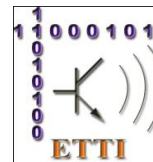




UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCURESTI
Facultatea de Electronica, Telecomunicatii si Tehnologia
Informatiei



PROIECT

Rețele de Calculatoare și Internet

WiMax

Student:

Mădălin FRUNZETE
master ISC (postuniversitar)

Coordonator:
Conf.dr.ing. Ștefan Stăncescu

CUPRINS

1. Introducere

Tehnici de modulație

2. Arhitectura rețelei WiMax

3. Rețeaua celulară WiMax

4. Caracteristici WiMax

5. Cadrul TDD în sistemele WiMax

6. Stiva de protocoale 802.16-2004

1 Introducere

Nu a trecut mult timp de când posibilitatea de a naviga pe Internet era aproape necunoscută publicului larg. Totuși Internetul a devenit astăzi una dintre principalele modalități de comunicare și de informare, a lumii moderne. Astfel nimic nu ne împiedică să credem că același lucru se va întâmpla și cu noțiunea de conexiune de bandă largă (broadband) care începe să devină din ce mai cunoscută utilizatorilor de Internet. Chiar dacă România nu este încă Islanda (țara cu cel mai mare grad de penetrare a Internetului în bandă largă), specialiștii sunt de părere că România anului 2009 avea aproximativ 4 milioane de conexiuni broadband.

Noțiunea de bandă largă (broadband) este în general folosită pentru a descrie accesul la Internet de mare viteză și se referă la zona de telecomunicații în care o bandă extinsă de frecvențe este disponibilă pentru transmiterea de informații. De exemplu, studiile arată că americanii consideră că viteza minimă acceptată pentru o conexiune de tip broadband este de 384 Kbiți pe secundă pe legătura descendentă (download) și 128 Kbiți pe secundă pe legătura ascendentă (upload), în timp ce coreenii sunt de părere că o conexiune se poate numi broadband doar cu o viteză care atinge minimum 10 Mbiți pe secundă. În România însă, nu există un nivel al vitezei acceptat unanim pentru a fi calificat ca tehnologie broadband. Totuși, Federal Communication Commission (FCC) admite un nivel relativ de viteză de 200 Kbiți pe secundă pentru ca un serviciu să fie recunoscut ca broadband.

Pentru mediul de afaceri, broadband-ul este atractiv datorită unor factori precum: prețul scăzut de acces la Internet și la alte servicii de comunicații, nevoia de comunicații sigure și stabile între sediile de firmă și sucursale, dezvoltarea e-business-ului sau apariția pe piață a noilor tehnologii (ADSL și WiMAX). Printre factorii de frânare a dezvoltării broadband se numără: slaba dezvoltare a infrastructurii de rețea în mediile rurale, precum și interesul scăzut al companiilor din anumite domenii de activitate.

Avantajele oferite de tehnologia broadband sunt evidente. Posibilitatea de a primi și transmite informații audio, video, text și date simultan, oriunde, oricum și mai ales rapid a devenit extrem de atrăgătoare pentru un număr din ce în ce mai mare de consumatori. Noile produse și noile tipuri de servicii multimedia cer o calitate excepțională a transmisiunilor. În prezent, mai mult ca niciodată, competiția se anunță puternică în ceea ce privește preluarea serviciilor Internet prin cablu, fibră optică sau wireless. Tehnologia wireless evoluează rapid și joacă un rol important în viața fiecăruia dintre noi. În plus, din ce în ce mai multe persoane

se bazează pe această tehnologie, care chiar dacă nu reprezintă o idee nouă, a fost pusă la dispoziția mării mase de utilizatori de Internet, relativ de puțin timp.

Tehnici de modulație

Această lucrare are un rol introductiv pentru o înțelegere mai bună a mecanismelor ce au loc în cadrul sistemelor WiMax.

Elementul cheie ce trebuie definit este simbolul. Acesta este un semnal sinusoidal (purător) cu parametrii specifici definiți de către biții de date transmiși într-o perioadă finită de timp. Caracteristicile semnalului purător nu se modifică pe parcursul transmisiunii unui simbol. Semnalul transmis într-o perioadă finită de timp generează un semnal cu un spectru infinit, centrat pe frecvența semnalului purător. În figura de mai jos este prezentată modularea semnalelor în domeniul timp și frecvență.

