairebé impossible obtenir-ne els preus, a no ser que es tracti de companyies que puguin ser potencials clients. Alguna de les previsions respecte dels preus és la d'un dels directius d'Alvarion, Mohammad Shakouri, que estima que els preus de les estacions base anirien entre 5000\$ i 30000\$, i els de les estacions client entre 100\$ i 150\$⁸. També hi ha qui preveu que els equips d'usuari costin uns 50\$⁹.

Es poden esmentar alguns projectes que, o bé estan preparats per a adaptar-se als requeriments de l'estàndard 802.16, o fins i tot, que ja han desenvolupat productes que s'adeqüen a l'estat actual de l'estàndard, o a la certificació WiMAX. En l'actualitat s'estan desplegant uns 1000 sistemes "pre-estàndard" en més de 125 països¹⁰. Veiem una descripció somera d'alguns d'ells:

- A Andalusia i Catalunya l'empresa espanyola **Iberbanda** ha guanyat concursos per a la provisió d'Internet a zones rurals. Ha arribat a un acord amb **Intel** en el sentit que Iberbanda faci el desplegament amb l'equipament necessari per a incorporar la tecnologia WiMAX, mentre que Intel ofereix el suport tecnològic per al desenvolupament posterior de WiMAX.
- Per altra banda la companyia americana **Airspan** també comercialitza el producte AS4030 que és compatible amb l'estàndard 802.16, però no s'assegura la interoperabilitat amb altres dispositius que el compleixin.
- La companyia de semiconductors **Wavesat Wireless** ja té disponible un circuit integrat, el WAVESAT DM216, que compleix les especificacions 802.16a.

⁸ Publicat a: http://www.theregister.co.uk/2004/01/27/wimax_approaches_tipping_point/

⁹ WiMAX, NLOS and Broadband Wireless Access (Sub-11Ghz) Worldwide Market Analysis 2004-2008. Febrer 2004, 2a edició. <http://www.wimaxforum.org/news/reports/maravedis.pdf>

¹⁰ http://www.wimaxforum.org/news/events/wimax_day_agenda/WiMAX_Forum_-_Wed_Jan_21_WCA_Intro_%283%29.pdf

Actualment s'està avaluant el xip conjuntament amb el proveïdor xinès d'equipaments [ZTE Corporation of Shenzhen](#).

- L'empresa canadenca [Redline Communications](#) va llençar al mercat el producte AN-100 l'octubre de 2003, que és la primera solució del mercat basada en la tecnologia 802.16a. Aquest producte ja l'han desplegat a Europa i a Austràlia diferents operadors de comunicacions.
- [Alvarion](#), una companyia israelita, ha presentat durant el mes de juny la plataforma BreezeMAX, basada en els estàndards 802.16 i ETSI HiperMAN i que compleix els perfils definits a WiMAX. Acceptarà qualsevol producte amb la certificació WiMAX.
- l'empresa americana [PicoChip](#) tindrà disponible al tercer trimestre de 2004 un xip que implementarà les especificacions ja aprovades per l'estàndard 802.16 (la revisió 802.16REVd), amb capacitat per a ser actualitzats d'acord amb l'estàndard mòbil 802.16e.
- Al desembre de 2004 l'empresa americana [Aperto](#) té previst poder fer proves d'interoperabilitat del seu primer sistema conforme a WiMAX.
- La companyia canadenca [Wi-Lan](#), conjuntament amb l'americana [Fujitsu Microelectronics America, Inc.](#), esperen tenir a punt un sistema certificable per WiMAX per a la primera meitat de 2005.
- [Intel](#) preveu tenir a punt el primer conjunt de circuits integrats basat en 802.16 per a instal·lacions amb antenes exteriors fixes durant la tardor de 2004; solucions amb antenes interiors durant la segona meitat de 2005, i equips basats en l'estàndard 802.16e al 2006. També està treballant amb venedors d'equips com Airspan Networks, Alvarion, Aperto Networks i Redline Communications per a disposar de solucions comercials durant la segona meitat de 2005.
- [Sequans Communications](#), una companyia francesa fabricant de semiconductors, preveu tenir a punt per a la segona meitat de 2005 dos circuits integrats que implementin les capes MAC i PHY de les estacions base i les estacions client definides a WiMAX.

6.2 Evolució prevista

El desplegament de l'estàndard 802.16 depèn en gran mesura de l'èxit dels treballs del consorci WiMAX i sembla lògic pensar que el desenvolupament dels productes 802.16 anirà un pas al darrera de la certificació WiMAX.

A la següent taula es presenta el calendari previst per a l'evolució dels productes amb certificació WiMAX:

data	tasca
2n semestre de 2004	lliurament dels perfils a implementar i selecció de les eines que facilitin les proves
3r trimestre de 2004	proves de certificació llestes per a ser utilitzades
4t trimestre de 2004	primers certificats
1r semestre de 2005	entrada al mercat dels primers productes amb certificació WiMAX
principi de 2005	desplegament comercial per a indrets fixes amb antenes exteriors de productes amb certificació WiMAX
finals de 2005 a principi de 2006	desplegament comercial per a indrets fixes amb antenes interiors de productes amb certificació WiMAX

2006/2007	productes llestos per a l'accés amb dispositius portàtils (notebooks, PDAs,)
-----------	---

Taula 6-1. Calendari previst per a l'evolució dels productes amb certificació WiMAX

Els avantatges tècnics, econòmics i de facilitat de desplegament i d'interoperabilitat, conjuntament amb la participació de més de 100 empreses en el consorci WiMAX¹¹, algunes d'elles líders en els seu sector, fan preveure que la tecnologia d'accés sense fils a la banda ampla a través de punts fixos - l'estàndard 802.16 - es desenvolupi de manera progressiva, substituint a d'altres tecnologies més costoses o que utilitzen sistemes propietaris i poc interoperables.

És molt probable que, a mig termini, la implantació de l'estàndard 802.16 tingui èxit. En mercats poc desenvolupats proporciona un mitjà de baix cost per a transportar veu i dades a alta velocitat, i en mercats més madurs pot ser un mode d'accés a Internet amb banda ampla.¹²

Es pot pensar en una evolució en dues etapes:

- la primera comença amb productes de cost i prestacions similars a les solucions d'accés a la banda ampla existents en el mercat i, gradualment i en funció de la disminució de preus, es produirà una migració de sistemes propietaris cap a sistemes 802.16
- la segona etapa es produirà quan apareguin dispositius que implementin les especificacions de l'estàndard 802.16e, facilitant la mobilitat dels equips per zones WiMAX, a l'estil dels *hot spots* Wi-Fi. Díficilment es produirà abans del 2006

¹¹ Es pot consultar el llistat d'empreses participants a l'Annex 3

¹² <http://www.pyramidresearch.com/content/excerpts/wimax.pdf>

CAPÍTOL V. WiMAX i les altres tecnologies

7 Comparació amb altres tecnologies

En l'actualitat es pot triar entre diferents tecnologies, amb o sense fils, per a accedir a la banda ampla. Com que el futur de l'estàndard 802.16 sembla que serà el mateix que el dels dispositius amb certificació WiMAX, es compara aquesta tecnologia amb d'altres.

