

Studiul tehnicilor de acces multiplu

Referat nr.1

Conducător științific: Prof. dr. ing. Miranda Nafoarniță
Doctorand: as. ing. Radu Lucaciu

Cuprins

1. Tehnici de acces multiplu	1
1.1. Accesul multiplu	1
1.2. Accesul multiplu cu diviziune în frecvență (FDMA)	2
1.3. Accesul multiplu cu diviziune în timp (TDMA)	4
1.4. Accesul multiplu cu diviziune în cod (CDMA)	6
1.5. Accesul multiplu cu diviziune spațială (SDMA)	7
2. Accesul prin multiplexarea lungimii de undă	10
2.1. WDM, multiplexarea cu divizarea lungimii de undă	10
2.2. DWDM, multiplexarea cu divizarea densă a lungimii de undă	12
2.3. CWDM, multiplexarea cu divizarea lungimii de undă cu distanța intercanal mare	16
2.4. Fibra monomod standard și CWDM	17
3. Spectrul împrăștiat	21
3.1. Principiile spectrului împrăștiat	21
3.2. Spectru împrăștiat cu secvență directă	25
3.3. Spectru împrăștiat cu salt de frecvență	28
3.4. Spectru împrăștiat cu salt de timp	33
3.5. Sisteme hibride	34
3.6. Receptorul RAKE	35
4. Coduri de împrăștiere	40
4.1. Secvențele de cod	40
4.2. Secvențele M	41
4.3. Secvențele Gold și Kasami	43
4.4. Codurile Hadamard-Walsh	44
4.5. Coduri ortogonale de lungime variabilă	45
Bibliografie	48

Capitolul 1. Tehnici de acces multiplu

1.1. Accesul multiplu

În ultimele decade comunicațiile digitale au cunoscut o creștere rapidă. Posibilitățile care au fost oferite de telecomunicații cum ar fi serviciile de voce de bază, emailul, accesul la internet, transferul de fișiere, serviciile multimedia au schimbat modul de viață al oamenilor.

Dezvoltarea comunicațiilor și a tehnologiilor de procesare a informației a deschis mai multe piețe pentru noile servicii de comunicații. Datorită cererii de servicii de comunicație fără fir în continuă creștere acestea s-au dezvoltat continuu.

Cerințele stringente de capacitate ale sistemelor de comunicații sunt puse în legătură cu numărul de utilizatori care pot fi deserviți simultan sau altfel spus cât de multă informație este posibil a fi transferată.

Una dintre modalitățile în care poate crește rata de date totală este realizarea unei alocări a resurselor mai eficientă.

În cazul sistemelor de comunicații mobile apare dorința ca un număr cât mai mare de utilizatori să poată transmite și recepționa în același timp semnale de la una sau mai multe stații de bază.

Pentru ca mai mulți utilizatori să poată folosi simultan resursele de comunicații trebuie stabilit un mod în care aceste resurse să fie alocate fiecărui utilizator în parte. Tehnica prin care este împărțit un canal de comunicații comun între utilizatori multipli poartă numele de *acces multiplu*.

Un sistem cu acces multiplu este prezentat în figura 1.1., [VER, AYD]:

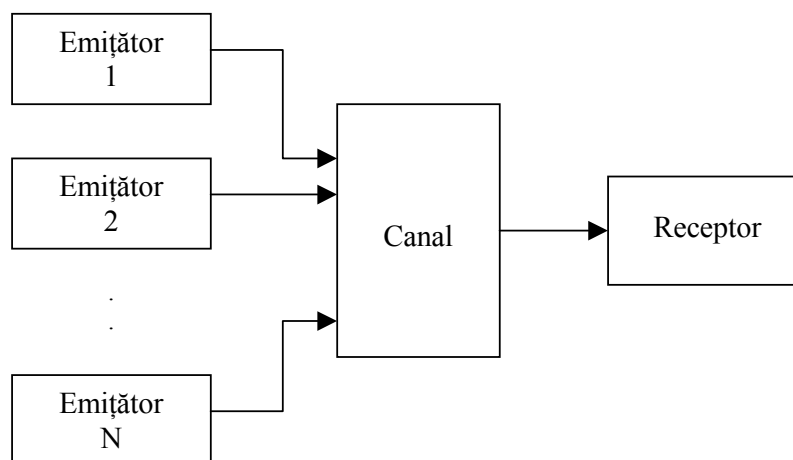


Figura 1.1. Sistem cu acces multiplu

Așa cum se observă un număr mare de utilizatori împart un canal de comunicație comun în scopul de a-și transmite informațiile la un receptor. De exemplu canalul comun poate fi o bandă de frecvență din spectrul radio pe care utilizatorii multipli o utilizează pentru a comunica cu receptorul radio. Într-un sistem de comunicație avem o cantitate fixă de resurse, de spectru, pe care acesta trebuie să o gestioneze în mod corespunzător astfel încât toți abonații să poată fi găzduiți de sistem.

În mediile cu acces multiplu este nevoie ca semnalele utilizatorilor diferiți să fie diferite unul față de altul. În același timp semnalul fiecărui utilizator trebuie să fie indentificat printr-o “etichetă” unică care să poată fi extrasă (identificată) corespunzător la recepție. Eticheta utilizatorului poate fi atribuită în unul din domeniile: timp, lungime de undă (frecvență), cod, sau spațiu.

În funcție de modul în care resursele de comunicații sunt împărțite, tehnicile de acces multiplu se clasifică în [HAF, SKL, AYD, *2]:

- *Acces multiplu cu diviziune în frecvență (FDMA)* – benzi de frecvență specifice sunt alocate fiecărui utilizator.
- *Acces multiplu cu diviziune în timp (TDMA)* – sloturi temporale diferite sunt alocate utilizatorilor diferiți.
- *Acces multiplu cu diviziune în cod (CDMA)* – utilizatorii se disting în funcție de forma de undă de semnătură (sau cod) care diferă de la un utilizator la altul.
- *Acces multiplu cu diviziune în spațiu (SDMA)* – diversitatea spațială este exploatată.

De asemenea prin combinația acestor tehnici pot fi obținute alte metode hibride. Fiecare tehnică de acces multiplu are avantajele și dezavantajele sale față de celelalte, acestea depinzând de aplicație, caracteristicile canalului și alți parametri.

În ceea ce urmează este prezentată pe scurt fiecare dintre aceste patru tehnici urmând ca apoi accesul multiplu cu diviziune în cod să fie detaliat.

1.2. Accesul multiplu cu diviziune în frecvență (FDMA)

FDMA este cea mai veche tehnică de acces multiplu. În cadrul acestei tehnici de acces multiplu banda totală de frecvență este împărțită în mai multe subbenzi de frecvență mai mici (canale). Receptorul poate separa semnalele utilizatorilor printr-o simplă filtrare trece-bandă.

Și în cazul sistemelor cu fibre optice se poate aplica principiul multiplexării în frecvență; se folosește terminologia de WDMA (wavelength division multiple access). Lățimea de bandă imensă a fibrelor optice permite transmisia simultană a diferitelor lungimi de undă (culori) într-o singură fibră optică. Razele emise de laseri, de lungimi de undă diferite sunt modulate de semnalele utilizatorilor și cuplate într-o fibră optică. Deci lungimi de undă (frecvențe) diferite sunt atribuite utilizatorilor diferiți. WDMA este prezentată mai detaliat în capitolul 2.

Figura 1.2. prezintă modul în care este realizată împărțirea resurselor în cadrul accesului multiplu cu divizare în frecvență. Pentru a reduce interferența dintre canalele adiacente se pot utiliza niște benzi de gardă, [SKL, VER, AYD].

Fiecare din aceste canale este atribuit câte unui utilizator care îl folosește pe toată durata “convorbirii”. Deci atâta timp cât un utilizator este angajat într-o convorbire nici un alt utilizator nu poate folosi banda de frecvență care i-a fost destinată acestuia. Dacă utilizatorul căruia i-a fost alocat un canal face o pauză, canalul nu poate fi destinat unui alt utilizator el fiind neutilizat, astfel nu poate fi crescută capacitatea sistemului. Totuși o dată cu apariția serviciului celular re folosirea frecvenței devine un lucru important pentru realizarea accesului multiplu a unui număr de utilizatori tot mai mare răspândiți pe arii mari. Astfel o altă stație poate utiliza aceeași bandă de frecvență doar dacă distanța dintre stații este suficient de mare astfel încât să fie evitat pericolul interferenței, [VIT, *2].

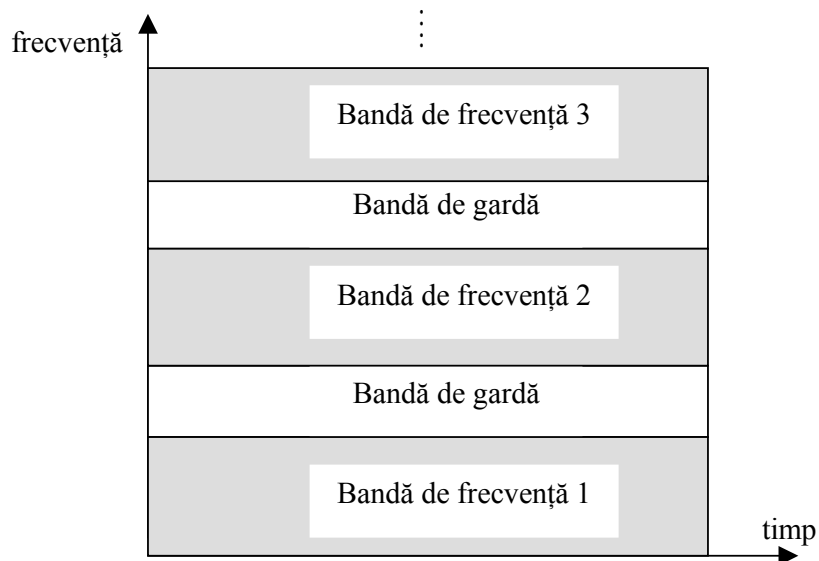


Figura 1.2. Alocarea resurselor în cadrul sistemelor FDMA

FDMA este aplicabilă atât modulației digitale cât și analogice. Totuși nu este o tehnică foarte flexibilă în a furniza debite variabile ceea ce constituie o cerință importantă a serviciilor de comunicații. Mărirea debitului cere ca mai

multe canale de frecvență să fie alocate pentru un utilizator. Aceasta implică însă nevoia utilizării filtrelor trece-bandă.

Faptul că un canal este folosit la un moment dat de un singur utilizator, deci resursele nu sunt utilizate judicios, precum și utilizarea filtrelor trece-bandă (complicate - au pantă foarte abruptă pentru a elimina interferența intercanal; și scumpe) poate determina o creștere a prețului echipamentelor folosite. Un alt motiv care duce la creșterea costului este că emițătorul și receptorul funcționând în același timp necesită utilizarea unor circuite duplexoare atât de către stațiile mobile cât și de către cea de bază.

FDMA permite transmisii complet necoordonate în domeniul timp, nu este realizată sincronizarea în timp printre utilizatori. Comunicația este continuă, [VER].

1.3. Accesul multiplu cu diviziune în timp (TDMA)

Introducerea modulației digitale permite apariția TDMA, [AYD]. Sistemele TDMA au capacitatea de a împărți utilizatorii în intervale de timp IT (sau sloturi) pentru că transferă date digital în locul celor analogice utilizate de obicei în sistemele FDMA.

În cazul accesului multiplu cu diviziune în timp împărțirea resurselor se face prin împărțirea unui cadru de timp în IT și atribuirea unui IT temporal pentru fiecare utilizator. Pe durata IT-ului respectiv se pot transmite sau recepționa mesaje. În acest fel semnalele utilizatorilor sunt separate în domeniul timp și astfel ele nu vor interfera cu celelalte. Trebuie remarcat faptul că în acest caz toți utilizatorii folosesc aceeași bandă de frecvențe. Transmisia datelor se face păstrând datele într-un buffer pentru ca apoi să fie transmise cu o rată de N ori mai mare. Datele care sunt transmise de utilizatorii diferiți sunt întreșesute într-o structură numită cadru (frame), figura 1.3., [HAF].

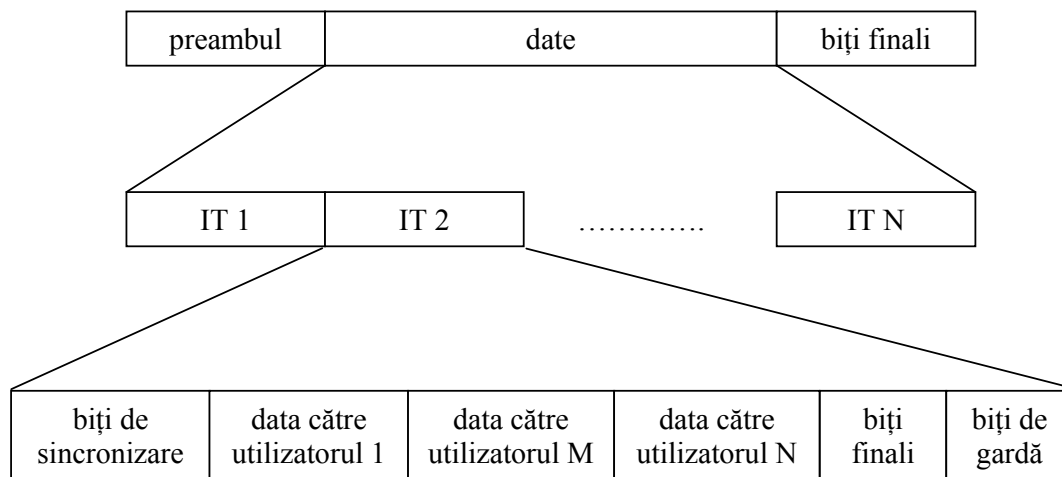


Figura 1.3. Cadru TDMA

Un cadru este format dintr-o parte unde sunt conținute informațiile de sincronizare și adresare numită preambul, partea de date și partea de biți finali care sunt utilizați pentru detecția și corecția erorilor sau pentru extragerea unor informații care se referă la calitatea legăturii. Partea de date cuprinde IT-uri care provin de la diferiți utilizatori; IT-urile conținând la rândul lor biți de sincronizare, date pentru un utilizator sau mai mulți, biți finali și biți utilizați de receptor pentru ajustarea sincronizării când se trece de la un IT la altul sau de la un cadru la altul numiți biți de gardă.