Modulația în amplitudine în cuadratură (QAM Quadrature Amplitude Modulation) este o tehnică de modulație care modifică faza și amplitudinea semnalului purător. Simbolurile sunt reprezentate de către semnalul purător cu fază și amplitudine specifice (conform mesajului transmis) pe durate finite de timp. În funcție de număr de simboluri se definesc următoarele tipuri de modulații:

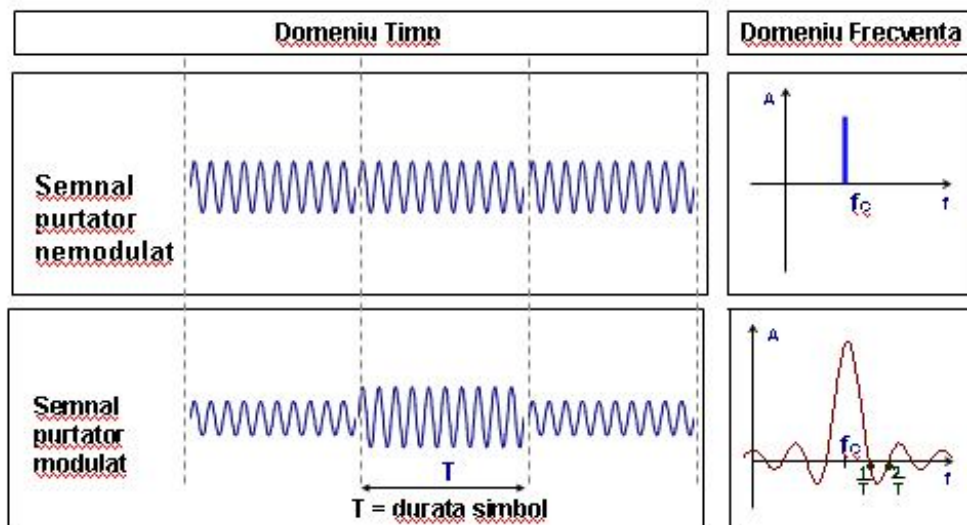


Figura 1. Modularea semnalelor în domeniul timp și frecvență.

- QAM-2 (BPSK):
 - sunt definite două simboluri (o amplitudine și două faze)

- fiecare simbol transmis pe calea de transmisiune reprezintă un bit informațional
- limitarea benzii canalelor de transmisiune limitează și numărul de simboluri ce pot fi transmise pe secundă.
- Numărul de simboluri transmise pe secundă este definit de rata Baud
- În acest caz rata Baud este egală cu rata biților transmiși.
- Pentru a mări numărul biților pe secundă transmiși (bps) în condițiile menținerii unei rate Baud scăzute, simbolurile vor trebui să reprezinte un număr mai mare de biți. Astfel simbolurile vor reprezenta n-biți, mărin d capacitatea canalului cu un factor n.
- Prețul plătit îl reprezintă transmiterea unui număr mai mare de simboluri în canalul de transmisiune, crescând și probabilitatea de recepție incorectă a simbolurilor.

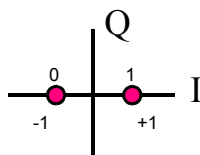
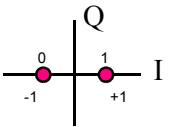
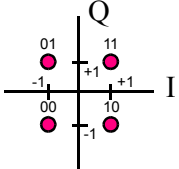
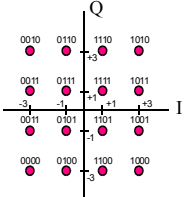
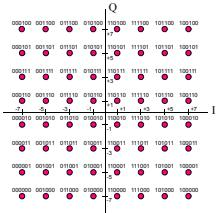


Figura 2. Constelația BPSK

În cele ce urmează sunt prezentate caracteristicile tehnicilor de modulație QAM.

Tehnica de modulație	Număr de simboluri	Număr de biți per simbol	Rata de biți/ Rata Baud	Numărul de		Constelația	Generat cu	
				Amplitudini	Faze		Nr. de amplitudini cosinusoidale	Nr. de amplitudini sinusoidale
QAM 2 (BPSK)	2	1	1/1	1	2		2 (1 bit)	0
QAM 4 (QPSK)	4	2	2/1	1	4		2 (1 bit)	2 (1 bit)
QAM 16	16	4	4/1	3	12		4 (2 biti)	4 (2 biti)
QAM 64	64	6	6/1	9	52		8 (3 biti)	8 (3 biti)