7.1 Què és WiMAX i la seva relació amb 802.16a

7.1.1 Què és WiMAX

L'especificació d'un estàndard no assegura l'èxit comercial o que sigui acceptat pel mercat. A més d'una definició de requeriments encertada, cal assegurar la interoperabilitat entre diferents equips que compleixin l'estàndard i assegurar costos de desplegament assequibles. L'IEEE deixa en mans de la indústria privada la consecució d'aquests objectius. En el cas de l'especificació 802.11 va ser la Wi-Fi Alliance qui es va encarregar d'aquest paper. Per al mercat de l'accés sense fils a la banda ampla aquest rol l'ha assumit *Worldwide Interoperability for Microwave Acces Forum*, també conegut com a WiMAX.

WiMAX és un consorci d'indústries format per operadores de telecomunicacions, companyies desenvolupadores de components i per fabricants d'equips per a comunicacions¹³. Es va formar a l'abril de 2001, abans de la publicació de la primera especificació IEEE 802.16.

WiMAX es va crear per a promoure la compatibilitat i la interoperabilitat d'equips sense fils per l'accés a la banda ampla - *Broadband Wireless Acces (BWA)* - que compleixin les especificacions definides als estàndards IEEE 802.16. El grup també treballa amb per a desenvolupar proves similars per l'estàndard europeu HIPERMAN de l'*European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* Les tasques de WiMAX consisteixen a definir proves d'interoperabilitat i de conformitat i seleccionar laboratoris per a les certificacions, de manera que es pugui assegurar la interoperabilitat entre equips de fabricants diferents. Els fabricants que les superin poden acreditar-ho etiquetant els seus productes amb l'etiqueta "WiMAX CertifiedTM", facilitant als consumidors finals l'elecció de productes interoperables segons les especificacions 802.16 i ETSI HIPERMAN.

L'estàndard IEEE 802.16 defineix un conjunt d'especificacions per l'accés sense fils a la banda ampla, mentre que WiMAX és una organització que té com a funció assegurar la interoperabilitat i l'adequació dels productes desenvolupats segons aquest estàndard a les especificacions descrites a l'estàndard IEEE 802.16.

7.1.2 Els perfils i les proves de conformitat

Per a intentar obtenir una acceptació massiva de la tecnologia, WiMAX es concentra a establir un subconjunt de les especificacions descrites a l'estàndard 802.16 i les agrupa en els anomenats Perfils de Sistema (*System Profiles*) que, juntament amb un

¹³ A l'Annex 3 es pot veure la relació de les empreses que actualment participen en WiMAX

conjunt de proves de conformitat amb el protocol, defineixen una plataforma comuna d'interoperabilitat.

Els perfils permeten tenir en compte les restriccions que imposen els legisladors de diferents països a la utilització de l'espectre de freqüències segons les diferents zones geogràfiques. Per exemple, un proveïdor de serveis europeu que operi a la banda de 3.5 GHz i hagi de treballar amb finestres de 14 MHz necessitarà equips que funcionin amb canals de 3.5 o 7MHz d'ample de banda, i que operin amb TDD o FDD, segons les regulacions aplicables. En canvi, un operador dels Estats Units que treballi a la banda de 5.8 GHz voldrà equips amb canals de 10 MHz i que treballin amb TDD.

Els procediments de les proves de conformitat es basen en la metodologia especificada per la norma [ISO/IEC 9646](#). Normalment, les proves comencen en el moment en què es disposa d'un primer prototipus de l'equip.

7.1.3 Calendari previst per WiMAX

data	tasca
abril de 2003	<ul style="list-style-type: none"> 4 perfils inicials de sistema amb els següents paràmetres: mode 256 OFDM a les freqüències de 2.4 GHz i 5.8 GHz (sense necessitat de llicències); 2.5 GHz (MMDS), i 3.5 GHz (International FWA)
4t trimestre de 2003	<ul style="list-style-type: none"> Selecció dels laboratoris de certificació Finalització dels conjunts de proves.
3r trimestre de 2004	<ul style="list-style-type: none"> Primeres proves dels venedors
4t trimestre de 2004	<ul style="list-style-type: none"> Introducció en el mercat de solucions certificades per WiMAX
2005	<ul style="list-style-type: none"> Desplegament d'equips per part dels operadors

Taula 7-1. Calendari previst per WiMAX

7.1.4 Beneficis que s'esperen de WiMAX

Els beneficis que WiMAX hauria d'aportar a la indústria i als consumidors són:

sector	beneficis
fabricants de components	<ul style="list-style-type: none"> oportunitat de negoci amb la creació i venda de nous circuits integrats que implementin els aspectes necessaris de la tecnologia
fabricants d'equips	<ul style="list-style-type: none"> augment de la velocitat d'innovació, gràcies a l'existència d'equips basats en estàndards augment de la velocitat d'afegir noves prestacions no els hi cal desenvolupar tots els components d'una solució completa
operadors de comunicacions	<ul style="list-style-type: none"> una plataforma comuna permet disminuir el cost dels equipaments i millorar la relació qualitat-preu, aspecte impensable amb les solucions propietàries possibilitat de portar el serveis a les actuals zones d'ombra rapidesa en la provisió de serveis de nivell T1/E1 i possibilitat d'oferir serveis de banda ampla segons les necessitats dels usuaris reducció del risc d'inversió associat al desplegament de la tecnologia gràcies a l'economia d'escala la interoperabilitat permetrà no dependre de les solucions tecnològiques ofertes per un determinat fabricant
consumidors	<ul style="list-style-type: none"> més possibilitats d'elecció de la banda ampla que es vol contractar, especialment a les actuals zones d'ombra (centres urbans amb dificultat per a fer arribar les solucions amb fil, llocs on el client és

	<p>massa allunyat del punt d'accés a la xarxa, zones rurals o de baixa densitat de població que disposen d'una infraestructura petita)</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'increment de la competència en l'oferta de la banda ampla hauria de produir un abaratiment dels costos finals per al consumidor
--	--

Taula 7-2. Resum dels beneficis que hauria d'aportar WiMAX

7.1.5 Perquè adoptar l'estàndard 802.16a?

WiMAX va decidir adoptar l'estàndard 802.16a degut a una sèrie de característiques que fan preveure el seu èxit en el mercat.

En primer lloc, l'especificació 802.16 es defineix per al rang de freqüències entre 10 i 66 GHz, que requereix entorns de funcionament amb visibilitat directa entre antenes - *Line-of-Sight* (LOS) -. La revisió 802.16a es centra en el rang de freqüències entre 2 i 11GHz, on la visibilitat directa entre antenes no és un requisit imprescindible - *Non Line-of-Sight* (NLOS) -. Aquesta diferència és fonamental des del punt de vista de facilitat de desplegament dels equips, i s'aconsegueix gràcies a la introducció de noves definicions de capes físiques:

- capa física amb portadora simple
- capa física amb tecnologia de multiplexació per divisió ortogonal de freqüència de 256 punts- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)
- capa física amb tecnologia de multiplexació per divisió ortogonal de freqüència de 2048 punts- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces* (OFDMA)

OFDM permet les transmissions sense visibilitat directa mantenint un alt nivell d'eficiència espectral i maximitzant l'ús de l'espectre disponible.