Figura 1.4. prezintă modul în care este realizată împărțirea resurselor în cadrul accesului multiplu cu divizare în timp, [SKL, VER].

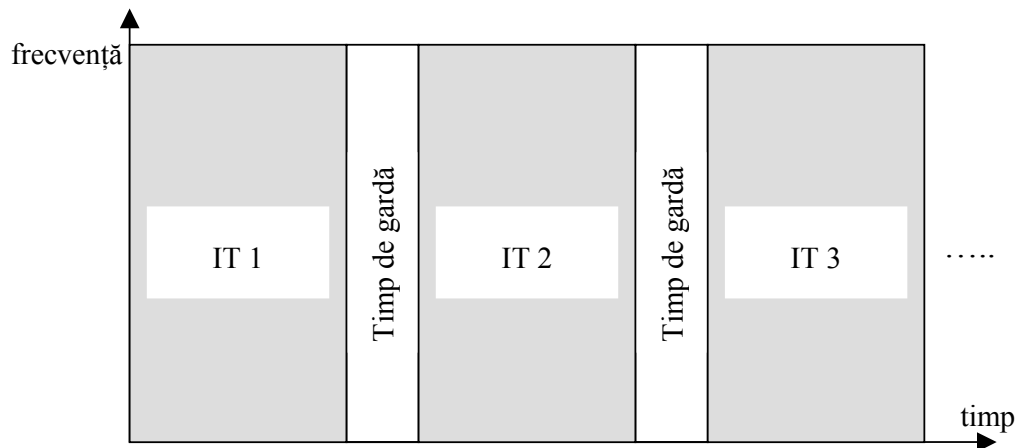


Figura 1.4. Alocarea resurselor în sistemele TDMA

Faptul că intervalele de timp predefinite sunt atribuite fiecărui utilizator elimină în parte riscul interferenței cu alte semnale, dar poate conduce la reducerea capacității legăturii. Dacă utilizatorii nu au nimic de transmis, unele sloturi pot să fie lăsate goale. Un bun exemplu pentru acest caz este acela în care datele sursei sunt transmise în rafale cum se întâmplă în transmisia de voce. Pentru a înlătura această problemă au fost definite alte protocoale care permit alocarea dinamică a intervalelor de timp. Ca exemplu se poate considera Aloha unde utilizatorii transmit imediat biții în canal. În mod evident în cazul acesta apar coliziuni dar nu există întârziere.

TDMA este relativ simplu de implementat și este foarte flexibil în a furniza rate de bit variabile. Creșterea ratei de bit poate fi implementată atribuind unui utilizator mai multe intervale de transmisie, deci se poate modifica cantitatea de date transmisă în funcție de necesitățile utilizatorilor. Spre deosebire de FDMA transmisiile tuturor utilizatorilor trebuie să fie sincronizate exact la celelalte în cazul TDMA. Din acest motiv trebuie trimisă pe lângă informația utilă și o cantitate însemnată de informație suplimentară pentru realizarea sincronizării corespunzătoare.

Altă caracteristică a sistemelor de tip TDMA este că transmisia nefiind realizată în mod continuu, ci în pachete, consumul bateriei stației mobile va fi

mai redus utilizatorul transmițând doar pe durata intervalului de timp alocat, [HAF, AYD].

Transferul convorbirii de la o stație de bază la o alta (handover) este ușurat de faptul că transmisia se face discontinuu. Stația mobilă în momentele de inactivitate poate să efectueze măsurători pentru a determina stația de bază situată cel mai aproape.

Prețul de cost poate fi scăzut datorită faptului că sistemele TDMA se pot realiza complet într-o tehnologie digitală (integrare pe scară largă), fără să utilizeze filtre de radiofrecvență de bandă îngustă.

1.4. Accesul multiplu cu diviziune în cod (CDMA)

Inventarea tehnicilor cu spectru împrăștiat pentru sistemele de comunicații, tehnici care au bune proprietăți antibruiaj și probabilitate mică de interceptare, a condus la ideea accesului multiplu cu diviziune în cod. Astfel semnalul de informație care este de bandă îngustă este lărgit cu ajutorul unei secvențe de împrăștiere care are perioada numită perioadă de “chip” de câteva ordine de mărime mai mică decât cea a datelor. La receptor datele sunt refăcute (comprimate) prin corelare cu secvența de cod alocată fiecăruia. Deci pentru a detecta corespunzător mesajul care îi este adresat receptorul respectiv trebuie să cunoască secvența de cod folosită la emisie și deasemenea să fie sincronizat cu aceasta.

Figura 1.5. prezintă modul de alocare în cazul CDMA, [SKL].

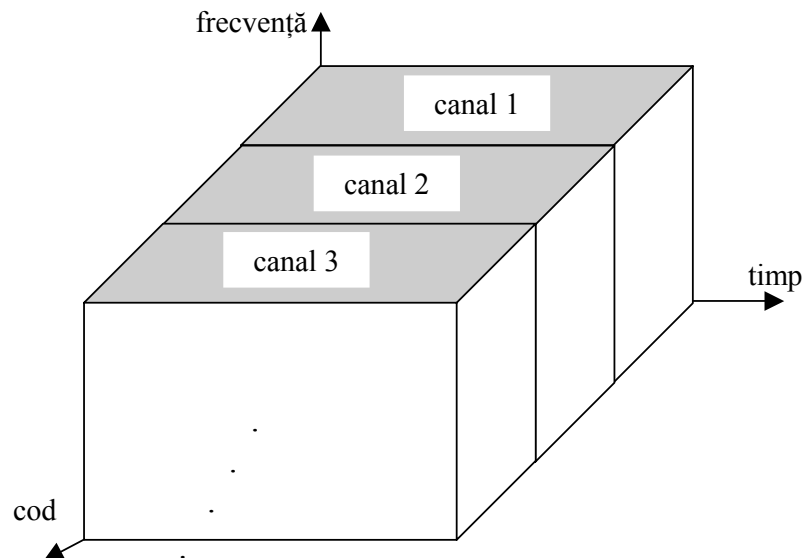


Figura 1.5. Alocarea resurselor în CDMA

În acest caz partajarea resurselor nu este realizată nici în domeniul timp, nici în domeniul frecvență ci în cod. Toți utilizatorii au acces la întregul spectru (folosesc aceeași frecvență purtătoare și aceeași bandă de frecvență) tot timpul. Semnalele utilizatorilor sunt separate în funcție de forma de undă de cod sau de semnătură atribuită fiecăruia.

Sistemele CDMA nu au un număr fix de utilizatori. Capacitatea sistemului depinde de calitatea legăturilor existente. Însă nivelul zgomotului recepționat crește cu numărul utilizatorilor conducând astfel la descreșterea calității legăturilor curente. Creșterea numărului de canale face ca performanțele să se degradeze în aceeași măsură pentru toți utilizatorii, [VIT].

Pentru că secvențele de împrăștiere care sunt folosite nu sunt perfect ortogonale între ele poate apare problema bruiajului propriu (interferenței).

O altă problemă ar fi aceea numită “apropiat-depărtat” (near-far) adică faptul că semnalele slabe, provenite de la utilizatori aflați departe de stația de bază, pot fi “acoperite” de către cele mai puternice care provin de la utilizatorii aflați mai aproape de aceasta. Pentru a putea rezolva această problemă este necesar un control al puterii realizat la stația de bază pentru a se asigura că semnalele utilizatorilor furnizează același nivel de putere al semnalului la stația de bază.

Putem avea în funcție de modul de împrăștiere a semnalului: CDMA cu secvență directă (DS-CDMA), CDMA cu salt de frecvență (FH-CDMA) și CDMA cu salt de timp (TH-CDMA).

O prezentare mai detaliată a CDMA este realizată în capitolul 3.

1.5. Accesul multiplu cu diviziune spațială (SDMA)

SDMA furnizează accesul la mediu al utilizatorilor bazându-se pe poziția lor în spațiu. De aceea fiecare utilizator trebuie să aibă informații despre poziție în timp real. O suprafață geografică mai mare care acoperă toți utilizatorii este împărțită în diviziuni spațiale mai mici. Există o “hartă” care indică pentru fiecare diviziune spațială o diviziune a lățimii de bandă, [BAN].

Celula (aria) este împărțită în N sectoare. Cei N utilizatori sunt activi simultan și continuu, fiecare având propriul lui sector. Diferențierea între semnalele utilizatorilor se face pe baza direcției de sosire la antena receptoare. Separarea semnalelor utilizatorilor se face prin utilizarea antenelor multiple.

În cadrul acestei metode fiecare pereche de utilizatori are o legătură separată spațial de celelalte pentru a-și transmite informațiile. Este necesară utilizarea unei conexiuni între utilizatori de tipul “linie de vedere” (line-of-sight connection).

Ideea de bază pe care se sprijină utilizarea antenelor multiple este că fiecare utilizator are asociat un canal spațial unic. Prin aceste canale stația de

bază poate realiza transmisia sau recepția selectivă spațial comunicând astfel într-un mod eficient cu utilizatorii.

Energia care este radiată în diferite direcții este controlată cu ajutorul unor antene direcționale sectorizate. SDMA poate fi considerat ca o extindere naturală a celorlalte trei tipuri de tehnici de acces multiplu. Antenele sectorizate sunt aplicate pentru a separa utilizatorii la aceeași frecvență dacă se folosește ca tehnică CDMA sau TDMA, sau la frecvențe diferite dacă se folosește tehnica FDMA.

De exemplu INTELSAT IVA folosește o antenă receptoare pentru două raze (dual-beam receive antenna) care alimentează două receptoare permițând accesul simultan la satelit din două regiuni diferite ale pământului. Banda de frecvență alocată fiecărei raze (spot) recepționate este identică pentru că semnalele pe legătura ascendentă (uplink) sunt separate spațial. Din acest motiv SDMA se mai numește și sistem cu acces multiplu cu reutilizarea frecvenței pentru raze multiple, [SKL].

Figura 1.6. prezintă accesul multiplu bazat pe SDMA.

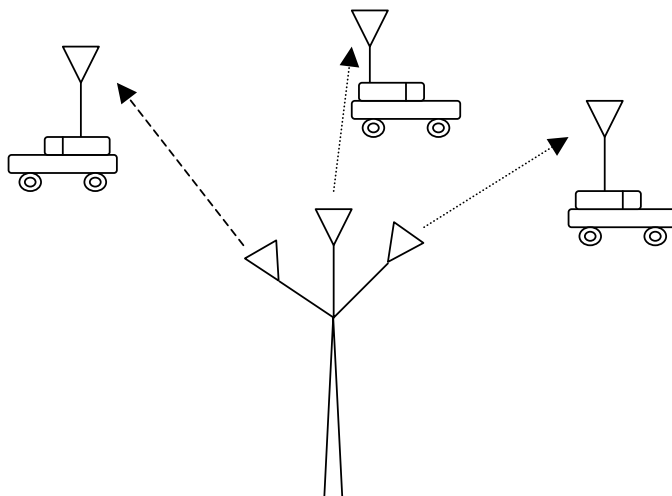


Figura 1.6. SDMA

Stația de bază are control asupra puterii semnalului transmis în cazul legăturii descendente (downlink), de la stația de bază la stațiile mobile. În cazul legăturii ascendente, de la stațiile mobile la cea de bază, puterea care este transmisă de fiecare dintre utilizatori trebuie să fie controlată dinamic datorită deplasării stațiilor mobile și propagării pe căi multiple, în scopul de a preveni creșterea interferenței dintre utilizatori.

Utilizarea antenelor adaptive (inteligente) la stația de bază sau chiar la cele mobile poate compensa o parte din probleme. Un sistem adaptiv de antene multiple (adaptive array antenna system) monitorizează continuu aria de

acoperire încercând să se adapteze la schimbările mediului radio care constă în utilizatori (care sunt adesea mobili) și interferenți, [COP].

Modul de operare este identic cu cel al urechii umane. Când închidem ochii și ascultăm o sursă de sunet putem identifica direcția din care vine sunetul cu o precizie ridicată. Sesizăm direcția, deoarece urechile lucrează ca o zonă de senzori acustici spre deosebire de antene care sesizează doar energia semnalului. Acest lucru se realizează pentru că fiecare ureche recepționează sunetul la diferite momente de timp în funcție de direcția din care vine sunetul, iar creierul procesează informațiile de la ambele urechi și determină direcția din care vine sunetul. Creierul combină constructiv sunetele care vin din direcția selectată, iar sunetele care vin din celelalte direcții sunt adunate necoerent. Rezultatul este că sunetul pe care am decis să-l ascultăm poate fi auzit de două ori mai tare decât cele din alte direcții, sesizăm și direcția din care vine sunetul.

Desigur că în cazul antenelor adaptive pot fi mai mult de două elemente multiple (urechi) și astfel se poate “auzi” cu un câștig și selectivitate mai mari.

Se ia un eșantion din semnalele care vin de la toate elementele antenei și după ce este convertit în formă digitală este stocat în memorie. Un procesor SDMA face o analiză a acestuia pentru a identifica utilizatorii, utilizatorii interferenți și pozițiile acestora. Procesorul calculează strategia de combinare pentru semnalele antenei astfel încât semnalul fiecărui utilizator să fie recepționat cu un câștig cât mai mare posibil, iar semnalele de interferență să fie rejectate cât mai mult posibil. Un calcul asemănător poate fi făcut pentru a permite transmisia selectivă spațial, semnalul fiecărui utilizator fiind transmis printr-un canal spațial separat, [COP].

Pentru că SDMA folosește transmisia selectivă spațial, stația de bază în acest caz radiază mult mai puțină putere decât una convențională astfel reducându-se poluarea RF și dimensiunea amplificatorului de putere.

Direcția fiecărui canal spațial este cunoscută și acest lucru poate fi folosit la stabilirea corectă a poziției sursei de semnal.