2. Arhitectura rețelei WiMax

O arhitectură generală a unei rețele WiMax este prezentată în figura 4 de mai jos:

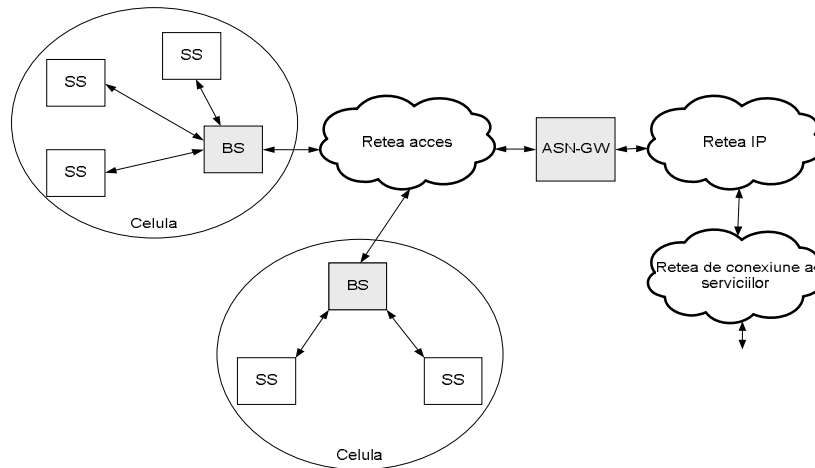


Figura 3. Arhitectura generală a unei rețele WiMax

SS= Stație utilizator (Subscriber Station)

BS= Stație de bază (Base Station)

ASN-GW= Acces Service Network Gateway

În figura 3 este prezentată numai partea de acces în rețeaua WiMax (NAP - Network Access Provider) ce conține ASN și NSP (Network Service Provider), care oferă conectivitatea IP, fără a descrie și ASP (Application Service Provider), care oferă aplicația în sine.

Componentele rețelei sunt:

- Stația de bază:
 - Menține legătura radio cu stația utilizatorului
 - Administrează resursele radio
 - Aplică politica de clasificare după Qos (calitatea serviciului)
 - Server DHCP
 - Mesaje multicast
 - Administrează cheile de criptare în cadrul celulei de acoperire
 - Legătura cu stația utilizatorului presupune respectarea specificațiilor tehnice ale standardului 802.16-2004.
- Gateway către ASN (ASN-GW):
 - Multiplexează fluxurile de nivel 2 către ASN
 - Management al localizării la nivel de ASN

- Management al resurselor radio la nivel ASN
- Rutarea către CSN (Connectivity Service Network) selectată.

CSN este rețeaua de conectare a serviciilor legată la stația de bază prin intermediul rețelei IP.

Sistemele fixe definite de IEEE 802.16-2004 folosesc două tipuri de duplexări:

- Duplexarea în timp (TDD) – situație în care stația de bază și stația utilizatorului transmit și recepționează informații alternativ în aceeași bandă de frecvență.
- Duplexarea în frecvență (FDD) – situație în care stația de bază și stația utilizatorului transmit și recepționează informații simultan în benzi de frecvență diferite.

Frecvențele alocate acestor sisteme sunt:

Frecvența	Banda	Duplexare
3.5GHz	3.5MHz	FDD
	3.5MHz	TDD
	7MHz	FDD
	7MHz	TDD
5.8GHz	10MHz	TDD

Așadar sistemele WiMax fix sunt destinate operării în condiții fără vizibilitate directă (NLOS- Non Line of Sight). În comparație cu sistemele 802.11 (Wi-Fi) raza de acoperire este foarte mare, până la 35km față de raza maximă de 1km a sistemelor Wi-Fi. Rata medie de transfer poate atinge până la 40Mbps pe interfața radio, fără a lua în considerare redundanța introdusă la nivel fizic pentru protecția datelor pe canal sau overhead-ul generat de împachetarea datelor în formate specifice de pachete.