El protocol té altres característiques que contribueixen a mantenir les prestacions en diferents entorns de funcionament. Quant a la capa física (PHY) es poden destacar:

- mida d'amplada de canal variable, que dóna la flexibilitat necessària per a treballar en diferents bandes de freqüències
- modulació adaptativa i correcció d'errors variable amb codificació Reed-Solomon, que assegura la robustesa dels enllaços de radiofreqüència ajudant a maximitzar la velocitat de transmissió dels clients
- possibilitat d'utilitzar les tècniques de transmissió TDD i FDD, que permet adaptar-se a les regulacions legals de diferents països
- possibilitat d'ús de sistemes avançats d'antenes. La disminució de la mida i costos de les antenes i la millora de les prestacions permeten augmentar l'eficàcia de les transmissions
- selecció dinàmica de la freqüència, per a minimitzar les interferències
- codificació espai-temps, per a millorar les prestacions en entorns amb problemes de *fading*
- possibilitat de treballar en topologia de xarxa- *Mesh Mode*, que permet les comunicacions de client a client, afavoreix l'escalabilitat i és una aproximació alternativa a la visibilitat no directa (NLOS)

Les xarxes sense fils comparteixen el medi i necessiten un mecanisme per a controlar l'accés dels clients al medi. La capa MAC proporciona els sistemes per a fer efectiu aquest control, entre els quals es poden destacar:

- control de les trames de pujada i baixada de dades amb TDM i TDMA, proporciona un ús eficient de l'ample de banda
- escalabilitat des d'un fins a cents de clients per canal, abarateix els costos de desplegament dels sistemes sense fils de banda ampla
- orientació a la commutació de circuits, permet subministrar qualitat de servei (QoS) i millora la velocitat d'enrutament i d'enviament de paquets
- petició automàtica de retransmissions - *Automatic Retransmission Request (ARQ)* -, millora les prestacions entre extrems amagant a les capes superiors els errors induïts per la capa física
- diferents modes d'enviament de dades dels clients cap a les estacions base, adaptació de les velocitats i dels retards de les dades a les necessitats de cada servei
- modulació adaptativa, possibilita l'obtenció de les màximes velocitats de transmissió de dades que permet un canal, millorant la capacitat del sistema
- seguretat i encriptació amb Triple DES, protegeix la privacitat i la seguretat dels usuaris
- control automàtic de potència, permet el desplegament de xarxes cel·lulars minimitzant l'autointerferència

7.1.6 La relació de WiMAX amb 802.16a

L'estàndard IEEE 802.16 defineix un conjunt d'especificacions per l'accés sense fils a la banda ampla, mentre que WiMAX és una organització que té com a funció assegurar la interoperabilitat i l'adequació dels productes desenvolupats segons aquest estàndard a les especificacions descrites a l'estàndard IEEE 802.16.

L'estàndard 802.16 proposa diverses especificacions; però, per a assegurar l'adopció popular d'un estàndard, WiMAX ha seleccionat, atenent les necessitats del mercat, un subconjunt de les especificacions, concretament la capa física funcionant en el mode 256 OFDM, que és comuna als estàndards 802.16a i ETSI HIPERMAN, per a les bandes de freqüències de 2.4 GHz i 5.8 GHz (sense necessitat de llicències) i 2.5 GHz (MMDS) i 3.5 GHz (International FWA)

De moment, WiMAX únicament certificarà productes que compleixin l'estàndard 802.16a i treballin en les bandes de freqüència de 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz i 5.8 GHz, utilitzant el mode 256 OFDM, però en funció de les necessitats del mercat i de la inclusió d'especificacions addicionals, es poden desenvolupar noves proves i certificacions per a altres subconjunts de l'estàndard IEEE 802.16.



Fig. 7-1. Logotip de WiMAX

Les prestacions que pot obtenir una estació base que utilitzi aquesta tecnologia és d'una velocitat de dades de fins a 280 Mbps i un radi de cobertura d'uns 50 Km sense visibilitat directa amb les estacions client, amb la qual cosa es pot donar servei a centenars de clients amb connexions E1 o T1, o milers amb connexions del tipus DSL..

7.2 WiMAX vs Wi-Fi

Wi-Fi és el nom amb el qual es coneixen els productes de la família d'estàndards 802.1x certificats per *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA) Inclou les tecnologies 802.11a, que pot assolir els 54 Mbps i treballa a la banda ISM de 5 GHz; la 802.11b, que pot arribar a velocitats de fins a 11Mbps dins la banda ISM de 2 GHz, i la 802.11g, que és compatible cap enrera, té més abast que els 100 m de les anteriors i necessita menys consum de potència que la 802.11a. També anirà incorporant les tecnologies futures, per exemple la 802.11n, que podria arribar a velocitats entre 100 i 300 Mbps.

En general, aquesta tecnologia té un abast d'uns 100 m; utilitza bandes sense llicència; té unes característiques de seguretat febles; els canals tenen una ample de banda de 20 MHz, i pot donar servei a desenes d'usuaris simultàniament. El seu ús principal és per a l'accés a xarxes locals sense fils sense necessitats de QoS, en àmbits residencials o en oficines, ja que el cost dels equips és molt econòmic, la configuració relativament senzilla i no calen antenes exteriors.

Darrerament s'estan definint noves especificacions en el protocol 802.11 que milloren aspectes com la velocitat i la seguretat - 802.11i -, però el problema del curt abast és de molt difícil solució degut a la limitacions de potència a les bandes ISM.

Per tant, més que competir, és una tecnologia que pot complementar força bé a WiMAX, ja que en l'actualitat WiMAX representa uns costos i unes dificultats d'implantació massa elevats per a l'accés a petites xarxes locals. Per exemple, mitjançant Wi-Fi es podria oferir l'accés a la xarxa local i amb WiMAX es connectaria la xarxa local amb altres xarxes exteriors.

7.3 WiMAX vs LMDS

LMDS - *Local Multipoint Delivery Service* - és una tecnologia sense fils d'accés a la banda ampla, usada per a lliurar qualsevol tipus de senyal digital: POTS, Frame Relay, 10BaseT, ATM sobre circuits T1, etc. Treballa a la banda de 25 GHz i superiors, segons les regulacions locals aplicables.

Utilitza una arquitectura cel·lular similar a les dels serveis mòbils, però només interconnecta punts fixos. Està pensada per a treballar en mode punt a punt o punt-multipunt. Les connexions de les estacions client a l'estació base es poden fer amb FDMA, TDMA o CDMA, en funció del servei i del sentit de transmissió de dades, i les dades viatgen encriptades.

Les radiocomunicacions a la banda de 25 GHz necessiten visibilitat directa entre antenes, i es poden veure afectades per la pluja i per la vegetació densa, en canvi, la multirecepció per rebots de senyal no les afecta gaire. Com a mètodes de modulació pot utilitzar els basats en desplaçament de fase - *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) i els basats en QAM - *Quadrature Amplitude Modulation* -, QAM-4 i QAM-16 i QAM-64.