În cazul limită al unor antene perfect adaptive care au o bandă infimizezimal îngustă și capacitatea de urmărire în timp real sistemul ar fi optimal, interferența dintre utilizatori fiind redusă la zero. Nu este însă posibilă realizarea unui astfel de sistem fizic pentru că ar fi necesare antene de mărime infinită. Trebuie făcut un compromis, se pot realiza variante cu performanțe apropiate.

Ca dezavantaj al SDMA putem aminti costul ridicat impus de necesitatea folosirii unor antenele inteligente.

Capitolul 2. Accesul prin multiplexarea lungimii de undă (WDMA)

Principiul multiplexării în frecvență se poate aplica și sistemelor de transmisie optice. Lungimea de undă și frecvența sunt legate prin formula:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

unde c - viteza luminii, λ - lungimea de undă și f - frecvența.

În cazul sistemelor optice FDMA poartă numele de WDMA (Wavelength Division Multiple Access). Împărțirea resurselor de comunicație se face atribuind utilizatorilor lungimi de undă diferite.

2.1. WDM, multiplexarea cu divizarea lungimii de undă

Accesul multiplu cu divizarea canalului în lungime de undă, canal care este reprezentat de fibra optică, presupune o multiplexare cu diviziune în domeniul frecvențelor optice, prin care într-o singură fibră există mai multe căi de comunicație fiecare cu diferite lungimi de undă, [RMW].

Lărgimea de bandă importantă a fibrei optice este divizată în subbenzi de lungimi de undă (căi/canale) care nu se suprapun, astfel utilizatorii multipli pot transmite cu lungimi de undă diferite.

Figurile 2.1. și 2.2. prezintă ambele tehnologii de transport pe fibră optică, cea tradițională respectiv WDM, [*7].

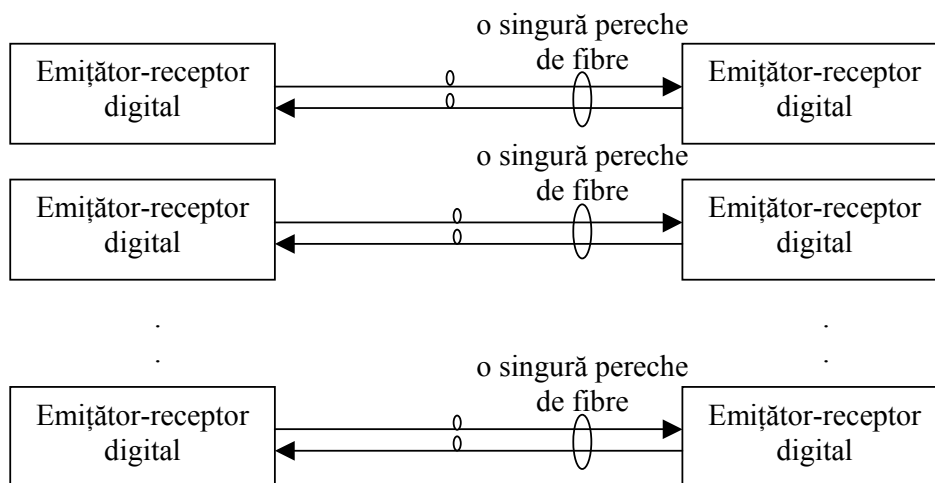


Figura 2.1. Transport pe fibra optică digital tradițional

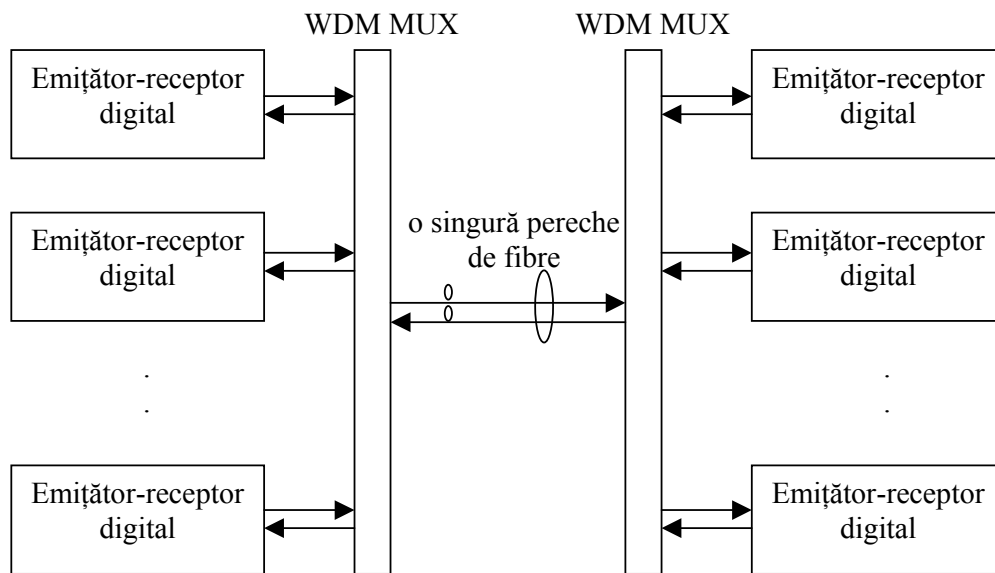


Figura 2.2. Transport pe fibra optică utilizând WDM

În figura 2.1. se vede că pentru realizarea legăturii între emițător și receptor se utilizează câte o pereche de fibre între fiecare cuplu de utilizatori, pe când în cazul WDM prezentat în figura 2.2. prin utilizarea la un capăt al rețelei a unui multiplexor, iar la celălalt a unui demultiplexor comunicația se poate face pe o singură pereche de fibre.

WDM este o tehnologie care utilizează eficient lățimea de bandă a fibrei optice permițând semnalelor de la surse diferite să se propage independent, într-o singură fibră optică. În cazul WDM transmițătoarele optice sunt echipate cu laseri reglați pe lungimi de undă specifice având filtre optice la ieșire ceea ce permite multiplexarea pasivă a semnalelor optice într-o singură fibră.

În sistemele WDM, fiecare canal optic rămâne independent de celelalte canale optice ca și când ar utiliza propria sa pereche de fibre. Sistemele WDM digitale permit rate de bit și protocoale de acces independente pe aceeași fibră optică, fapt extrem de important pentru dezvoltarea rețelelor metropolitane pe fibră optică. Se elimină astfel costul asociat cu conversiile între protocoalele utilizate. Fiecare canal optic utilizând un anumit protocol poate fi tratat (multiplexat/demultiplexat) independent la capetele rețelei de transmisie. De aceea diferitele formate de date optice digitale, utilizând diferite rate de date, pot fi transmise în formatele lor inițiale prin aceeași fibră. De exemplu: gigabit Ethernet, Fibre Channel, ITU-R601 optical video, SONET, ATM, FDDI și alte date în format optic se pot propaga toate în același timp într-o singură pereche de fibre optice. Figura 2.3. prezintă rata de bit și protocolul caracteristic tehnologiei WDM, [*7].

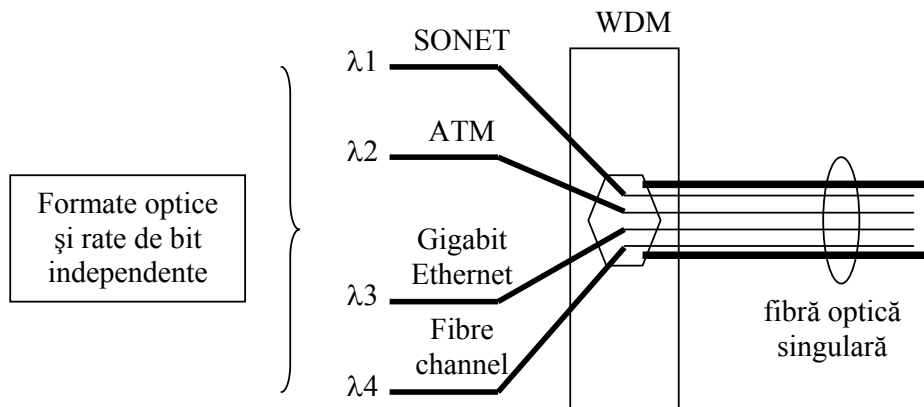


Figura 2.3. Rata de bit și protocolul de acces pe fibra optică cu WDM

Tehnologia WDM promite să elimine costul convertirii datelor dintr-un protocol în altul. Sistemele WDM au fost dezvoltate pentru a completa tehnologiile de rețea existente și adaugă noi capacități pentru transportul datelor cu lărgime de bandă mare. Este așteptat ca WDM să fie tehnologia centrală în rețelele “totul optic” viitoare, [*8].

Există două tipuri de tehnologii WDM utilizate în rețelele actuale și anume: multiplexarea cu divizarea densă a lungimii de undă (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) și multiplexarea cu divizarea lungimii de undă cu distanța intercanal mare (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM), [*7, *9, *10, TOM].

2.2. DWDM, multiplexarea cu divizarea densă a lungimii de undă

DWDM este o tehnologie WDM caracterizată prin faptul că distanțarea canalelor optice este mai mică (până la aproximativ 0,4 nm), decât în cazul CWDM (20 nm). DWDM permite existența unui număr mare de canale într-o bandă optică specifică. Benzile optice C și/sau L (figura 2.4.) se sprijină pe capacitatea de amplificare a lărgimii de bandă cu ajutorul tehnologiilor de amplificare folosite la fibrele optice actuale.

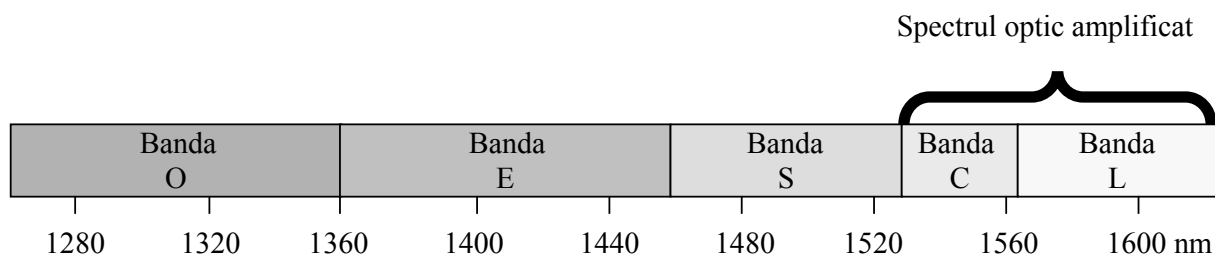


Figura 2.4. Regiunea de amplificare spectrală a actualelor amplificatoare pe fibră optică

Figura 2.4. prezintă benzile specifice și regiunea amplificată a spectrului.

Tehnologiile DWDM necesită filtre pentru multiplexarea/demultiplexarea optică precisă care să furnizeze o distanțare de 200 GHz, 100 GHz, 50 GHz sau mai mică (adică 1,6 nm distanță pentru sistemele cu 200 GHz și aproximativ 0,4 nm pentru sistemele distanțate la 50 GHz). Datorită distanței mici între canale și ferestrelor optice utilizate, sistemele DWDM cer un control precis pentru stabilizarea laserilor pentru a evita alunecarea (drift) în afara unui canal optic DWDM dat.

Obiectivul sistemelor DWDM este să grupeze cât de multe canale posibile în porțiunile de amplificare a spectrului optic, prezentate în figura 2.5. Grila de frecvențe pentru sistemele DWDM este definită în recomandarea ITU-T G.694.1, [*7, *8, TOM].

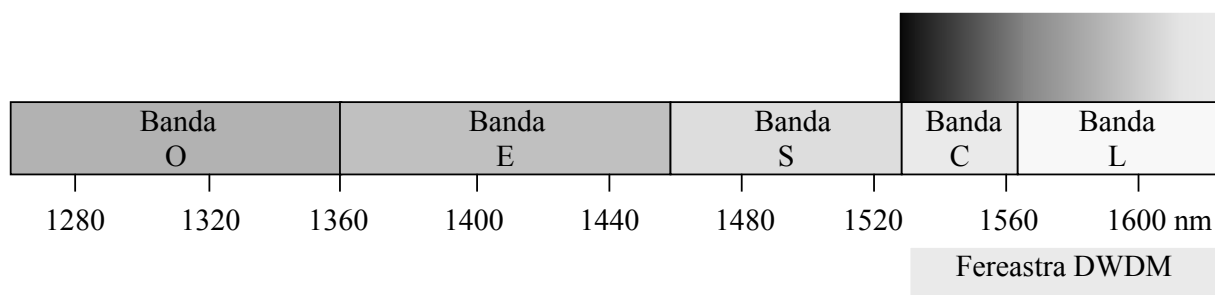


Figura 2.5. Regiunea lungimii de undă a benzilor C și L DWDM

Prin împărțirea costului amplificărilor la mai multe canale optice, DWDM oferă o adevărată tehnologie eficientă pentru reducerea costului în cazul unor largimi de bandă mari, aplicații de transport digital multicanal, care cer amplificare mare necesară în cazul rețelelor mari, regionale, respectiv metropolitane.

DWDM s-a aplicat la început în transportul pe distanță mare și regional. A fost necesară folosirea la maxim a resurselor fibrelor rețelelor optice.