3. Rețeaua celulară WiMax

Rețeaua WiMax [1] își propune acoperirea geografică printr-o împărțire celulară de o anumită rază. Transmiterea și recepția stațiilor de bază sunt sincronizate în rețea. Stația de bază și stația clientului transmit cu duplexare în timp:

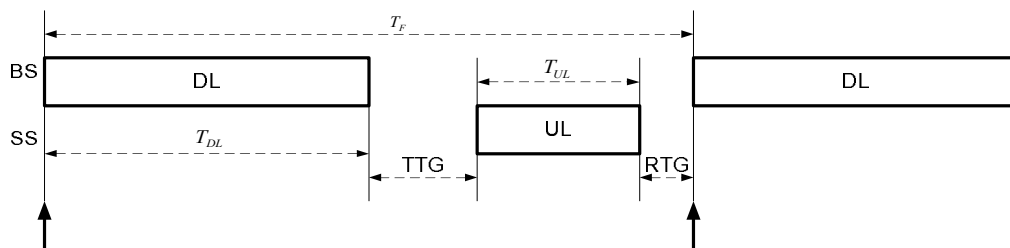


Figura 4. Cadrul TDD în sistemul WiMax

Așa cum se observă mai sus, transmisiunea este organizată în cadre de durată T_F . Stația de bază emite pe legătura descendentă o durată egală cu T_{DL} . Apoi stația de bază comută pe recepție, iar stația clientului comută pe emisie. Pentru această operație este prevăzut un interval de gardă numit TTG. De asemenea, între perioada de activitate a legăturii ascendente și cea a legăturii descendente există un interval numit RTG. Ținând cont de necesitățile transmisiei unei cantități mai mari de informație timpul de emisie pe legătura descendentă este mai mare decât timpul de emisie pe legătura ascendentă ($T_{DL} > T_{UL}$). Atunci când nu sunt sincronizate în rețea stațiile utilizatorilor pot emite mai devreme sau mai târziu decât momentul alocat la început. Problema apare la emisia mai devreme, atunci când TTG-ul trebuie să fie suficient de mare pentru a evita ca stațiile utilizatorilor (SS) să emită atunci când stația de bază emite. De aceea, TTG-ul trebuie să fie mereu mai mare decât durată de propagare dus-întors posibilă în celulă, $RTD_{\max}$ (Round trip delay). Acesta este dat de raza celulei:

$$RTD_{\max} = \frac{2R}{c}$$

Astfel, dacă se dorește o rază mare a celulei intervalul TTG trebuie ales mai mare, fapt ce reduce zona propriu-zisă de transmisie de date, implicit și capacitatea în celulă:

$$T_{DL} + TTG + T_{UL} + TRTG = T_F = ct$$

În figura următoare este prezentată planificarea de frecvență în sistemele WiMax, avantajul major fiind reprezentat de posibilitatea reutilizării frecvenței de factor 1 în anumite zone.

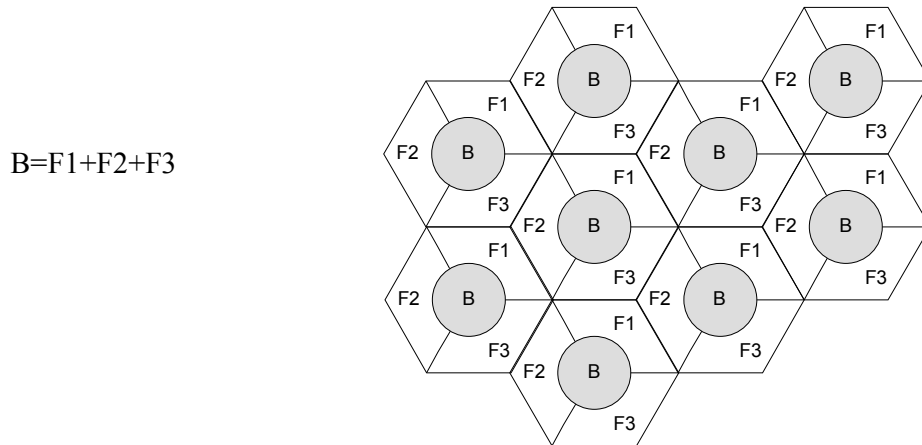


Figura 5. Planificarea de frecvență în rețele WiMax

Se remarcă faptul că celula este împărțită în 3 sectoare și nu se poate utiliza aceeași frecvență în toate sectoarele, din cauza interferențelor co-canal la granița sectoarelor. Fiecarui sector îi este alocată o parte distinctă din bandă. Aceste părți nu este obligatoriu să fie egale. De

asemenea în zonele din centrul celulelor se poate folosi întreaga bandă de frecvențe dar acestea trebuie să fie suficient de restrânse pentru a evita interferențele.