El nombre de clients als quals es pot donar servei depèn de l'ample de banda de canal que es pugui utilitzar, de la reutilització de freqüències, del tipus de compartició del medi, de la modulació emprada i de la velocitat de dades que es vulgui oferir a cada client.

La velocitat màxima de dades depèn de l'ample de banda de canal, del nombre de sectors de l'estació base, de la reutilització de freqüències i de la modulació emprada, tant en el sentit de pujada com en el de baixada. Per exemple, amb un ample de

banda de 1000 MHz, una estació amb dos sectors, utilitzant QAM-64 per a pujada i baixada simètrica de dades, aconseguiríem 1250 Mbps en cada sentit¹⁴.

Les característiques del medi, juntament amb el tipus de modulació emprada i les exigències de disponibilitat contractades, limiten l'abast de les cel·les LMDS. Es pot parlar de distàncies màximes entre 2,5 Km i 14 Km. Les utilitzacions típiques de LMDS acostumen a cobrir distàncies d'entre 3 i 5 Km, amb un grau de disponibilitat del 99,99%.

WiMAX treballa en la banda de 2 a 11 GHz, per tant, no li afecten les limitacions de propagació de la banda de 25 GHz. Una de les conseqüències principals és que WiMAX pot treballar tant sense visibilitat directa (NLOS), com amb visibilitat directa (LOS) Un altre diferència fonamental és la capacitat de WiMAX d'adaptar-se a les condicions variables del medi, mitjançant mecanismes de control de potència emesa, modulació adaptativa i selecció automàtica de freqüència, que permeten una combinació d'abast i de velocitat de transmissió de dades superior.

7.4 WiMAX vs UMTS

El Servei Universal de Telecomunicacions Mòbils - *Universal Mobile Telephony System* (UMTS) és una tècnica de comunicació sense fils optimitzada per als serveis multimèdia d'alta velocitat. Correspon al que s'anomena tercera generació de dispositius mòbils (3G) Té assignades les bandes 1885 a 2025 MHz i 2110 a 2200 MHz, que necessiten llicència per a la seva utilització.

Les connexions dels terminals mòbils a l'estació base es poden fer amb WCDMA, o amb TDMA.

Com a modulació utilitza el desplaçament de fase 8 PSK, que li permet oferir una velocitat de dades més gran que les anteriors generacions de telefonia mòbil. En el mode de commutació de circuits es poden aconseguir velocitats de 384 Kbit/s, mentre que amb commutació de paquets la velocitat pot arribar als 2 Mbps en terminals fixos. Aquestes velocitats disminuiran conforme augmenti la velocitat de desplaçament del terminal.

Permet el *roaming* amb altres xarxes i els serveis poden disposar de control de la qualitat de servei (QoS)

Els sistemes basats en WiMAX ofereixen connexió sense fils a la banda ampla a través de terminals fixos, mentre que UMTS es centra en oferir serveis a terminals mòbils, tot i que treballant com a terminal fix pot assolir velocitats de 2 Mbps. L'estàndard 802.16e desenvolupa les especificacions per a afegir mobilitat al protocol 802.16, però WiMAX, per el moment, no ho té en compte. En qualsevol cas, cada una d'aquestes tecnologies està dissenyada per a diferents tipus d'accés a la banda ampla, i és molt probable que, de manera semblant a WiFi, s'acabin complementant.

WiMAX pot oferir velocitats de transmissió de dades molt superiors a UMTS, en canvi no permet la mobilitat de terminals. Els segments d'aplicació són força diferents.

¹⁴ Per als càlculs es té en compte que l'eficiència espectral de QAM-64 és de 5bits/s/Hz. $1000\text{MHz}/2\text{sectors}=500\text{MHz}$ per sector $\Rightarrow 250\text{MHz}$ per a cada sentit. $250\text{MHz} \times 5 \text{ bit/s/Hz}=1250 \text{ Mbps}$

7.5 WiMAX vs solucions cablejades

Les solucions cablejades són una de les tecnologies d'accés a la banda ampla més esteses en l'actualitat. En la majoria de casos l'accés al bucle local és propietat de les operadores de telecomunicacions i són aquestes les que han fet el major desplegament de sistemes d'accés a la banda ampla, principalment per parell de coure. Les diferents implementacions ADSL - *Asymmetric Digital Subscriber Line* -; HDSL - *High Data Rate Digital Subscriber Line* -; VDSL *Very High Speed Digital Subscriber Line* -, i SDSL - *Simetric Digital Subscriber Line* -, ofereixen unes característiques força interessants per a la transmissió de dades a alta velocitat:

- gran amplada de banda per al sentit de baixada
- ample de banda disponible de manera permanent
- aprofitament de les estructures de fils de coure ja desplegades

Mitjançant diferents tècniques de modulació l'ADSL pot aconseguir velocitats de fins a 8 Mbps a una distància d'1 Km. Les operadores, però, acostumen a limitar l'ample de banda ofert a 2Mbps a una distància de fins a 2,5 Km per a evitar problemes d'atenuació deguts a l'estat dels cables. Emprant ATM sobre ADSL es pot aconseguir totes les característiques d'ATM, per exemple, control de la qualitat del servei (QoS), transparència de protocol, ample de banda escalable, etc.

Les altres implementacions poden utilitzar simultàniament més d'un parell de coure per a oferir velocitats més elevades, per exemple, amb VDSL podríem arribar fins a 52 Mbps en condicions òptimes.¹⁵

El principal avantatge de les solucions cablejades davant WiMAX per a l'accés a la banda ampla és la facilitat de reutilitzar les instal·lacions existents. El principal avantatge de WiMAX és que pot oferir serveis de banda ampla, amb uns costos inferiors al cable, a llocs llunyans o on la infraestructura de cable sigui deficient.

7.6 WiMAX vs 802.20

L'IEEE està definint l'estàndard 802.20 per a desenvolupar la interfície aire per al transport eficient de serveis basats en IP. L'objectiu és permetre les connexions permanents de dispositius mòbils amb interoperabilitat entre els diferents fabricants. Operarà en la banda de 3 GHz amb llicència; estarà optimitzada per al transport de dades IP; arribarà a velocitats de 3,2 Mbps amb canals d'ample de banda de 1.25 MHz i fins a 16 Mbps amb ample de banda de 5 MHz pic superiors a 1 Mbps; acceptarà diversos tipus de mobilitat fins a 250 Km/h en entorns de xarxes metropolitanes (MAN), i la velocitat sostinguda de dades i el nombre de connexió simultània d'usuaris seran superiors a la dels sistemes mòbils actuals.

L'objectiu de la tecnologia 802.16e, que possiblement s'afegeixi a les certificacions WiMAX, és oferir un servei nòmada en el sentit de què es busca la connexió sense fils a la xarxa però sense una única ubicació concreta i fixa. Per exemple, un usuari amb un ordinador portàtil que necessiti accés en diferents llocs. Per tant, aquestes dues tecnologies proporcionen segments d'ús diferents.