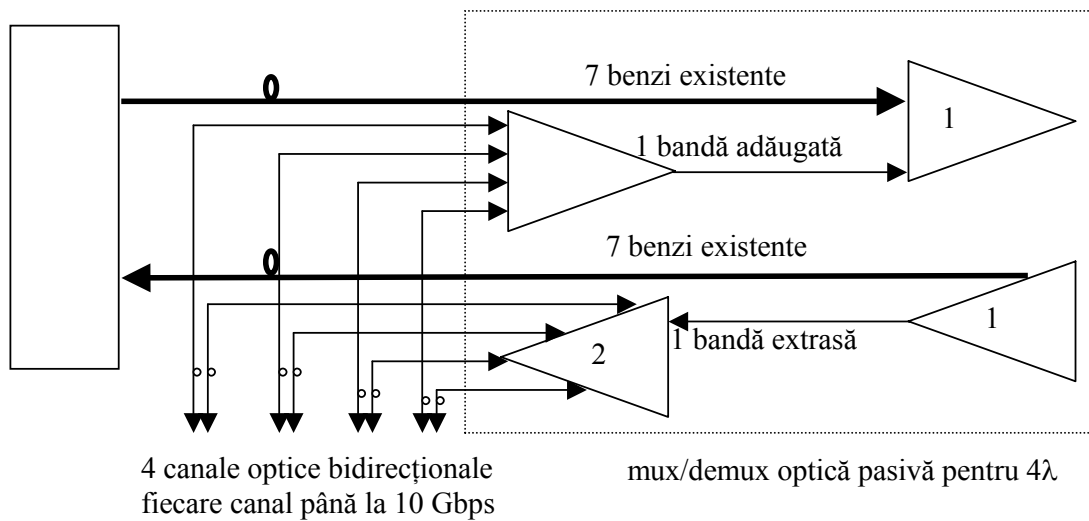
Tehnologia DWDM a fost utilizată pentru a permite transmiterea a cât mai multe canale de date printr-un număr minim de fibre și pentru amortizarea costului echipamentului din sistemele DWDM pentru distanțe mari cu un număr foarte mare de canale. Sunt acum disponibile sisteme DWDM de distanță mare care suportă până la 160 lungimi de undă de 10-Gbps pe distanțe de fibră de câteva mii de kilometri. În rețelele metropolitane (MAN), resursele fibrei au fost suficiente și nu a fost necesar până în ultimii patru sau cinci ani utilizarea eficientă (cost-performanță) a tehnologiei DWDM, [*7].

Sistemele DWDM digitale sunt proiectate special pentru a răspunde necesităților economice și tehnice ale aplicațiilor rețelelor MAN. Deasemenea ele permit divizarea și partajarea resurselor rețelei. Un sistem DWDM digital metropolitan este caracterizat de un cost scăzut per canal și operează tipic peste distanțe de 100 la 300 kilometri. Sistemele DWDM metropolitane actuale pot combina mai mult de 30 de canale optice separate pe o singură pereche de fibre optice.

Sarcina echipamentelor DWDM metropolitane este să accepte semnale optice de la clienți la rate de bit și protocoale diferite (exemplu GbE, ATM, Fibre Channel; 1,25 Gb/s, 622 Mb/s, 100Mb/s etc.), [BRU], și să furnizeze conversia acestora la ITU-T G.694.1 conform cu lungimile de undă DWDM, anterior multiplexării lor prin filtrele DWDM pasive. Majoritatea echipamentelor pot accepta semnale optice client în orice format, pe orice tip de fibră (exemplu fibra MM 850 nm, fibra SM 1310 nm, etc.).

Filtrarea pasivă DWDM

În implementarea sistemelor DWDM digitale metropolitane componentele de filtrare DWDM pasive au un rol important. Sistemele DWDM necesită filtre precise pentru multiplexare/demultiplexare optică, pentru a furniza canale distanțate cu 200 GHz, 100 GHz, 50 GHz și mai puțin. Mai mult, sistemele DWDM metropolitane pot combina în exces 30 de lungimi de undă într-o singură pereche de fibre, [*7]. Partea pasivă a sistemului DWDM conține filtre multiple trece bandă (FMTB). Tipic un FMTB/DWDM are trei sau patru canale optice și are o atenuare optică mai mică decât în cazul utilizării mai multor filtre individuale pentru fiecare canal în parte. FMTB sunt create prin combinarea filtrelor grup de bandă largă cu filtre canal de bandă îngustă cum este arătat în figura 2.6., [*7, *8].



- 1 – filtru trece bandă
2 – filtru pentru 4 canale

Figura 2.6. Filtru DWDM cu patru canale

Prin utilizarea acestei abordări, într-un sistem sunt utilizate de la 8 la 10 FMTB în loc de 30 sau mai multe filtre de canal individuale. FMTB furnizează o conectivitate dedicată a canalelor multiple între capetele rețelei cu un singur filtru.

Utilizarea FMTB are drept rezultat cerințe mai puțin stricte, o proiectare a rețelei mai simplă și o atenuare optică scăzută.

Avantajele DWDM metropolitan

Rețelele de transport DWDM metropolitane digitale permit consolidarea traficului de date și simplificarea stratului de transport în rețea. Rezultă următoarele avantaje:

- eficiența utilizării fibrei ridicată;
- gestiune și operații (mux/demux) simplificate;
- permite introducerea serviciilor rapide cu transmiterea unui antet minimal;
- accesul la stratul optic adaptabil la orice rată de bit sau format de protocol;
- întârziere scăzută, transport rapid pe fire a datelor transmise conform unor protocoale optice naturale (GbE, Fibre channel);
- disponibilitate mare și toleranță mare la erori pentru livrarea serviciilor critice (mission-critical service delivery).

2.3. CWDM, multiplexarea cu divizarea lungimii de undă cu distanța intercanal mare

Costul tehnologiei WDM este legat direct de intervalul de bandă între canale. Cum am văzut sistemele DWDM utilizează o distanțare mică a canalelor astfel încât costul amplificării este mai mic deoarece acoperă simultan mai multe canale optice. Dezavantajul este că sistemele DWDM necesită laseri stabiliți și filtre pasive costisitoare.

În contradicție cu DWDM unde scopul este maximizarea capacității de transmisie peste distanțe lungi, tehnologia CWDM utilizează o distanțare a canalelor mult mai mare și urmărește reducerea costului pentru rețelele pe distanță scurtă, fără amplificare. Distanțarea lungimilor de undă CWDM a fost standardizată la 20 nm, care este suficient de largă pentru a se adapta ușor la variația lungimii de undă a laserilor nerăciți, cu cost scăzut. În iulie 2002, grila de frecvențe CWDM ITU-T G.694.2 standard a fost definită și este detaliată în figurile 2.7. și 2.8., [*7, *8, TOM].

ITU-T G.694.2 – Lungimile de undă centrale nominale pentru distanțarea cu 20 nm	
1270 nm	1450 nm
1290 nm	1470 nm
1310 nm	1490 nm
1330 nm	1510 nm
1350 nm	1530 nm
1370 nm	1550 nm
1390 nm	1570 nm
1410 nm	1590 nm
1430 nm	1610 nm

Figura 2.7. Lungimile de undă centrale nominale CWDM ITU-T G.694.2

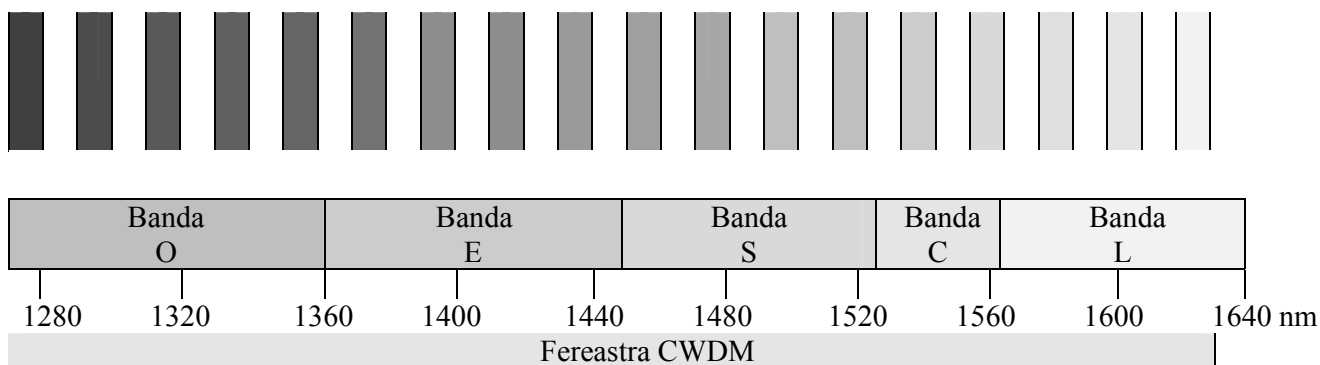


Figura 2.8. Grila lungimilor de undă
CWDM ITU-T G.694.2

Toate aceste lungimi de undă pot fi utilizate printr-o alegere potrivită a fibrei optice (așa cum va fi prezentat în secțiunea 2.4.). Primele două lungimi de undă (1270 și 1290 nm) sunt în regiunea spectrului optic unde împrăștierea Rayleigh crează pierderi mai mari decât în altă parte.

Sistemele care sunt dezvoltate să utilizeze întregul spectru optic CWDM incluzând banda E cunoscută ca o regiune cu atenuare mare a ionilor de hydroxyl (OH^-), (water peak-WP region), folosesc complet spectrul de multiplexare optică (full spectrum CWDM – FS-CWDM). Aceste sisteme cu FS-CWDM oferă 16 din 18 lungimi de undă definite. Pierderea mare a primelor două lungimi de undă este motivul pentru care sistemele FS-CWDM oferă tipic doar 16 lungimi de undă.

2.4. Fibra monomod standard și CWDM

Înainte oricărei dezvoltări a unui sistem CWDM în acord cu ITU-T G.694.2, este foarte important să fie determinat tipul fibrei care va fi utilizată. Cum se vede în figura 2.9. fibra monomod standard (S-SMF) nu poate suporta toate canalele în fereastra CWDM, [*5, *7, *8].

Lungimile de undă din capătul superior al benzii O și toate din banda E (exemplu 1350, 1370, 1390, 1410 și 1430 nm) prezintă o pierdere foarte ridicată, datorită atenuării mari WP a fibrei monomod standard. Această atenuare ridicată este asociată cu ionul hydroxyl, care este un reziduu al umidității, determinat de apa încorporată în sticlă în timpul procesului de producție. Acest efect de pierdere face utilizarea SMF convenționale, selectată pentru o atenuare WP scăzută, foarte riscantă pentru sistemele CWDM care operează peste întregul spectru al canalelor CWDM.

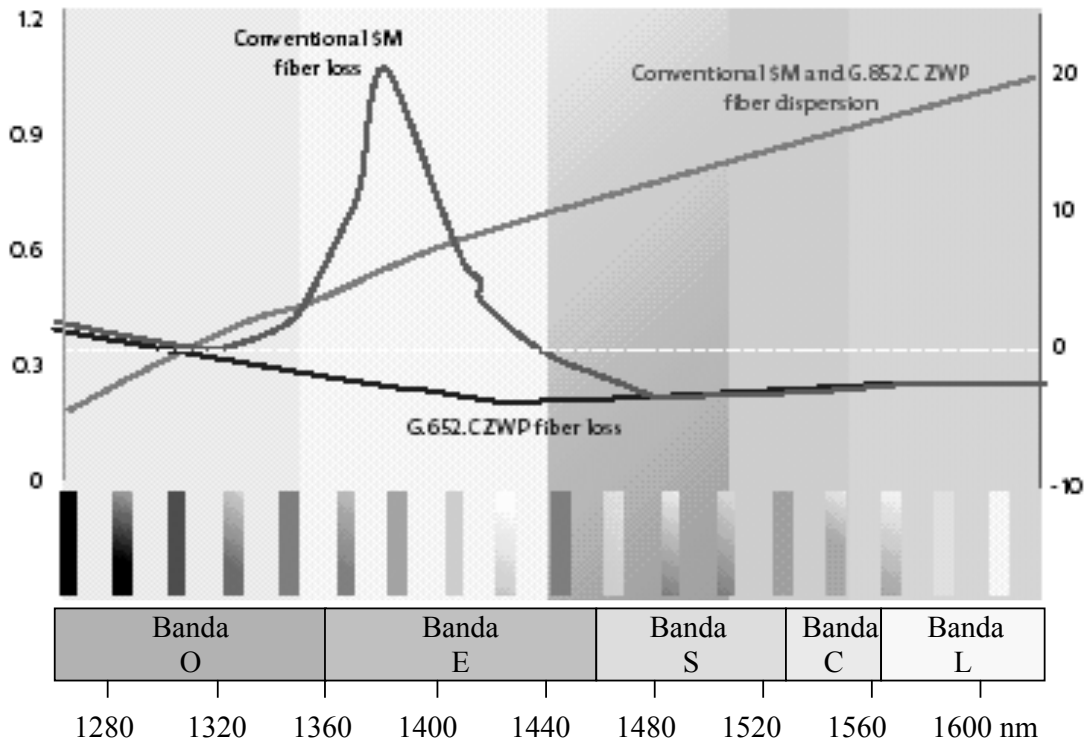
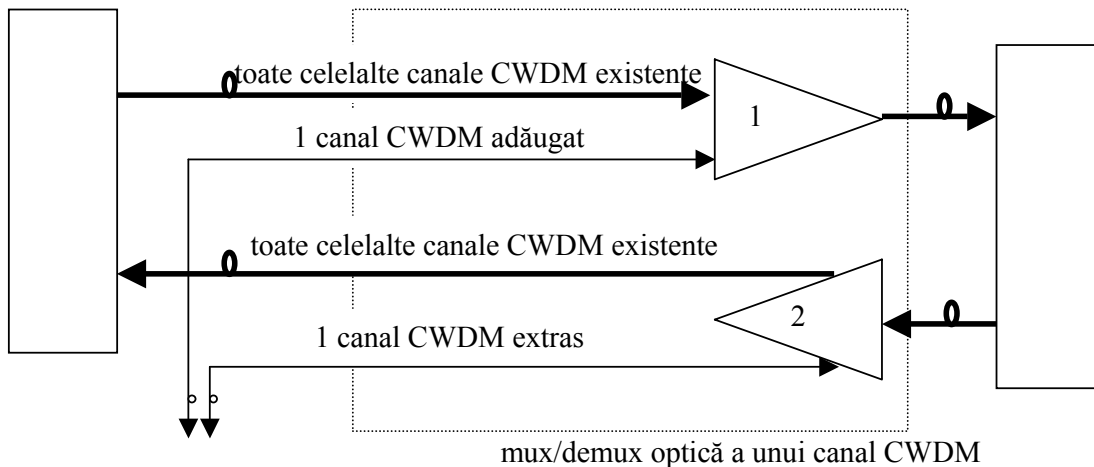


Figura 2.9. Performanțele de atenuare și dispersie a fibrei monomod standard (S-SMF) și a fibrei G.652.C ZWP

Fibra G.652.C, de asemenea numită ca fibra “low water peak (LWP)” sau “zero water peak (ZWP)” este proiectată special pentru a înlătura atenuarea mare asociată cu WP tradițional, astfel permițând transmisia sigură a semnalului optic peste întreaga grilă de lungimi de undă ITU-T G.694.2 CWDM, [*5, *7].