Există mai multe tipuri de alocare a benzii (subpurătoarelor) la sectoare diferite:

- PUSC (Partial Usage of SubCarriers)- fiecărui sector îi este alocată o parte din toate subpurătoarele și nu neapărat o treime.
- PUSC cu subcanalele alocate- fiecărui sector îi este alocată întreaga bandă.
- FUSC (Full Usage of SubCarriers)- fiecărui sector îi este alocată întreaga bandă

Diferențierea între FUSC și PUSC este realizată și de modul de alocare al subpurătoarelor. Pe legătura descendentă modul de alocare este cel din figura 6.

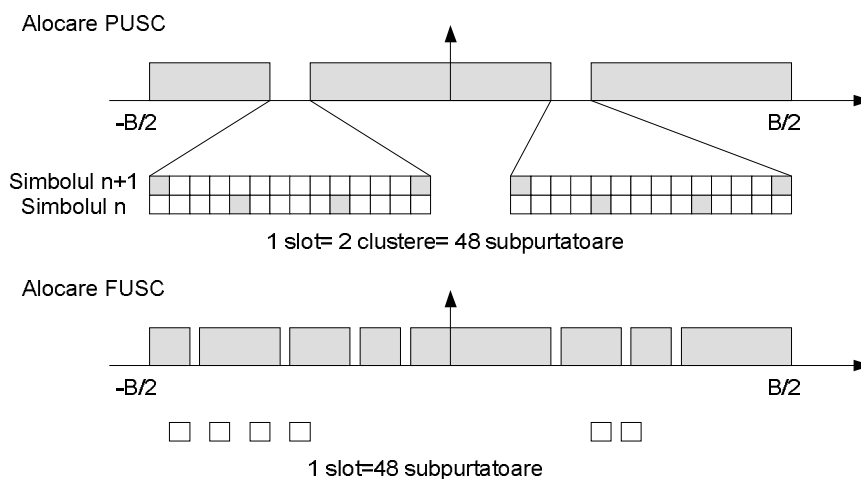


Figura 6. Alocările PUSC și FUSC pe legătura descendentă

În cazul PUSC subpurătoarele sunt grupate în subcanale, iar simbolurile în sloturi. Un subcanal conține 48 de subpurătoare de date, iar un slot de două simboluri. Subcanalul este format din două cluster a câte 12 subpurătoare de date și două subpurătoare pilot.

În cazul FUSC, cele 48 de subpurătoare ale unui canal sunt dispersate în frecvență iar piloții sunt transmiși la rândul lor dispersat pentru a minimiza interferențele din bandă.

Alocarea PUSC pe legătura ascendentă este:

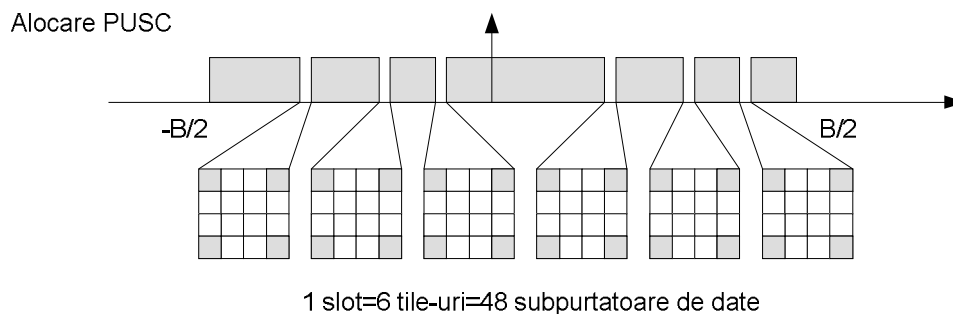


Figura 7. Alocarea PUSC pe legătura ascendentă.

Subcanalele sunt formate din 6 tile-uri, iar un tile este format din 4 subpurtătoare și 3 simboluri, așadar un slot pe legătura ascendentă conține trei simboluri.

Burst-urile care sunt transmise modulează subpurtătoarele din bandă. Aceste burst-uri sunt formate din biți codați după o anumită tehnică și care apoi selectează un simbol dintr-o constelație anume. Modulațiile permise sunt: QPSK, QAM-16, QAM-64. Burst-urile și piloții de localizare folosesc BPSK.

Codurile folosite pot fi:

- Codor convoluțional
- Codor turbo convoluțional (CTC)
- Codor turbo bloc (BTC)
- Codor LDPC
- Codor TPC

Ratele folosite sunt: $1/2$; $2/3$; $3/4$ și $5/6$ (doar în cazul CTC).