¹⁵ <http://greco.dit.upm.es/~vidal/Planta de Cobre-xDSL.pdf>

7.7 WiMAX vs tecnologies del projecte BRAN

El projecte BRAN - Broadband Radio Access Networks - de l'ETSI - European Telecommunications Standards Institute - ha creat dos estàndards, HIPERACCESS - amb freqüències per damunt dels 11 GHz- i HIPERMAN - amb freqüències per sota dels 11 GHz -, que es desenvolupen gairebé en paral·lel amb el 802.16 i el 802.16a i ofereixen especificacions molt similars. De fet, WiMAX també treballa en la definició de proves d'interoperabilitat amb l'estàndard europeu HIPERMAN. És possible, doncs, que hi hagi productes WiMAX que implementin 802.16a o HIPERMAN, essent totalment compatibles i interoperables.

7.8 WiMAX vs tecnologies propietàries

També estan apareixent tecnologies propietàries que faciliten l'accés sense fils a la banda ampla a punts fixos. L'avantatge de WiMAX respecte de les tecnologies propietàries és precisament aquest: la no dependència d'un sol fabricant per a ampliar les xarxes. Aquestes tecnologies tenen un lloc al mercat, especialment en sistemes que no tinguin previsions d'ampliacions o bé aquelles situacions en les quals l'accés a la banda ampla s'hagi de solucionar sense cap tipus de demora (recordem que encara no hi ha productes WiMAX al mercat); però seria convenient preveure una possible predominància futura de WiMAX en el mercat i trobar tecnologies propietàries que fossin susceptibles d'adaptar-se a les certificacions WiMAX amb relativa facilitat.

7.9 WiMAX vs PLC

La tecnologia *PowerLine Communications* (PLC) utilitza la xarxa elèctrica per a oferir banda ampla i accés telefònic en l'entorn de la "última milla". Utilitza les freqüències entre 1,6 i 30 MHz i en l'actualitat s'aconsegueixen velocitats a la sortida dels transformadors de fins a 45 Mbps (27 Mbps de baixada i 18 Mbps de pujada), que s'han de repartir entre els usuaris connectats al mateix transformador. En la xarxa de mitja tensió s'arriba als 135 Mbps. Pot oferir serveis de banda ampla que puguin acceptar latències elevades, per tant, no és la tecnologia idònia per a serveis que requereixen velocitats elevades i contínues de dades. El principal avantatge és que la xarxa elèctrica arriba a gran part de la població, especialment en països desenvolupats i això representa que les instal·lacions poden tenir un cost reduït. Com a inconvenients es pot citar la falta d'interoperabilitat dels dispositius degut a la falta d'estàndards, que provoca que les solucions actuals siguin propietàries.

En segons quins entorns, per exemple, en zones completament electrificades, PLC pot arribar a ser una tecnologia que competeixi directament amb WiMAX. Tot i això, pot ser que en funció del cost de desplegament dels repetidors PLC a les estacions transformadores, les operadores no ho veiessin com un mercat interessant, de manera semblant al que passa amb les operadores de comunicacions amb el desplegament actual de la banda ampla. Una altra situació que es podria donar seria la combinació de les dues tecnologies: WiMAX com a connexió amb xarxes externes i PLC per a fer arribar la banda ampla als usuaris particular i petites i mitjanes empreses, de forma similar a la combinació Wi-Fi i WiMAX.

CAPÍTOL VI. Usos, serveis i escenaris pràctics per a WiMAX

8 Possibles usos i serveis. Escenaris pràctics

8.1 Possibles usos i serveis

Els perfils definits a WiMAX pretenen caracteritzar els escenaris on aquesta tecnologia pot oferir el millor rendiment. WiMAX posa èmfasi en les topologies punt-multipunt, però sense oblidar els desplegaments punt a punt.

Dins l'empresa privada es pot utilitzar WiMAX per a unir les diferents seus existents en un àrea metropolitana evitant, o disminuint, el cost associat a la instal·lació de fibres òptiques, solucions cablejades o subministraments de les operadores comunicacions. Es pot utilitzar WiMAX per a oferir les connexions amb xarxes externes i entre diferents seus, i Wi-Fi per a implementar les xarxes locals dins de cada seu. Aquest desplegament podria ser interessant en aquelles situacions en què es necessités accés a d'altres xarxes i encara no s'hagués desplegat cap altre infraestructura.

Un altre ús típic seria l'accés a les xarxes troncales - conegut com a *Backhaul* - d'estacions cel·lulars, que actualment s'acostuma a fer mitjançant radioenllaços punt a punt; o bé l'enllaç de *hot-spots* Wi-Fi amb Internet, on s'utilitzen majoritàriament solucions T1 o DSL. WiMAX podria disminuir el temps i el cost de desplegament.

Si WiMAX té l'èxit previst, és molt probable que el preu dels dispositius sigui força assequible. Llavors, també es podrà pensar en subministrar l'accés a serveis basats en IP a l'usuari final i a petites empreses, especialment en medis rurals o amb cobertura insuficient per part de les tecnologies actuals. WiMAX pot augmentar entre 5 i 10 vegades les velocitats actuals de les solucions cablejades, i, a llarg termini, fins i tot es podrien oferir serveis amb grans necessitats d'ample de banda, com el vídeo sota demanda.

A finals del 2006 es preveu que WiMAX s'integri en dispositius mòbils. A partir d'aquest moment es podrà accedir a la banda ampla mitjançant WiMAX sense necessitat d'estacions client fixes.

8.2 Connexió de la xarxa de la Universitat Oberta de Catalunya UOC

Descripció:

- La UOC disposa d'edificis a Barcelona i a Castelldefels, 11 Centres de Suport i 39 Punts de Suport distribuïts per Catalunya.

Necessitats:

- interconnectar tots els edificis on la UOC disposa de serveis amb els servidors centrals
- possibilitar l'accés a Internet, amb i sense fils, a tots els edificis
- proporcionar serveis de veu a totes les dependències, tant entre elles com amb la xarxa de telefonia general

Proposta:

- connectar l'edifici on es troba el servidor central amb la xarxa d'un operador de comunicacions mitjançant els serveis que ofereixi, contractant l'ample de banda necessari per les necessitats dels usuaris

- implantar una xarxa combinant els modes punt a multipunt o topologia *Mesh* en funció de les condicions de visibilitat i de les distàncies a cobrir
- a tots els edificis crear xarxes locals amb tecnologia Wi-Fi per a l'accés inalàmbic a la xarxa