Filtrarea pasivă CWDM

Unul din domeniile în care tehnologia CWDM obține un avantaj de cost față de DWDM este domeniul filtrării pasive. Pentru că CWDM utilizează toleranța relaxată la lungimea de undă, componenta filtrării pasive este simplă, are mai puține elemente și este mai puțin costisitoare. Cu CWDM, filtrarea grup de bandă largă este tot ce e necesar și nu este nevoie de a doua filtrare, filtrarea canal fină. Figura 2.10. prezintă un filtru CWDM pentru un singur canal, [*7, *8].

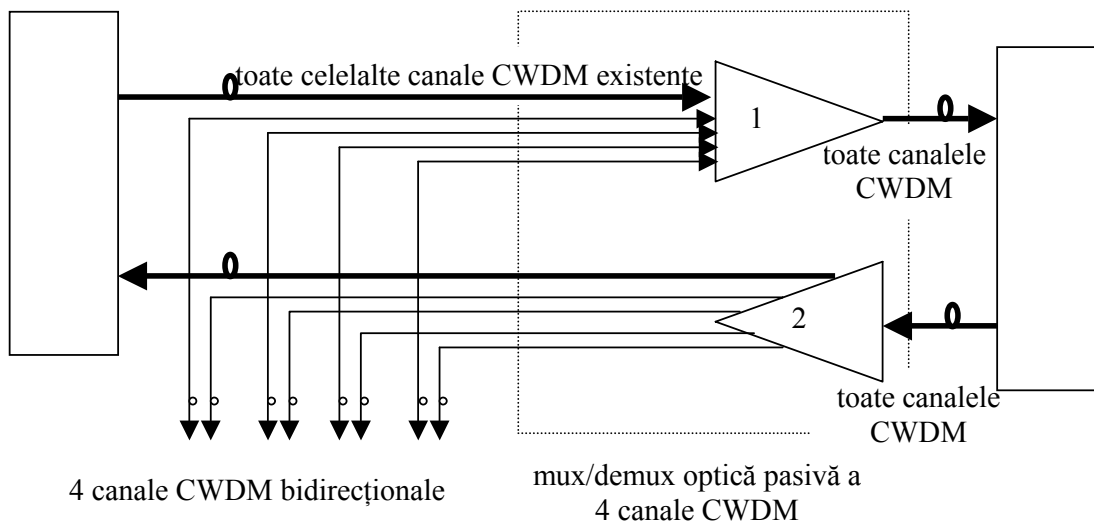


20 nm a spectrului optic utilizați pentru un canal CWDM de până la 10 Gbps

- 1-filtru adaugă bandă (band add filter)
- 2-filtru extrage bandă (band drop filter)

Figura 2.10. Multiplexarea/demultiplexarea optică pasivă CWDM pe un singur canal

Filtrele pentru multiplexarea/demultiplexarea optică CWDM sunt deasemenea disponibile cu 4, 8 sau 16 canale. Exemplul din figura 2.11. prezintă un filtru pentru multiplexarea/demultiplexarea optică pasivă CWDM cu 4 canale.



- 1- multiplexarea a 4 canale
- 2-demultiplexarea a 4 canale

Figura 2.11. Multiplexarea/demultiplexarea optică pasivă CWDM cu patru canale

Avantajele CWDM

Sistemele CWDM realizează implementarea cu cost scăzut datorită unei combinații de laseri nerăciți, toleranță de selectare a lungimii de undă a laserului crescută (relaxed) și filtre trece banda largi. În plus laserii CWDM consumă mai puțină putere și ocupă mai puțin spațiu pe plăcile circuitelor comparativ cu cei pentru DWDM ceea ce duce la un preț scăzut. Mai mult, filtrele pasive pentru multiplexare/demultiplexare CWDM sunt mai puțin complexe și au un cost mai scăzut decât cele echivalente DWDM. Sistemele CWDM furnizează o soluție de cost eficient pentru accesul metropolitan și rețele de distribuție pe distanță scurtă care necesită o lățime de bandă mai mică decât rețelele de trafic mare metropolitane/regionale și unde amplificarea optică nu este necesară. Figura 2.12. subliniază avantajele și limitările tehnologiei CWDM, [*7].

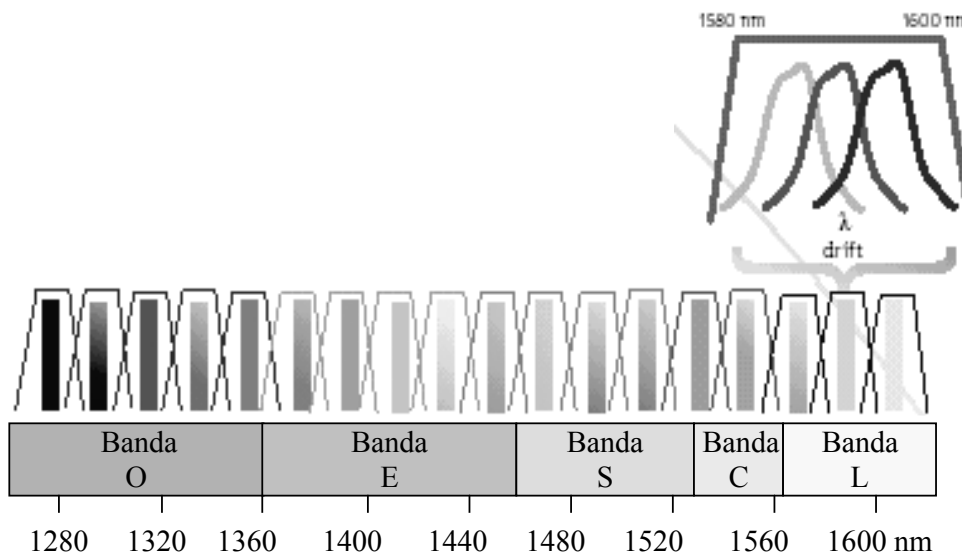


Figura 2.12. Avantajele și limitările tehnologiei CWDM

Printre alte avantajele ale CWDM se numără:

- utilizarea unor laseri nerăciți de putere scăzută și cost scăzut datorită distanțării mari a lungimilor de undă și toleranței filtrării;
- pot tolera un drift al laserului de 6-8 nm;
- cost scăzut al filtrării pasive datorită utilizării doar a filtrării grup de bandă largă fără să fie necesară filtrarea canal fină.

Limitările CWDM: nu pot atinge distanțele furnizate de sistemele DWDM amplificate; necesită fibra G.652.C low/zero water peak (LWP/ZWP) pentru a utiliza toate canalele CWDM, fibra SMF standard nu poate suporta canalele 1370, 1390, 1410, 1430 nm.

Capitolul 3. Spectrul împrăștiat

3.1. Principiile spectrului împrăștiat

Tehnica de împrăștiere a spectrului a fost dezvoltată la început pentru comunicațiile antibruiaj militare la mijlocul anilor 1950 găsind însă un domeniu mare de aplicabilitate și în sistemele de comunicație comerciale.

O definiție a spectrului împrăștiat ar fi, [PIC]:

“ Spectrul împrăștiat este un mod de transmisie în care semnalul ocupă o lățime de bandă în exces față de cea minimă necesară pentru a transmite informația; împrăștierea benzii este realizată prin intermediul unui cod care este independent de date. Deîmprăștierea și apoi recuperarea datelor se face folosind același cod folosit la emisie prin care se sincronizează recepția. ”

Ideea de bază a tehnicii de transmisie cu spectrul împrăștiat este împrăștierea semnalului peste o bandă mare de frecvență și transmiterea lui cu o putere scăzută raportată la unitatea de bandă.

Pentru ca un semnal să fie considerat cu spectru împrăștiat trebuie îndeplinite două condiții, [PRA, *6]:

1. Lățimea de bandă de transmisie trebuie să fie mult mai mare decât lățimea de bandă a semnalului de informație.
2. Lățimea de bandă a semnalului de radiofrecvență rezultată este determinată de o altă funcție și nu de informația ce a fost transmisă, fiind independentă de semnalul care reprezintă informația.

Prin modulația cu spectru împrăștiat se transformă semnalul de date de bandă îngustă într-un semnal transmis care are o lățime de bandă mult mai mare. Transformarea se efectuează cu ajutorul unui semnal de cod care are o lățime spectrală mult mai mare și care este independent de semnalul de date, [PRO].

Se numește câștigul de procesare (processing gain) al unui sistem cu spectru împrăștiat raportul dintre lățimea de bandă transmisă și lățimea de bandă a informației, [HAF, PRA, *6]:

$$PG = B_t/B_i, \quad (3.1)$$

B_t fiind lățimea de bandă a semnalului cu spectru împrăștiat, iar B_i banda semnalului informațional.

Semnalul recepționat este corelat la receptor cu o copie identică a semnalului de cod generată sincron, pentru a reconstitui semnalul de date. Aceasta înseamnă că receptorul trebuie să cunoască semnalul de cod folosit pentru a modula informația.

Semnale cu spectru împrăștiat (SS) sunt caracterizate de proprietățile, [HAF, JAC, PRA, SCZ, SKL]:

- *Posibilitatea de acces multiplu:* Cu toate că utilizatorii multipli își transmit semnalul în același timp receptorul îi poate distinge cu ajutorul codului de semnătură unic atribuit fiecăruia, datorită faptului că acesta are o corelație scăzută cu celelalte coduri. La recepție făcând corelația semnalului care este recepționat cu secvența de cod a unui anumit utilizator, semnalul acestuia va fi recomprimat pe când celelalte semnale vor rămâne de bandă largă. Din acest motiv în interiorul lățimii de bandă a semnalului de informație puterea semnalului utilizatorului dorit va fi mult mai mare decât puterea interferentă, dacă nu sunt prea mulți utilizatori care interferează, și astfel semnalul dorit poate fi extras.
- *Probabilitatea de interceptare scăzută:* Semnalul cu spectru împrăștiat este dificil de interceptat datorită densității spectrale de putere scăzute.
- *Secretizarea:* Codul pentru un anumit grup de utilizatori este distribuit doar utilizatorilor autorizați (CDMA); se asigură astfel secretizarea comunicațiilor pentru că transmisia nu poate fi decodată de către utilizatorii neautorizați care nu cunosc codul.
- *Capacitate de antibruiaj:* Bruiorul nu poate utiliza observații asupra semnalului pentru a-și îmbunătăți performanțele și trebuie să folosească tehnici de bruiere care sunt independente de semnalul care va fi bruiat. Datorită faptului că semnalul de date de bandă redusă, este distribuit peste un domeniu (bandă) mare, bruiorul care are o putere totală fixă (în scopul perturbării maxime a comunicației) are două posibilități. Acestea sunt fie să-și împartă această putere peste întregul domeniu și în acest caz interferența pe care o va provoca este mică în fiecare porțiune, fie să folosească toată puterea pentru a bruii o mică porțiune și în acest caz restul domeniului rămâne nebruiat.
- *Protecția împotriva interferenței multicale (fadingul):* Într-un canal radio, între emițător și receptor datorită reflexiilor și refracțiilor nu există o singură cale, iar semnalul va fi recepționat pe mai multe căi. Fiecare semnal reflectat va sosi la receptor având atenuări, defazaje și întâzieri în timp diferite. Fiecare din aceste componente care sosește se poate combina cu o alta

constructiv dacă semnalele sosesc în fază, sau distructiv în acest caz semnalul rezultat fiind slab. Acest fenomen generează fading. Modulația cu spectru împrăștiat poate combate interferența multicale. Modul în care aceasta se face depinde de tipul de modulație utilizat. De exemplu: Dacă fadingul apare într-o porțiune particulară a spectrului, semnalele din domeniul de frecvență respectiv vor fi atenuate. În cazul unei scheme FDMA un utilizator care are atribuită porțiunea de frecvență respectivă a spectrului va suferi o degradare mare a comunicației pentru atâta timp cât fadingul va exista. În cazul unei scheme FH-CDMA însă, doar pe durata de timp cât un utilizator “sare” într-o porțiune a spectrului care este afectată de fading utilizatorul va suferi o fluctuație a comunicației. Astfel în cazul CDMA o astfel de degradare este împărțită între toți utilizatorii, [SKL].

Există trei configurații de bază a sistemelor utilizate pentru recepția de bandă largă, [SCZ]:

1. Sisteme cu transmiterea suplimentară a unei purtătoare (transmitted reference (TR) systems) - realizează detecția prin transmiterea a două versiuni ale purtătoarei, una care este modulată de informația de date și una care este nemodulată. Aceste două semnale intră într-un detector corelator care extrage semnalul de date.

2. Sisteme cu referință memorată (stored reference (SR) systems) - emițătorul și receptorul necesită generarea aceluiași semnal pseudoaleator de bandă largă. Purtătoarea generată local la receptor este sincronizată cu purtătoarea recepționată din canal.

3. Sisteme cu filtre (filter systems)- generează un semnal transmis de bandă largă, și se folosește un filtru adaptat (MF-Matched Filter) având un răspuns la impuls, de bandă largă, controlat pseudoaleator. Detecția semnalului la receptor este realizată de un filtru adaptat identic, pseudoaleator, controlat sincron, care realizează calculul corelației. Variația pseudoaleatoare rapidă a răspunsului la impuls al emițătoarelor asigură nonpredictibilitatea purtătoarei de bandă largă.