Se constată că pe măsură ce constelația are mai multe simboluri și pe măsură ce rata de codare este mai mare cu atât rata de transmisiuni este mai mare. Astfel, un sistem QAM64 $3/4$ are o eficiență spectrală de 4.5b/s/hz în timp ce QPSK $1/2$ are 1b/s/hz. De asemenea calitatea legăturii trebuie să fie mult mai bună pentru o modulație QAM 64 față de QPSK, iar codul de rata $3/4$ este mai puțin robust decât cel de rata $1/2$.

Pentru o imagine mai clară referitor la ratele de transfer, în tabelul de mai jos sunt prezentate caracteristicile echipamentelor WiMax produse de firma Alvarion.

Modulația	Rata de codare		
	1/2	2/3	3/4
QAM 2 (BPSK)	1.411 Mbps	-	2.117 Mbps
QAM 4 (QPSK)	2.822 Mbps	-	4.233 Mbps
QAM 16	5.644 Mbps	-	8.466 Mbps
QAM 64	-	11.288 Mbps	12.699 Mbps

În figura 8 este ilustrată alocarea modulației și codării în cadrul unei celule.

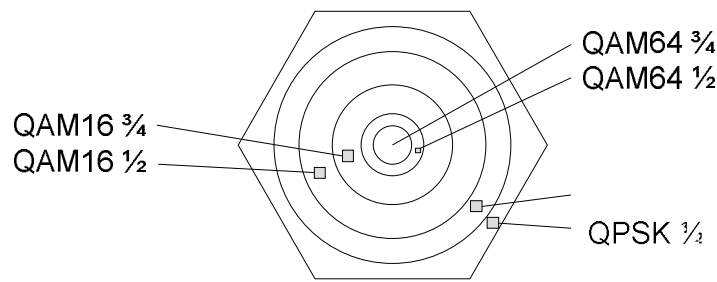


Figura 8. Alocarea modulației și codării în cadrul celulelor WiMax

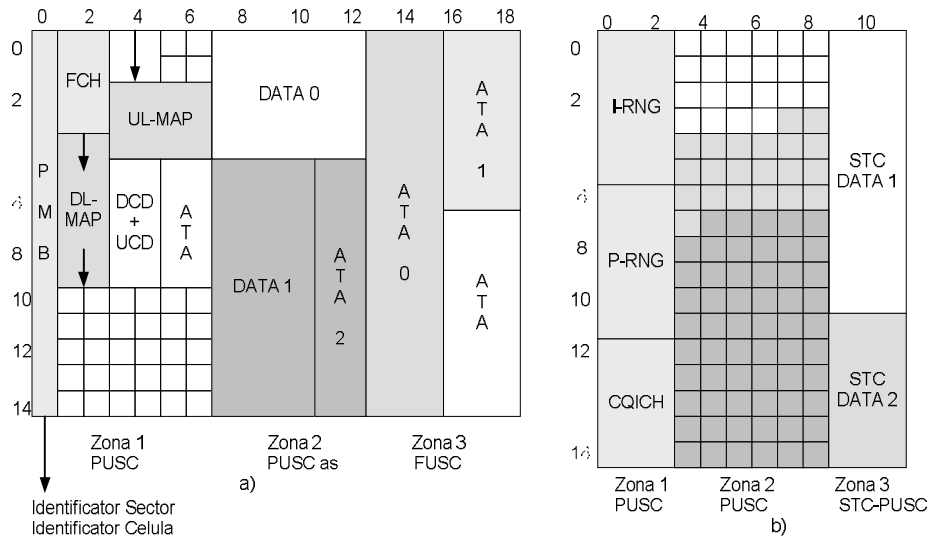
4. Caracteristici WiMax

În vederea obținerii unor bune performanțe se au în vedere următoarele caracteristici definitorii pentru sistemele WiMax:

- Planificarea celulară eficientă
 - permite existența unor zone geografice în care se reutilizează întreaga bandă de frecvență
- Sistemele de antene multiple:
 - sisteme cu diversitate spațială (codare spațio-temporală- STC).
 - sisteme cu creșterea ratei (multiplexare spațială- SM).
 - sisteme cu maximizarea calității legăturii (sisteme de antene adaptive- AAS).
- Tehnici de modulație și codare adaptive (AMC) :
 - alegerea modulației și codării în funcție de calitatea legăturii.
 - alegerea schemei cu eficiența spectrală maximă raportată la indicatorii canalului.
- Clasificarea serviciilor după QoS:
 - fluxurile de trafic sunt clasificate în funcție de aplicația căreia îi sunt destinate
 - criteriile de clasificare țin cont de: mărimea pachetelor (variabilă/fixă), tipul serviciului (de timp real sau nu), frecvența pachetelor (flux periodic sau nu).
 - constrângerile impuse în funcție de tipul serviciilor afectează următoarele: latentă, rata de transfer și jitterul pachetelor (variația măririi pachetelor).
- Tehnici de retransmisie:
 - tehnici hibride cu diversitate în timp (H-ARQ)