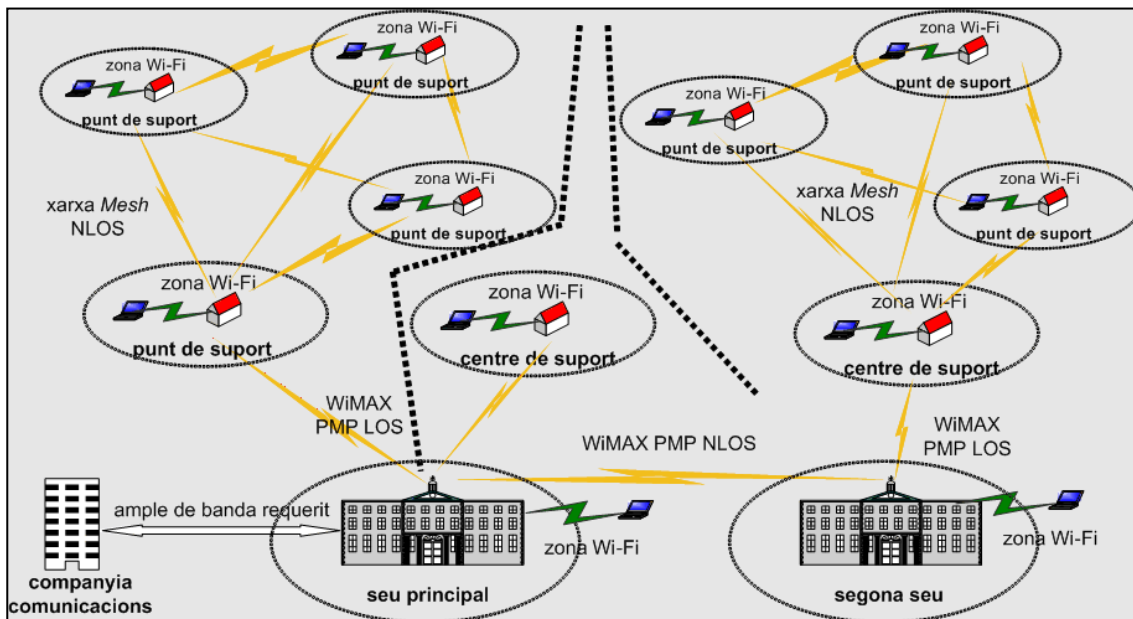


Fig. 8-1. Connexió de la xarxa de la Universitat Oberta de Catalunya

8.3 Serveis municipals sense fils

Descripció:

- Ajuntament d'una ciutat de menys de 20000 habitants amb serveis i dependències distribuïdes en un terme municipal d'una extensió relativament reduïda. Les dependències no tenen, en general, visibilitat directa entre elles, ni amb cap punt comú.

Necessitats:

- possibilitar l'accés a Internet i interconnectar l'Ajuntament, on es troba el servidor de dades; una oficina de recaptació, i les dependències de la Policia Local
- oferir accés a Internet a dues escoles i a una biblioteca i interconnectar-les entre elles
- proporcionar serveis de veu a totes les dependències, tant entre elles com amb la xarxa de telefonia general

Proposta:

- connectar la seu principal amb la xarxa d'un operador de comunicacions mitjançant els serveis que ofereixi, contractant l'ample de banda necessari per les necessitats dels usuaris
- implantar una xarxa amb topologia *Mesh* i equips WiMAX que permeti el funcionament sense visibilitat directa (NLOS) El funcionament seria amb programació centralitzada coordinada i l'Ajuntament tindria el paper d'estació base
- crear xarxes locals a totes les dependències amb tecnologia Wi-Fi

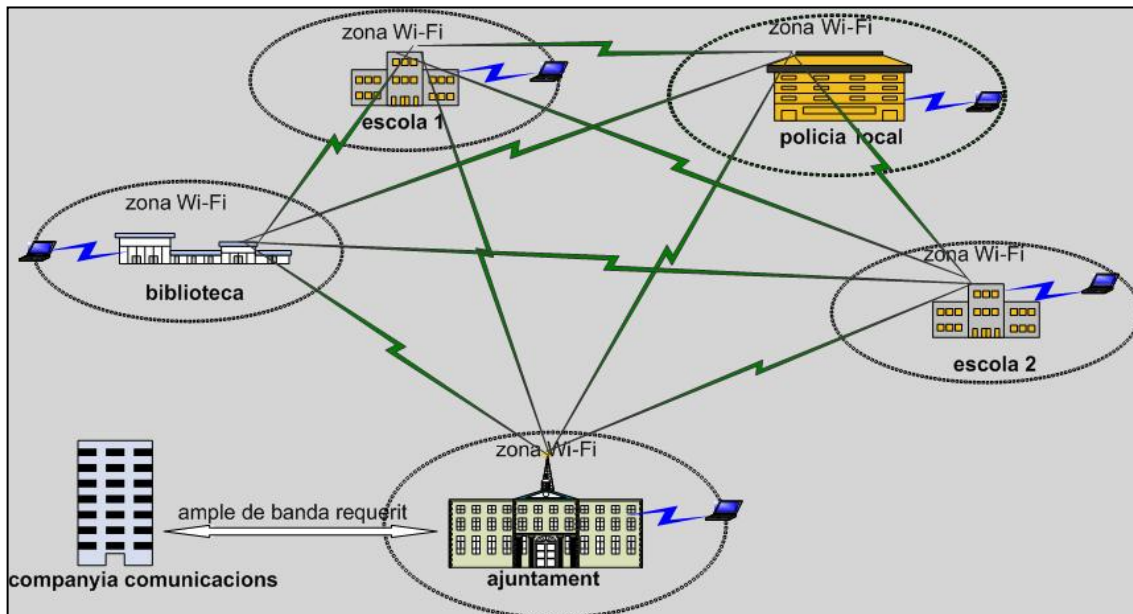


Fig. 8-1. Serveis municipals sense fils

8.4 Connexió en un medi rural

Descripció:

- poblacions petites i cases aïllades, amb baixa densitat de població i, en general, sense visibilitat directa entre elles. Sempre es pot trobar una casa o població a menys de 10 Km. En cada zona es pot trobar un edifici amb visibilitat directa amb una edificació electrificada, amb possibilitat de connexió a la xarxa d'algun operador de telecomunicacions, situada en un punt elevat i a distàncies inferiors a 50 Km. En general, aquestes són les característiques, per exemple, de la comarca de l'Alt Urgell.

Necessitats:

- dotar d'accés a Internet amb banda ampla a tots els usuaris i poblacions que ho sol·licitin
- proporcionar serveis de veu a tots els usuaris i poblacions que ho sol·licitin, per exemple, per a substituir els actuals accessos TRAC de telefonia

Proposta:

- connectar l'edifici elevat amb la xarxa telefònica bàsica mitjançant els serveis oferts pels operadors de comunicacions
- connectar els edificis de les zones que interressi amb l'edifici elevat a través de connexions WiMAX punt a multipunt
- a partir dels edificis que tenen accés a l'edifici elevat desplegar xarxes amb topologia *Mesh* i equips WiMAX que permetin el funcionament sense visibilitat directa (NLOS) El funcionament seria amb programació centralitzada amb una estació base que coincidiria amb els equips connectats en mode punt a multipunt
- instal·lar en els domicilis dels usuaris els equips i configuracions que permetessin les comunicacions de veu i a Internet

- en determinats casos es podrien connectar punts d'accés Wi-Fi per a crear zones Wi-Fi (hot-spots), per exemple, algun hotel o càmping amb previsions de necessitat de connexió dels seus clients, o simplement en poblacions que volguessin oferir-ho als seus habitants