Câteva avantaje ale folosirii spectrului împrăștiat [VIT]:

- a. toleranță mare la interferența intenționată (bruij) sau neintenționată (ISI);
- b. detecția slabă a semnalului transmis de către receptoarele nedorite, puterea semnalului descrește o dată cu creșterea factorului de împrăștiere;

c. realizarea comunicațiilor cu acces multiplu al unui număr mare de utilizatori, care împart aceleași resurse, relativ necoordonăți aflați în aceeași zonă geografică; numărul de utilizatori este proporțional cu factorul de împrăștiere;

d. estimarea vitezei și localizarea poziției cu o precizie proporțională cu factorul de împrăștiere.

În cazul tehnicilor de acces multiplu tradiționale fiecărui utilizator al sistemului i se alocă anumite resurse ca de exemplu frecvența sau diviziunile de timp, sau ambele simultan, resurse care sunt diferite pentru fiecare utilizator.

O altă metodă sugerată cel puțin în parte de principiile teoriei informației a lui Shannon este complet diferită pentru că nu încearcă să aloce resurse diferite de frecvență sau timp fiecărui utilizator, [VIT]. Se alocă în schimb toate resursele tuturor utilizatorilor simultani, distincția între aceștia făcându-se după secvențele de cod (de semnătură) care sunt unice. Se controlează puterea transmisă de fiecare utilizator la una minimă necesară pentru a menține un raport semnal per zgomot impus de nivelul de performanță necesar. Fiecare utilizator întrebuițează un semnal de bandă largă, pseudo-zgomot, care ocupă întreaga alocare de frecvență pentru atâta timp cât este necesar. În felul acesta fiecare dintre utilizatori contribuie la zgomotul de fond care afectează toți utilizatorii însă în modul cel mai puțin posibil. Capacitatea va fi afectată de această interferență adițională, însă deoarece nu există restricționări asupra resurselor alocate (timp și lățime de bandă) capacitatea rezultantă va fi semnificativ mai mare decât în cazul sistemelor convenționale.

Există mai multe moduri de împrăștiere a semnalului din care primele două sunt mai utilizate și vor fi prezentate mai în detaliu în paragrafele următoare, [GLA, HAF, PRA, SKL, *6]:

- CDMA cu secvență directă, DS-CDMA (Direct Sequence Spread-Spectrum) – semnalul de date este înmulțit direct de un semnal de cod.
- CDMA cu salt de frecvență, FH-CDMA (Frequency Hopping Spread-Spectrum) – frecvența purtătoare la care este transmis semnalul se schimbă în funcție de codul pseudoaleator.
- CDMA cu salt de timp, TH-CDMA (Time Hopping Spread-Spectrum) – semnalul de informație nu este transmis continuu ci în pachete scurte, intervalele de timp în care mesajul este transmis sunt alese utilizând generatorul de secvențe pseudoaleatoare.
- Tehnici hibride rezultate prin utilizarea combinată a unora din tehnicile de mai sus în scopul de a îmbina avantajele și de a reduce dezavantajele.

3.2. Spectru împrăștiat cu secvență directă

În cadrul DS-CDMA împrăștierea se realizează prin modularea șirului de simboluri de informație cu o secvență de “chip-uri” de rată mare. Semnalul de date este modulată direct cu semnalul de cod.

Această modulare se realizează prin multiplicarea semnalului de date (informație) $s(t)$ cu secvența de împrăștiere (sau cod) $c(t)$ care are variații mult mai rapide. Semnalul de cod constă dintr-un anumit număr de biți sau “chip-uri” care pot avea valoarea fie +1, fie -1.

Figura 3.1. prezintă principiul de bază a unui sistem de comunicație digital cu spectru împrăștiat cu secvență directă (SS-DS). Semnalul multiplicat $s(t) \cdot c(t)$ este cel care va fi transmis.

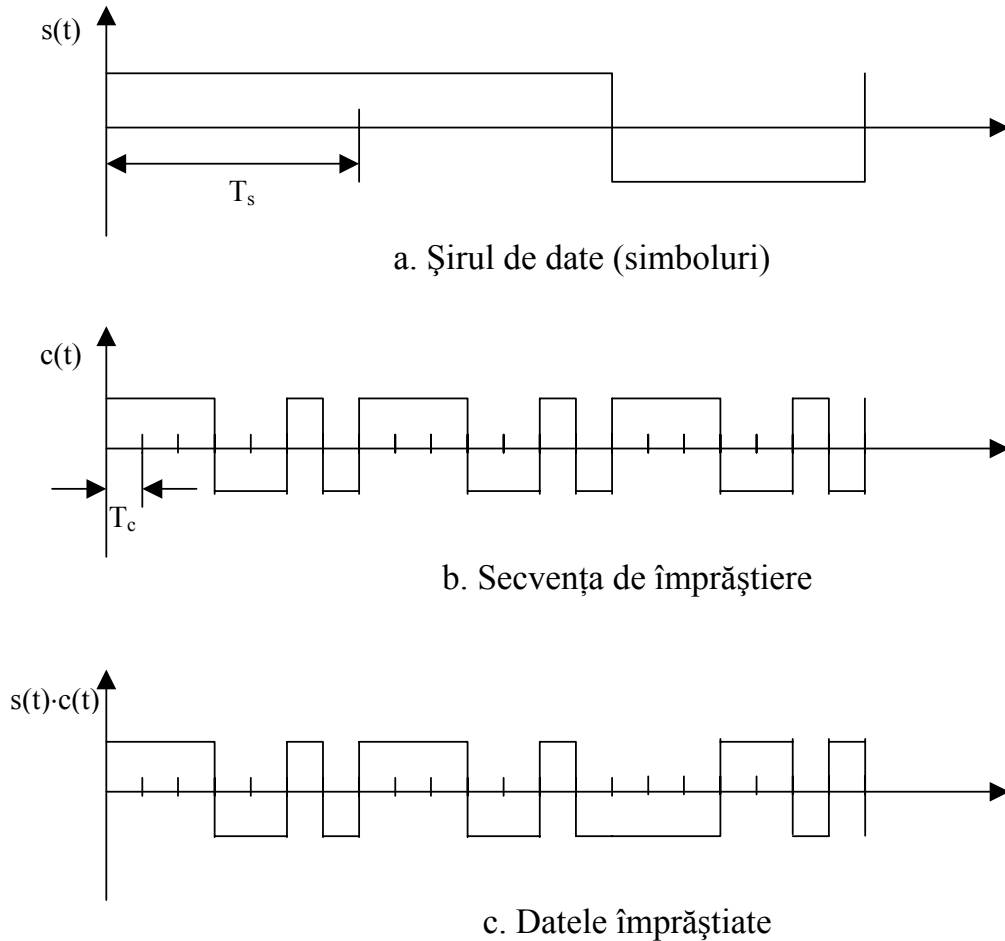


Figura 3.1. Împrăștierea cu secvență directă

Impulsurile secvenței de împrăștiere se numesc “chip-uri”.
Rata de simbol este:

$$R_s = 1/T_s, \quad (3.2)$$

iar rata de chip are valoarea:

$$R_c = 1/T_c. \quad (3.3)$$

După cum se poate vedea fiecare simbol de durată T_s este împrăștiat în chip-uri multiple de durată $T_c < T_s$.

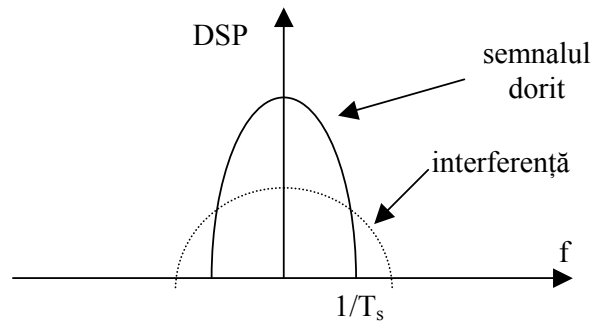
Raportul

$$N = T_s/T_c \quad (3.4)$$

este factorul de extindere a lății de bandă. Se numește și factor de împrăștiere sau câștig de procesare.

Secvența de împrăștiere este o secvență periodică de N chipuri (șapte în cazul din figura 3.1.) și poate fi obținută în unul din modurile prezentate în capitolul 4. Secvențele PN utilizate pot să fie reprezentate fie în cod binar unipolar, fie în cod binar bipolar (cum este cazul în figura 3.1.).

Semnalul SS reduce interferența după cum se prezintă mai jos. Semnalul original având o lățime de bandă mică $2/T_s$ după cum se vede în figura 3.2.a interferează cu alte semnale și dacă interferența este prea puternică există posibilitatea de a nu fi capabili să-l recuperăm. Folosind tehnicile de împrăștiere a spectrului, semnalul este împrăștiat peste o lățime de bandă mare: $2/T_c \gg 2/T_s$ (figura 3.2.b). Celelalte semnale interferează doar cu o parte a semnalului dorit. La recepție semnalul este restrâns la semnalul original în timp ce interferența este împrăștiată peste o lățime de bandă mare ($2/T_c$) și s-ar putea să nu fie suficient de puternică pentru a corupe semnalul dorit (figura 3.2.c). Acesta este motivul pentru care semnalul cu spectru împrăștiat este robust la bruiaj și oferă protecție împotriva interferenței intersimbol.



a)

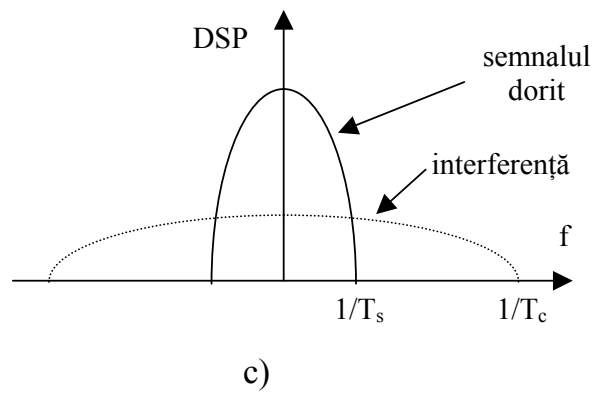
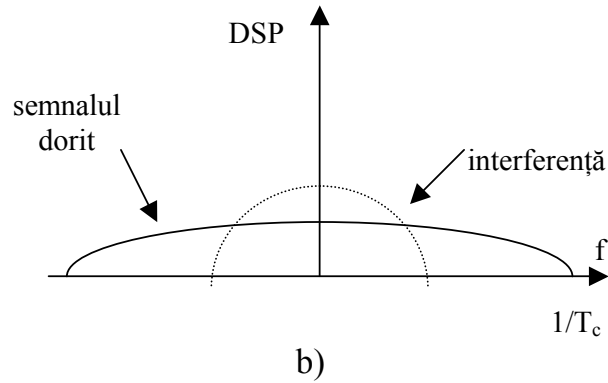


Figura 3.2. Densitatea spectrului de putere a semnalului cu spectru împrăștiat

Schema bloc a un sistem SS cu secvență directă este prezentată în figura 3.3.

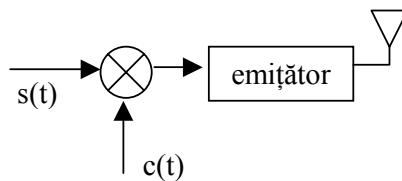


Figura 3.3.a Partea de transmisie a unui sistem cu spectru împrăștiat cu secvență directă

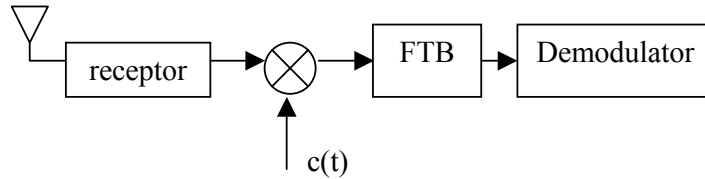


Figura 3.3.b Partea de recepție a unui sistem cu spectru împrăștiat cu secvență directă

După cum se poate observa împrăștierea spectrală este rezultatul multiplicării semnalului $s(t)$ cu secvența de împrăștiere.

Pentru ca la receptor să se poată reface semnalul inițial, semnalul recepționat trebuie să fie înmulțit cu un cod identic cu cel de la emisie și în același timp sincronizat cu acesta.

Semnalul care sosește la receptor va fi afectat de zgomot, de interferențe, apare și o întârziere datorată canalului. Semnalul recepționat este format dintr-o suprapunere a tuturor semnalelor transmise.

Dacă secvențele de împrăștiere au fost alese corespunzător după procesul de corelație doar semnalul dorit este recomprimat spectral și poate fi demodulat; celelalte semnale necorelate vor rămâne cu spectrul expandat și vor fi văzute ca zgomot.

3.3. Spectru împrăștiat cu salt de frecvență (Frequency Hopping FH)

În cadrul tehnicii FH-SS transmisia se realizează cu salturi de pe o frecvență purtătoare pe alta în interiorul unei benzi de frecvență specificate într-o manieră pseudoaleatoare. Deci frecvența purtătoare a semnalului de date modulat nu este continuă ci se schimbă periodic.

Astfel secvența de cod nu mai modulează în mod direct semnalul de date ci este folosită în scopul de a controla un așa numit sintetizor de frecvență care este cel care alege secvența purtătoare care se va utiliza în următorul interval de salt.

Semnalul împrăștiat în acest mod poate fi refăcut la recepție dacă se cunoaște secvența de salturi. Acest lucru poate fi realizat dacă sintetizorul de frecvență care este utilizat la recepție este identic cu cel de la emisie și ele funcționează sincron.

Aceleași frecvențe pot fi utilizate în comun pentru mai multe legături simultane cu condiția ca secvențele de salt aferente să fie ortogonale, adică în orice moment o frecvență din grupul comun este utilizată pentru o singură legătură.

Această metodă presupune transmisia datelor sub formă de pachete (burst), în timpul intervalului T frecvența purtătoare rămânând aceeași, dar la

sfârșitul fiecărui interval de timp purtătoarea “sare” la altă frecvență (sau chiar la aceeași frecvență).

În funcție de relația în care se află perioada de chip T_c și perioada semnalului de date T_s avem două tipuri de semnale cu spectru împrăștiat cu salt de frecvență:

- dacă $T_c > T_s$ avem un sistem cu spectru împrăștiat cu salt de frecvență lent;
- dacă $T_s > T_c$ avem un sistem cu spectru împrăștiat cu salt de frecvență rapid.