5. Cadrul TDD în sistemele WiMax

În acest capitol se vor prezenta cadrele de pe legătura descendentă cât și cadrele de pe legătura ascendentă. Astfel:



Figura

9. Cadrul WiMax a) legătura descendentă b) legătura ascendentă

Cadrul pe legătura descendentă începe cu un preambul care conține un singur simbol. Preambulul este un simbol aflat în corespondența biunivocă cu identificatorul de sector și cu cel de celulă. SS-ul caută printre toate preambulele posibile și stochează parametrii celui detectat. De asemenea, prin preambul SS-ul se poate sincroniza pe legătura DL și poate estima corecțiile de frecvență și canal.

Cadrul este împărțit în zone care diferă prin permutare și conțin la rândul lor burst-uri de formă dreptunghiulară.

Burst-urile transmise sunt:

- FCH (Frame Control Header):
 - are o alocare fixă
 - precizează alocarea subcanalelor în sectorul curent
 - precizează codarea folosită de DL-MAP
- DL-MAP:
 - este singurul burst care poate avea o alocare diferită de dreptunghiulară
 - este descriptorul cadrului de DL și conține o hartă a acestui cadru
 - este transmis în fiecare cadru

- are următorul conținut:
 - Descriptori de zonă:
 - coordonatele de la început și sfârșit al fiecărei zone
 - permutarea folosită în zonă
 - Descriptori de burst:
 - coordonatele burst-urilor
 - modulația
 - codarea și rata de codare
 - puterea utilizată de burst
 - tipul de burst (dacă este o hartă,burst de control sau date)
- UL-MAP:
 - este transmis ca un burst obișnuit dar în fiecare cadru
 - este descris de DL-MAP
 - conține aceleași tipuri de descriptori ca și DL-MAP
- DCD și UCD
 - sunt transmise sporadic
 - conțin parametrii de configurare care se modifică rar în timpul funcționării
- I-RNG / P-RNG
 - burst-uri folosite de SS pentru localizarea la intrarea în rețea (Initial Ranging) sau în timpul funcționării (Periodic Ranging)
 - în aceste burst-uri SS-urile emit pe un subcanal aleator pe un grup de simboluri adiacente alese aleator și folosind un cod aleator dintr-o familie prestabilită
 - coliziunile între SS-uri diferite sunt acceptate câtă vreme folosesc coduri diferite
 - stația de bază (BS) estimează deviațiile de timp, putere și frecvență
- CQICH (Channel Quality Indicator CHannel)
 - pe acest burst, SS-ul emite un cod robust care reprezintă raportul semnal pe zgomot măsurat pe DL sau alte rapoarte
 - BS-ul utilizează aceste rapoarte pentru a alocă adaptiv modulația și codarea
- Burst-uri de date
 - pe DL sunt dreptunghi
 - Pe UL sunt alocate în ordine, mai întâi în timp continuând în frecvență
 - Pot exista burst-uri din zone speciale pe care se pot folosi tehnici de îmbunătățire a performanțelor (H-ARQ, STC)

Până în momentul intrării în rețea SS-ul are de parcurs următoarele etape:

- Se sincronizează pe preambul
 - determină parametrii de rețea
 - Corectează deviația de frecvență
 - Masoară RSSI și CINR
- Decodează DL-MAP
 - caută DCD și UCD
 - așteaptă până găsește cadrul în care sunt transmise
 - Setează parametrii corespunzători
- Caută UL-MAP
 - caută burst-urile de localizare de pe UL
 - Emite un cod aleator
- Așteaptă răspuns la semnalul de localizare transmis
 - identifică răspunsul pentru el, pe baza cadrului la care se referă răspunsul, al codului, subcanalului și simbolului folosite
 - aplică toate corecțiile de timp, frecvență și putere indicate
- continuă eventual procedura de localizare până când parametrii intră într-o gamă normală.
- Caută UL-MAP
 - emite o cerere de localizare în burst-ul alocat
 - cererea conține o serie de parametrii disponibili la SS (putere maximă, capacități)
- Decodează răspunsul și implementează corecțiile
- Negociază capabilitățile și face cerere de bandă
- Se înregistrează

6. Stiva de protocoale 802.16-2004

În figura alăturată este prezentată stiva de protocoale.