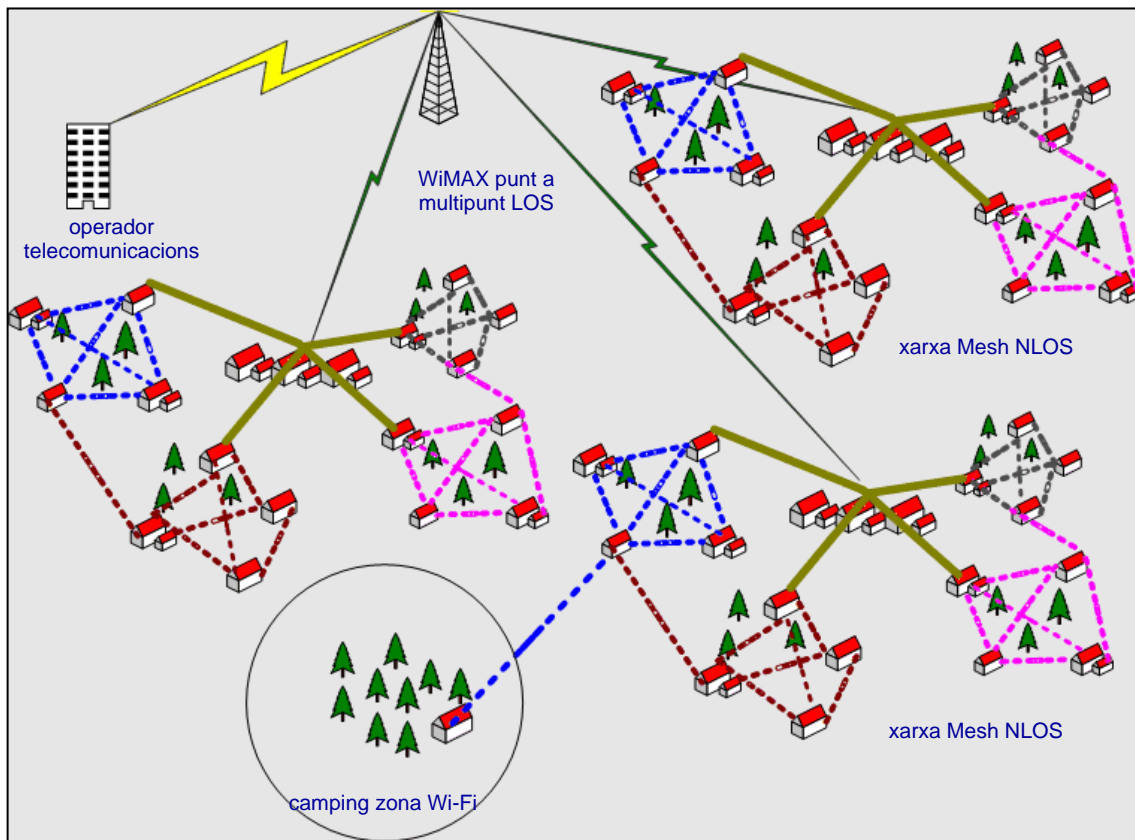


Fig. 8-2. Connexió en un medi rural

CAPÍTOL VII. Conclusions

9 Conclusions

9.1 Utilitzacions de l'estàndard 802.16 i de WiMAX

L'estàndard IEEE 802.16 utilitza tècniques de radiocomunicacions modernes i molt efectives que permeten una elevada eficiència espectral i, com a conseqüència, unes velocitats d'accés altes i una gran cobertura treballant a la banda de freqüències entre 2 i 66 GHz, tant amb llicència com sense. El seu principal ús és per a l'accés sense fils a la banda ampla en xarxes d'àrea metropolitana, i per a l'accés anomenat de "l'última milla", especialment en territoris de baixa densitat de població i/o d'orografia complexa.

Els treballs del consorci WiMAX estableixen unes proves per a la certificació de productes que vulguin ser compatibles i interoperables amb un subconjunt concret de les especificacions de l'estàndard 802.16a a la banda de 2 a 11 GHz. En aquest projecte hi ha nombroses empreses implicades - operadores de comunicacions, integradors de serveis i desenvolupadores de productes - amb una forta implantació en les seves respectives àrees de negoci i algunes d'elles líders en el seu sector.

Les prestacions que poden oferir els productes basats en l'estàndard 802.16 i, especialment la interoperabilitat d'aquells que obtinguin la certificació WiMAX, juntament amb l'impuls proporcionat pel consorci, fan preveure que aquest estàndard s'imposarà a partir del moment en què es comencin a comercialitzar els productes.

A partir de l'estat actual de desenvolupament de WiMAX i de les comparacions amb d'altres tecnologies d'accés a la banda ampla es poden obtenir les següents conclusions generals:

- WiMAX complementa bé a les tecnologies que ofereixen mobilitat i accés a les xarxes locals amb velocitats de fins a 2 Mbps aproximadament - UMTS, Wi-Fi, PLC...- oferint les connexions amb les xarxes de telecomunicacions
- els productes WiMAX poden substituir a altres tecnologies per a l'accés anomenat de "l'última milla", especialment en territoris de baixa densitat de població i/o d'orografia complexa
- per a les utilitzacions de subministrament de la banda ampla a velocitats superiors a 2 Mbps cal estudiar detalladament cada situació en particular - existència d'altres infraestructures, possibilitat i cost d'ampliar-les, etc. - i decidir quina és la tecnologia més apropiada - WiMAX, solucions cablejades, PLC, ... - WiMAX sembla que serà la més indicada en especialment en zones de baixa densitat de població i/o d'orografia complexa
- en la majoria de situacions que requereixin escalabilitat de la xarxa, WiMAX s'acabarà imposant a les tecnologies propietàries, precisament per les característiques de compatibilitat i interoperabilitat de WiMAX

L'estàndard 802.16 en general, i WiMAX en particular, serà una excel·lent solució per al desplegament d'infraestructures d'accés a la banda ampla en entorns de baixa densitat de població, de complexitat orogràfica elevada i, en general, en aquelles situacions en que el desplegament d'altres tecnologies pugui suposar uns costos de desplegament i de manteniment massa elevats. Per aquests motius és molt probable que en un terme mig els productes WiMAX siguin tan familiars en el mercat com ho són ara els productes Wi-Fi.

9.2 Treballs futurs

Aquest projecte estableix un punt de partida per al desenvolupament de treballs posteriors. En el moment en què comencin a aparèixer productes al mercat amb la certificació WiMAX es podria estudiar, per exemple, el desenvolupament pràctic dels escenaris descrits al capítol VII.

Un projecte especialment interessant podria ser el desplegament pràctic d'una xarxa que combinés WiMAX i Wi-Fi per a interconnectar les seus de la UOC, els Centres de Suport i els Punts de Suport, oferint accés total tant a la xarxa UOC com a les xarxes externes, tal com es proposa al punt 8.2.