În cazul saltului de frecvență rapid (F-FH), figura 3.4., numărul de salturi este mai mare decât rata datei, astfel frecvența purtătoarei se schimbă de câteva ori în timpul transmisiei unui bit, acest bit fiind transmis pe frecvențe diferite, [HAF, SKL].

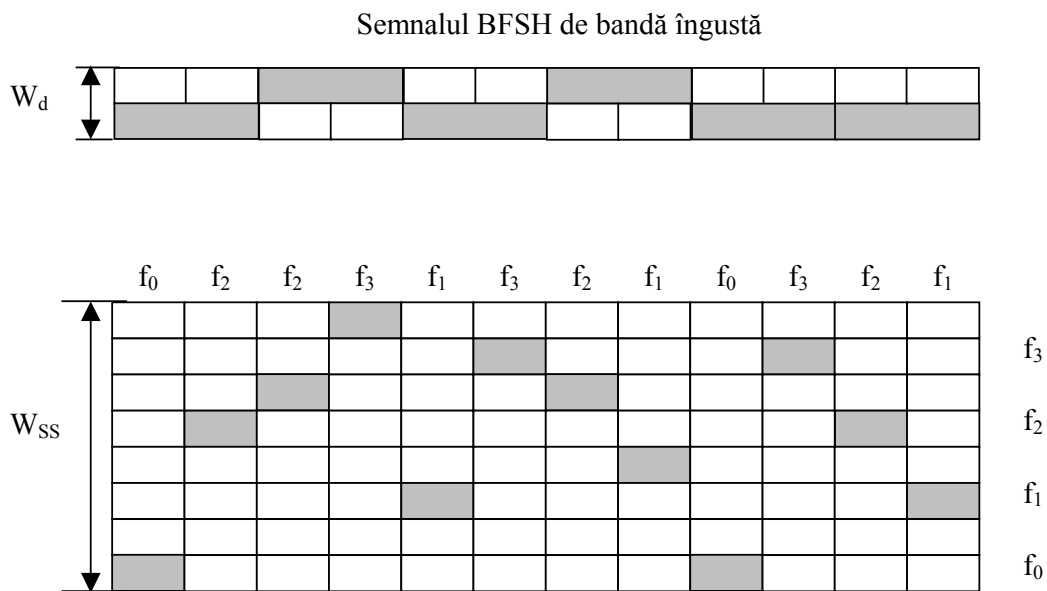


Figura 3.4. Salt de frecvență rapid

Pentru $k = 2$ vom avea 2^k , adică patru frecvențe purtătoare posibile, iar un simbol de date este transmis pe două frecvențe diferite.

Cazul în care avem un număr de salturi mai mic decât rata datei este cel al saltului de frecvență lent (S-FH), figura 3.5., astfel pe aceeași frecvență sunt transmiși mai mulți biți.

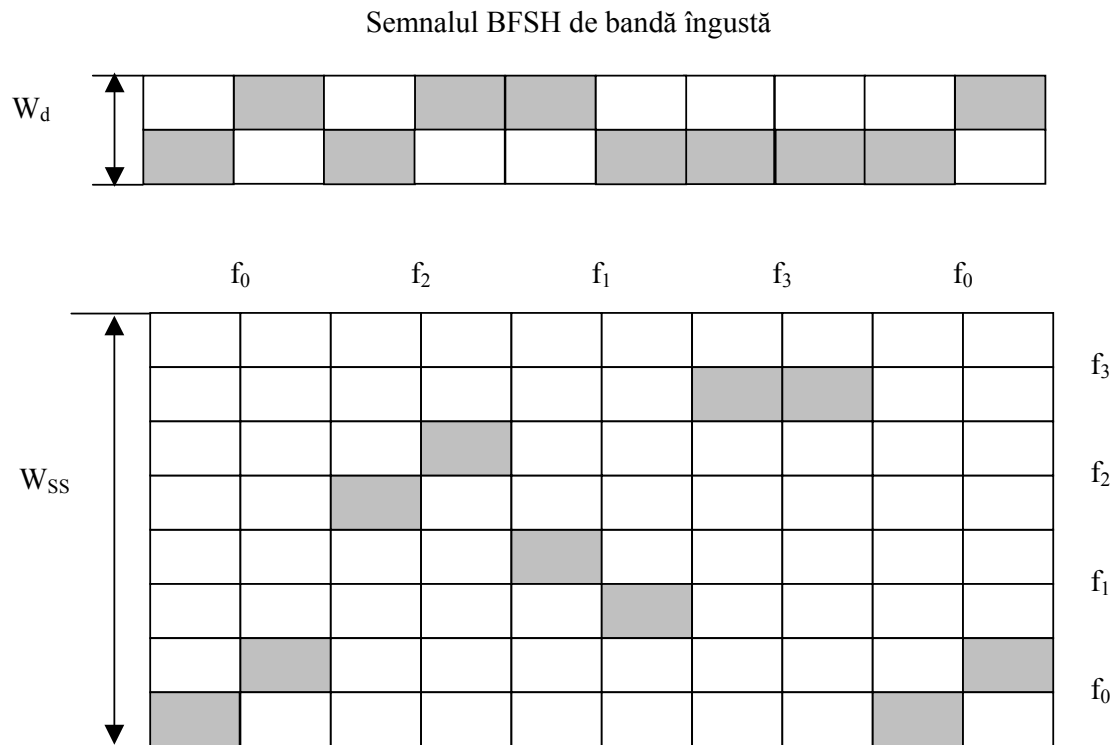


Figura 3.5. Salt în frecvență lent

Pentru $k = 2$ vom avea 2^k , adică patru frecvențe purtătoare posibile care sunt generate de sintetizor. Doi biți de date vor fi transmiși în acest caz pe o singura frecvență.

Figura 3.6. prezintă schema bloc a unui sistem FH-SS.

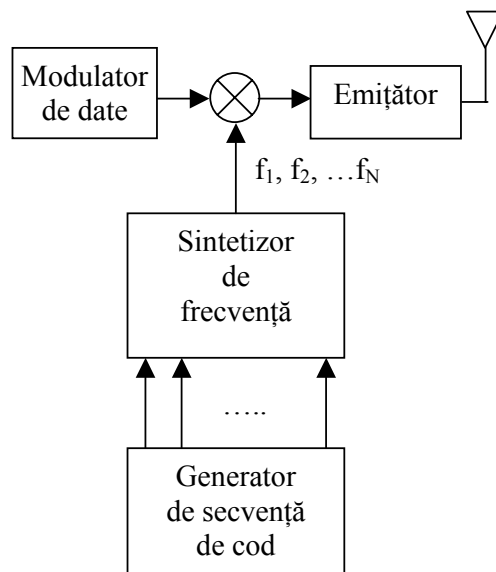


Figura 3.6.a Schema bloc a transmițătorului unui sistem cu spectru împrăștiat cu salt de frecvență

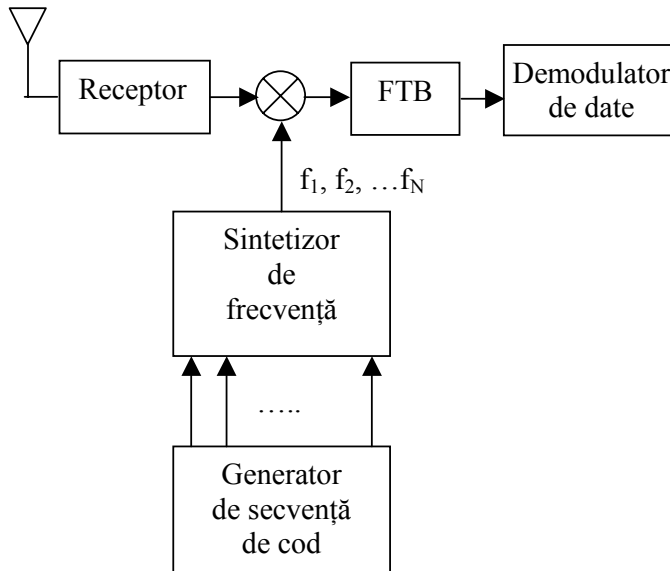


Figura 3.6.b Schema bloc a receptorului unui sistem cu spectru împrăștiat cu salt de frecvență

Modulația utilizată de obicei cu această tehnică de acces multiplu este MFSK (M-ary frequency shift keying), unde sunt utilizați $k = \log_2 M$ biți pentru a determina care din cele M frecvențe va fi transmisă. Poziția setului de semnale M -are este schimbată aleator de către sintetizorul de frecvență peste o lățime de bandă W_{ss} . Într-un sistem MFSK convențional simbolul de date modulează o purtătoare de frecvență fixă, iar într-un sistem FH/MFSK simbolul de date modulează o purtătoare a cărei frecvență este determinată pseudoaleator. În fiecare caz un singur ton (frecvență) este transmis.

Se observă că la fiecare moment de salt de frecvență generatorul de secvență de cod furnizează sintetizorului de frecvență o secvență de k biți (chipuri) care determină o frecvență din cele 2^k posibile din setul de simboluri. Lățimea de bandă de salt de frecvență W_{ss} și distanța de frecvență minimă între poziții de salt consecutive, Δf determină numărul de chipuri necesare în cuvântul de frecvență, [SCL].

Exemplu:

Presupunem că avem o lățime de bandă de salt de 400 MHz și mărimea pasului de frecvență este $\Delta f = 100$ Hz.

Numărul de tonuri (frecvențe) conținute în W_{ss} este

$$W_{ss}/\Delta f = (400 \times 10^6) / 100 = 4 \times 10^6$$

Deci numărul de chipuri minim va fi

$$[\log_2(4 \times 10^6)] = 22,$$

[a] este cea mai mică valoare întreagă nu mai mică decât a.

Pentru un salt dat, lățimea de bandă de transmisie ocupată este identică cu lățimea de bandă a MFSK convenționale care este în mod normal mult mai mică decât W_{ss} . Totușiediat peste mai multe salturi, spectrul FH/MFSK ocupă întreaga lățime de bandă a spectrului împrăștiat. Tehnologiile actuale permit lățimi de bandă FH de ordinul a câțiva gigahertzi care este un ordin de amplitudine mai mare decât lățimile de bandă implementate cu DS astfel permițând un câștig al procesului mai mare pentru FH comparativ cu sistemele DS.

Pentru că tehnicile cu salt de frecvență operează peste astfel de lățimi de bandă largi, este dificil de menținut coerența de fază de la salt la salt. Astfel de scheme sunt în mod obișnuit configurate ca utilizând demodulația necoerentă.

Comparație între DS-CDMA și FH-CDMA, [*3, *6, MEL1]:

Avantajele DS-CDMA sunt:

- generarea semnalului codat este ușoară făcându-se printr-o simplă înmulțire
- demodularea coerentă este posibilă
- nu este necesară sincronizarea între utilizatori

Dezavantaje DS-CDMA:

- sincronizarea este dificil de realizat și de menținut între semnalul recepționat și secvența de cod generată la receptor
- puterea care este recepționată de la utilizatorii mai apropiați de stația de bază este mai mare decât cea de la cei mai îndepărtați putând face recepția acestora imposibilă. Acest fenomen poartă numele de efectul apropiat-depărtat (near-far) și pentru înlăturarea lui trebuie efectuat un control al puterii astfel încât puterea recepționată la stația de bază să fie de aceeași valoare. Acest control însă este destul de dificil.

Avantaje FH-CDMA:

Efectul apropiat-depărtat (near-far) este mai puțin grav decât în cazul cu secvență directă. Un utilizator depărtat de stația de bază poate fi recepționat când transmite chiar și în cazul în care există utilizator apropiat de stația de bază care transmite pentru că este probabil ca ei să transmită la frecvențe diferite.

Fiecare secvență FH are doar un număr limitat de locații comune cu celelalte. Aceasta înseamnă că dacă există în apropiere un bruior, doar un număr de frecvențe de salt va fi blocat în loc să fie blocat tot semnalul. Pe baza frecvențelor care nu sunt blocate este posibil să se refacă mesajul de date original.

Dezavantaje ale FH-CDMA:

- demodulația coerentă este dificilă datorită problemelor de menținere a fazei în timpul salturilor
- sintetizorul de frecvență este destul de complicat

Există o deosebire fundamentală în ceea ce privește ocuparea frecvenței în cadrul sistemelor ce folosesc cele două tehnici. Pe când un sistem cu secvență directă ocupă atunci când transmite întreaga bandă de frecvență sistemul cu salt de frecvență ocupă doar porțiuni mici din lățimea de bandă în care are loc transmisia.

Sistemul FH rezolvă mult mai bine problema multicăii decât DS pentru că nu utilizează aceeași frecvență și dacă fadingul apare la o anumită lățime de bandă de frecvență el afectează sistemul doar un mic interval de timp, apoi la o alta sistemul nu va mai fi afectat.

În cazul FH este mai greu de sincronizat receptorul la emițător din cauză că trebuie acordate atât timpul cât și frecvența pe când în DS doar sincronizarea chip-urilor este necesară.

DS utilizează o putere scăzută, iar FH o putere mare.

3.4. Spectru împrăștiat cu salt de timp (Time Hopping TH)

Cele mai des utilizate în practică sunt sistemele cu spectru împrăștiat DS și FH. Însă pot fi folosite și alte metode pentru a introduce pseudoaleatorul în semnalul cu spectru împrăștiat, [PRO]. TH saltul în timp este o metodă, asemănătoare cu saltul în frecvență (FH). În TH, un interval de timp, care este ales mult mai mare decât $1/R$, inversul ratei informației, este divizat într-un număr mare de sloturi de timp. Simbolurile informației codate sunt transmise, într-un slot de timp care este ales pseudoaleator în funcție de semnalul de cod care este atribuit fiecărui utilizator, ca un bloc de unul sau mai multe cuvinte de cod. Pentru a transmite biții codați se poate utiliza modulația PSK.