MAC- Medium Access Control- Nivelul de control al accesului la mediul de transmisiune
 CS- Convergence Sublayer- Subnivel de convergență
 CPS- Common Part Sublayer- Subnivel comun
 SDU- Service Data Unit- Unitate de date de serviciu
 PDU- Packet Data Unit- Unitate de date a pachetelor
 PHY- Physical layer- Nivelul fizic
 BS- Base Station- Stație de bază
 SS- Subscriber Station- Stația utilizatorului

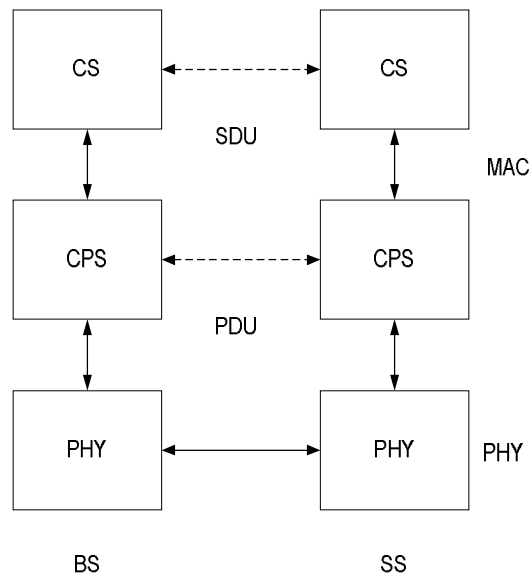


Figura 3.23 Stiva de protocoale 802.16-2004

Stiva de protocoale a sistemelor bazate pe standardul 802.16-2004 definește două niveluri de protocoale:

a) Nivelul de control al accesului la mediul de transmisiune (MAC- Medium Access Control)

Acest nivel este împărțit în 3 subniveluri fiecare având un rol bine definit în structura funcțională a sistemului.

a1) Nivelul de convergență are rolul de a împacheta pachetele sosite de la un nivel superior în SDU-uri; suprimă header-ele și mapează adresele IP.

a2) Subnivelul părții comune concatenează mai multe SDU-uri în PDU-uri; fragmentează un SDU în mai multe PDU-uri; controlează clasificarea după QoS și controlează tehnicile de retransmisie.

a3) Subnivelul de securitate stabilește cheile de criptare, realizează autorizarea unei stații în rețea și administrează schimbul cheilor de criptare între stații.

b) Nivelul fizic (PHY)

Acest nivel este responsabil de crearea semnalului de radio frecvență (RF) din PDU-urile binare recepționate de la nivelul MAC și realizează operații pe legătura descendentă (DL- down link) și pe legătura ascendentă (UL- up link).

b1) Pe legătura descendentă (DL) PDU-urile sunt partiționate în unități numite blocuri FEC care sunt codate în mod independent. Codarea blocurilor FEC se realizează utilizând o procedură de aleatorizare a datelor, o codare de canal și o întrețesere. De asemenea se realizează o corespondență între biți și simbolurile dintr-o constelație (QPSK, QAM-16 sau QAM-64) și se formează semnalul digital în timp. Tot pe legătura descendentă are loc conversia semnalului obținut în semnal analogic și modularea semnalului pe frecvența purtătoare.

b2) Pe legătura ascendentă (UL) au loc următoarele operații: demodularea semnalului, filtrarea canalului dorit, conversia semnalului în eșantioane, demaparea simbolurilor din constelație, decodarea simbolurilor, formarea pachetelor PDU și se calculează indicatorii pe fiecare legătură.

WiMax este o tehnologie care a cunoscut o dezvoltare importantă în ultimii ani. În următorii ani se preconizează ca raspândirea acestei tehnologii să ia amploare datorită reducerii costurilor, ariei mai mari de acoperire și a minimizării echipamentelor pentru dispozitive mobile.

Bibliografie

- [1] IEEE 802.16 “Standard for Local and metropolitan area networks”
- [2] Andrew S. Tanenbaum “Retele de calculatoare” Editia a patra, Bucuresti 2004