Glossari d'abreviatures i termes

AAS	Adaptive Antenna System
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ARQ	Automatic Retransmission Request
BE	Best Effort Service
BER	Bit Error Rate
BTC	Block Turbo Coding
BRAN	Broadband Radio Access Networks
BWA	Broadband Wireless Acces
CCS	senyalització per canal comú- Common Channel Signaling
CDMA	Code Division Multiple Access
CID	Connection Identifier
CINR	Carrier-to-Interference-and-Noise-Ratio
CNAF	Cuadro Nacional de Frecuencias
CLP	Cell Loss Priority
CS	Convergence Sublayer
CTC	Convolutional Turbo Codes
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DES	Data Encryption Standard
DFS	Dynamic Frequency Selection
DL-MAP	Downlink Map
DSA	Dynamic Service Addition
DSC	Dynamic Service Change
DSD	Dynamic Service Deletion
DSL	Digital Subscriber Line
E1	circuit a 2048 Mbps (usat a Europa)
EIRP	Efective Isotropic Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EVM	Errr Vector Magnitude
FDD	Frequency-Division Duplex
GPC	Grant Connection Mode
GPSS	Grant per Subscriber Station Mode
HDSL	High Data Rate Digital Subscriber Line
HUMAN	High-Speed Unlicensed Metropolitan Area Network
ICM	Industrial Científica Médica
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial Scientifical Medical
LAN	Local Area Network
LMDS	Local Multipoint Delivery Service
LOS	Line-of-Sight
MAC	Medium Acces Control
MAC SAP	MAC Service Acces Point
MAN	Metropolitan Area Network
NLOS	Non Line-of-Sight
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces
PDU	Protocol Data Unit
PHS	Payload Header Supression
PHSI	Payload Header Suppression Index
PHY	Physical Layer
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PKM	Privacy Key Management
PLC	PowerLine Communications
PMD	Physical Medium Dependent Sublayer
POTS	Palin Old Telephony Service
PTI	Payload Type Indicator
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
RSSI	Receiver Signal Strenght Indicator
rtPS	Real-Time Polling Service
SAID	Security Association Identifier
SDSL	Simetric Digital Subscriber Line
SDU	Service Data Unit
SFID	Service Flow Identifier
SNR	Signal Noise Ratio
SOHO	Small Office-Home Office
SSTG	SS Transition Gaps
STC	Space Time Coding
T1	circuit a 1.544 Mbps (usat a EE.UU.)
TC	Transmission Convergence Sublayer
TDD	Time-Division Duplex
TDM	Time-Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Acces
TEK	Transit Encryption Data
UGS	Unsolicited Grant Service
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile TelephonySystem
UL-MAP	Uplink Map
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worlwide Interoperability for Microwave Acces Forum
WLAN	Wide Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop

Bibliografia

IEEE Std. 802.16TM-2001. *802.16TM IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed for Broadband Wireless Acces Systems*. ISBN 0-7381-3071-0

IEEE Std. 802.16aTM-2003. (Amendment to IEEE Std. 802.16TM-2001) *802.16aTM IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed for Broadband Wireless Acces Systems. Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2–11 GHz*. ISBN 0-7381-3567-4

IEEE Std. 802.16cTM-2002. (Amendment to IEEE Std. 802.16TM-2001) *802.16cTM IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed for Broadband Wireless Acces Systems. Amendment 1: Detailed System Profiles for 10–66 GHz*. ISBN 0-7381-3494-5

STALLINGS, W., *Wireless Communications and Networks*. Ed. Prentice Hall, 2001. ISBN 0-13-040864-6. pàg. 31; 133; 139; 146-147; 357; 362; 366-381

EKLUND, C.; MARKS, R.B.; STANWOOD, K.. *IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Acces*. IEEE Communications Magazine, June 2002

PRIETO BLÁZQUEZ, J. i altres. *Xarxes de Computadors IV*. Ed. Eurecamedia, S.L, 2002. ISBN 84-8429-589-3

White Paper. *IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access*. 17-06-2004
<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXWhitepaper.pdf>

GABRIEL, C. *Wimax: The Critical Wireless Standard. 802.16 and Other Broadband Wireless Options*. Octubre 2003
http://www.arcchart.com/pr/blueprint/pdf/BluePrint_WiFi_REPORT_I.pdf

Espectro radioléctrico. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) 29-03-2004
<http://www.setsi.mcyt.es/>

IEEE 802.16 Project Development Milestones: Air Interface Projects. 05-04-2004
http://www.ieee802.org/16/milestones_airint.html

IEEE 802.16 Project Development Milestones: Coexistence Projects. 27-03-2004
http://www.ieee802.org/16/milestones_coex.html

IEEE 802.16 Project Development Milestones: Conformance Projects. 29-03-2004
http://www.ieee802.org/16/milestones_conf.html

FAQ WiMAX Forum. 23-3-2004
<http://www.wimaxforum.org/about/faq/>

Wi-Fi Alliance (WECA) 23-03-2004

<http://www.weca.net/OpenSection/index.asp>

80216 News. 23-03-2004

<http://www.80216news.com/>

JOHNSTON, D.J.; LABRECQUE, M. *IEEE 802.16* WirelessMAN* Specification Accelerates Wireless Broadband Access*. 29-03-2004

<http://www.intel.com/update/contents/st08031.htm>

DAWSON, Ch.W., MARTÍN, G. *El Proyecto Fin de Carrera en Ingeniería informática. Una guía para el estudiante*. Ed. Prentice Hall. ISBN 84-205-3560-5

ABELLA FUENTES, J; CORRAL i TORRUELLA, G. *Xarxes de Computadors III*. Ed. Eurecamedia, S.L, 2002. ISBN 84-8429-588-5

ÍÑIGO RIERA, J. i altres. *Xarxes de Computadors I*. Ed. RBA Realizaciones Editoriales, S.L, 1979. ISBN 84-8318-990-9

WEBB, W. *The Future of wireless Communications*. Ed. Artec House, Inc., 2000.

SUITOR, K. Business White Paper. *What WiMAX Forum Certified™ products will bring to Wi-Fi™*. 17-06-2004

http://www.wimaxforum.org/news/downloads/wimax_wifi_june3.pdf

CHIRIMOV, R. Noticias 3D.com. *Internet por red eléctrica (PLC)* 07-05-2004

<http://www.noticias3d.com/articulos/200306/plc/1.asp>

Web ProForum Tutorials. *Local Multipoint Distribution System (LMDS)* 04/06/2004

<http://www.iec.org/online/tutorials/lmds/index.html>

Web ProForum Tutorials. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Protocols and Protocol Testing*. 04/06/2004

<http://www.iec.org/online/tutorials/umts/index.html>

KLERER, M. *Introduction to IEEE 802.20: Technical and Procedural Orientation*. 04/06/2004

http://grouper.ieee.org/groups/802/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-04.pdf

IEEE Standards FAQs. 23-03-2004

<http://standards.ieee.org/faqs/index.html>

Wi-Fi PLANET. 23-03-2004

<http://www.wi-fiplanet.com/wimax/>

Broadband Wireless Exchange Magazine

<http://www.bbwexchange.com/>

European Radiocommunications Office. Ero Documentation

<http://www.ero.dk/documentation/>

Actividades de la Unión Europea. Síntesis de Legislación. Sociedad de la Información

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/s21012.htm#Radiofrequencies>