Ca un exemplu, se poate presupune că un interval de timp T este divizat în 1000 de sloturi de timp de lățime $T/1000$ fiecare. Pentru o rată de R biți/s a biților de informație, numărul de biți transmiși în T secunde este $R \cdot T$. Codarea crește acest număr la $R \cdot T / R_c$ biți, unde R_c este rata de codare. Astfel, într-un interval de $T/1000$ secunde, vor trebui transmiși $R \cdot T / R_c$ biți. Utilizând ca metodă de modulare PSK binară, rata biților este $1000 \cdot R / R_c$, iar banda necesară este aproximativ $W = 1000 \cdot R / R_c$.

O schemă bloc a unui transmițător și a unui receptor pentru un sistem cu spectru împrăștiat cu TH este prezentată în figura 3.7. Datorită faptului că semnalul emis este sub formă de pachete (în rafală), transmițătorul sistemului cu salt în timp trebuie să conțină buffer de stocare, cum se observă în figura

următoare. Pentru a asigura un flux de date uniform către utilizator trebuie folosit un buffer și la recepție.

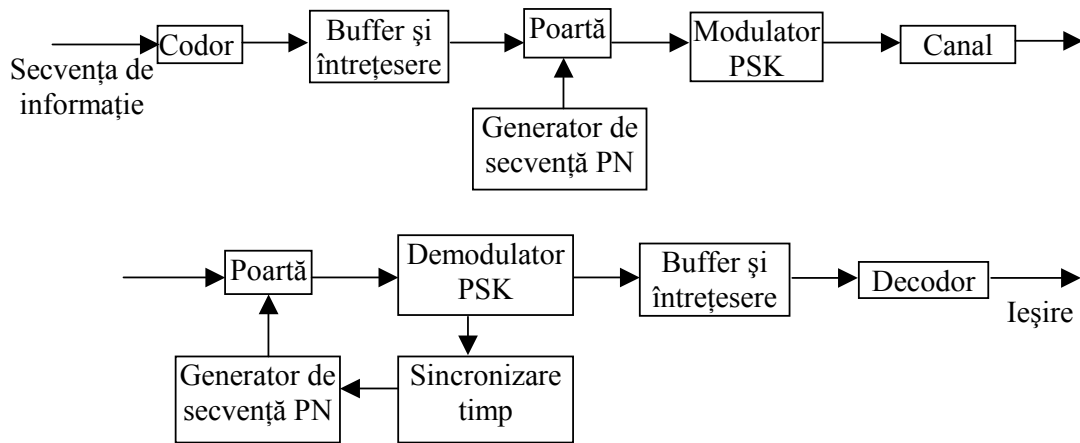


Figura 3.7. Schema bloc pentru un sistem cu spectru împrăștiat cu TH

Așa cum interferența degradează doar o parte din banda sistemului necodat cu spectru împrăștiat FH, interferența parțială în timp (pulsată) are un efect similar în sistemul cu spectru împrăștiat TH. Pentru combaterea acestui tip de interferență se utilizează codarea și întrețeserea, [PRO]. Dezavantajul major al sistemului TH este dat de dificultățile mari de sincronizare în comparație nu doar cu FH ci și cu DS.

3.5. Sisteme hibride

Alte tipuri de semnale cu spectru împrăștiat pot fi obținute combinând tehnicile anterioare DS, FH și TH, [PRA, GLA]. Astfel pot fi obținute următoarele sisteme hibride: DS/FH, DS/TH, FH/TH, DS/FH/TH. Scopul utilizării sistemelor hibride este acela de a combina avantajele specifice fiecărui tip de sistem.

Tehnica DS/FH este o combinație între DS și FH unde este combinat avantajul de a combate eficient efectul propagării pe căi multiple specific DS cu avantajul oferit de FH care are o comportare mai bună în cazul efectului apropiat-depărtat (near-far).

În cazul DS/FH un bit de date este divizat cu un număr egal cu numărul de canale de salt a frecvenței (frecvențele purtătoare). În fiecare canal de salt a frecvenței un cod PN complet în lățime e multiplicat cu semnalul de date (vezi figura 3.8).

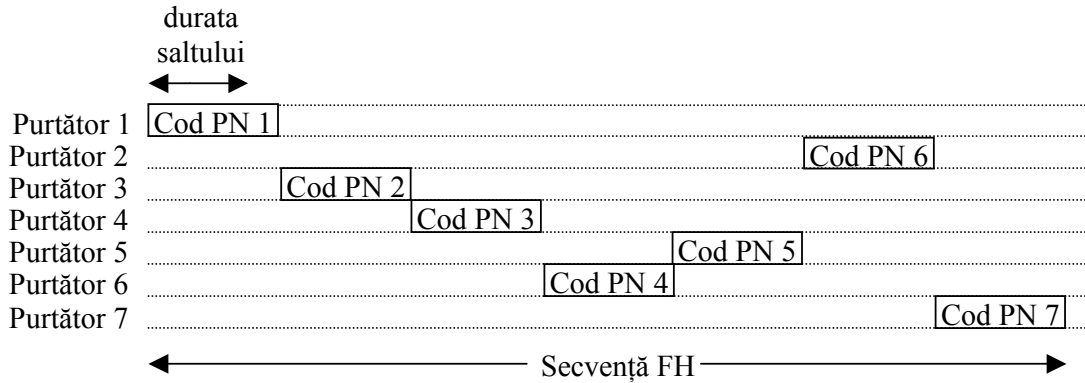


Figura 3.8 Diagrama de împrăștiere DS-FH

Atunci când sunt asociate secvența FH și codul PN, adresa este o combinație dintre secvența FH și codurile PN. Pentru a limita șansa de suprapunere a locației (șansa ca doi utilizatori să folosească același canal în același timp), secvențele de salt a frecvenței sunt alese în așa fel încât doi transmițători cu secvențe FH diferite să împartă cel mult 2 frecvențe în același timp (timpul de schimbare e aleator), [GLA].

Faptul că într-un salt detecția este coerentă reprezintă un avantaj obținut comparativ cu sistemul FH pur. Astfel de sisteme prezintă performanțe crescute, dar datorită complexității mai mari a echipamentelor și necesității mai mari de sincronizare au un cost mai ridicat acesta fiind un dezavantaj al lor.

3.6. Receptorul RAKE

Datorită caracteristicilor de propagare ale semnalului în canalul de comunicații fără fir, receptorul poate recepționa o versiune a semnalului în linie de vedere directă (one direct line-of-sight LOS) și alte versiuni ale acestuia cu amplitudini, întârzieri și faze diferite datorită fenomenelor de reflexie, refracție, absorbție etc.

Modelarea unui canal radio mobil se poate face cu ajutorul unei structuri paralele ca cea din figura 3.9. , în care fiecare din cele k trasee de propagare introduce o atenuare proprie a_i și o întârziere τ_i a unei radio, [MRZ, PRA].

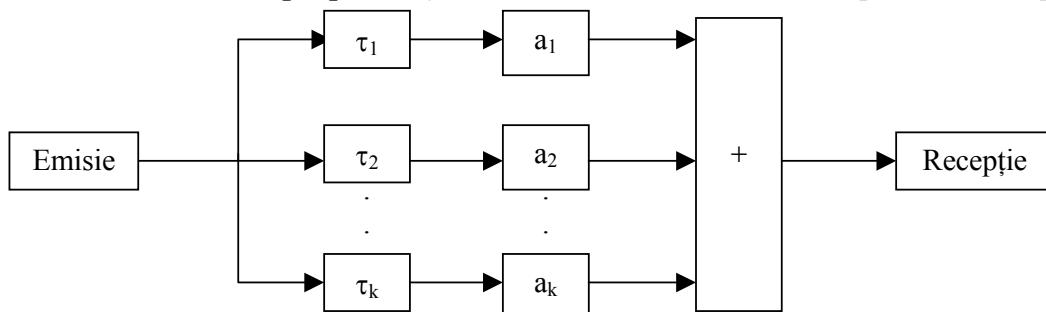


Figura 3.9. Modelul unui canal radio cu propagare pe mai multe căi

Receptorul are la dispoziție mai multe copii sau replici ale semnalului original, decalate în timp una față de alta cu un interval de timp proporțional cu diferența de drum dintre lungimile traseelor de propagare.

Forma de undă a semnalului cu spectru împrăștiat este adaptată canalului multical. Într-un canal multical, semnalul original transmis se reflectă de obstacole cum sunt clădiri, munți etc. și receptorul recepționează câteva versiuni ale semnalului cu întârzieri diferite. Dacă semnalele sosesc distanțate unul față de altul cu mai mult de un chip (T_c) receptorul poate să le descompună (distingă). De fapt din punctul de vedere al fiecărui semnal multical, celelalte semnale multicale pot fi privite ca interferență și sunt suprimate proporțional cu câștigul de procesare.

În cazul unei astfel de propagări totuși un câștig în plus poate fi obținut dacă semnalele multicale descompuse sunt combinate utilizând receptorul RAKE. Prin combinarea mai multor copii ale semnalului original după prelucrarea lor separată se obține un câștig suplimentar. Astfel forma de undă a semnalelor CDMA înlesnește utilizarea unei metode mai noi de recepție cu diversitate temporală denumită diversitate de cale sau de traseu de propagare.

Sistemele DS-CDMA utilizează simboluri pilot cunoscute, care sunt emise în scopul de a sonda canalul și care permit o estimare a stării momentane a canalului pentru fiecare cale mai puternică recepționată. Pe baza acestor simboluri, receptorul poate corecta rotațiile de fază introduse în canal. Apoi simbolurile corectate pot fi însumate în fază, după compensarea decalajelor temporale dintre căi, pentru a combina energia semnalelor recepționate pe mai multe căi într-un singur semnal puternic. Această metodă de prelucrare este denumită combinare maximală MRC (Maximal Ratio Combining).

Pentru realizarea receptorului RAKE trebuie ținut seama de faptul că în antena receptorului sosesc și se însumează mai multe raze și fiecare din ele este caracterizată printr-o diferență sensibilă de fază în raport cu celelalte. Decalajul relativ dintre faze nu este constant, mai mult, el se modifică în timp într-un mod aleator. Pentru a compensa aceste defazaje, partea de intrare într-un receptor RAKE este concepută sub forma unei structuri paralele de prelucrare a semnalelor recepționate. Schema de principiu a unui receptor RAKE este prezentată în figura 3.10., [MRZ].

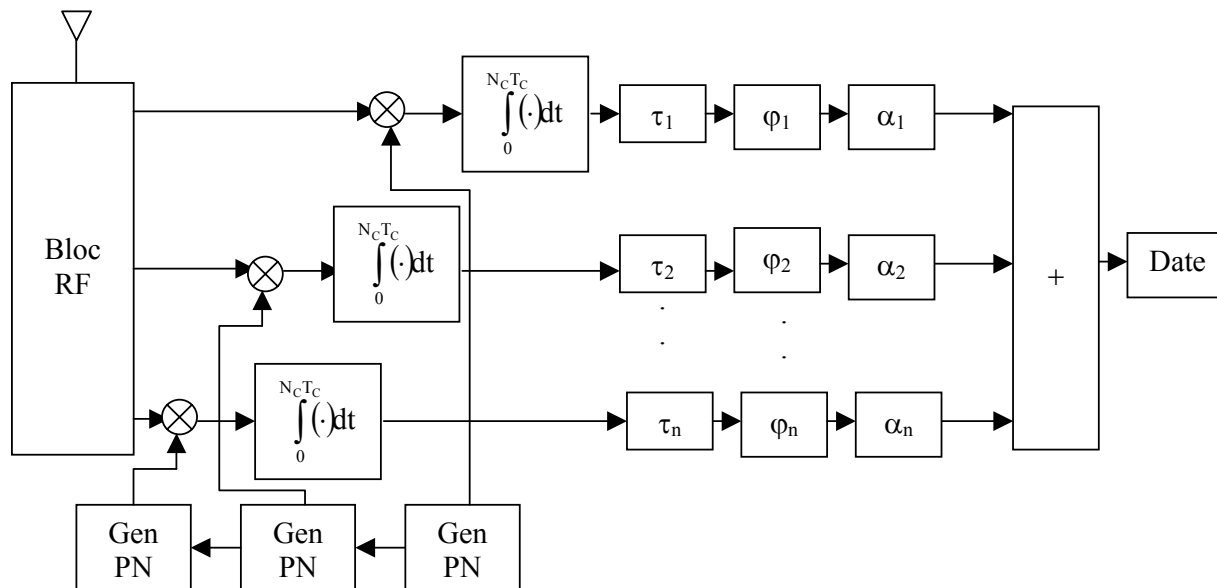


Figura 3.10. Schema de principiu a unui receptor RAKE

Fiecare secvență PN este mixată cu semnalul recepționat într-un corelator, pe una din ramurile paralele de la intrarea receptorului. La ieșirea fiecărui corelator se obține o versiune a semnalului util compensat. Urmează combinarea maximală a semnalelor de pe cele n căi. Într-un receptor mobil DS-CDMA, numărul de ramuri este de obicei 4.

Având în vedere dispersia temporală a razelor, generată de canalul radio, după mixer, fiecare ramură mai conține un etaj, notat cu τ , pentru prelucrarea adaptivă a întârzierii relative a razei compensate în raport cu celelalte raze. Astfel semnalele de pe cele n ramuri sunt aduse la sincronism. Se mai utilizează câte un bloc ϕ de ajustare adaptivă a fazei, precum și un bloc α de egalizare adaptivă a nivelului semnalului de la ieșirea fiecărei ramuri.

Fiecare din cele patru ramuri poartă numele de “deget” (finger), iar trei dintre ele sunt combinate maximal. Cea de-a patra ramură, denumită “deget de căutare” (roving finger), este folosită pentru a descoperi următoarea rază ce ar putea fi alocată combinării maxime.

Pe durata legăturii, în urma deplasării mobilului, condițiile de propagare se schimbă deoarece mediul ambiant din jurul acestuia se modifică. Prin urmare, canalul radio trebuie supravegheat permanent pentru a putea realoca “degetele” receptorului Rake de fiecare dată când e necesar acest lucru. Variațiile pe scară mică, sub durata unui chip, sunt rezolvate de o buclă de urmărire a codului (code tracking loop), care urmărește întârzierea semnalului pe fiecare traseu de propagare în parte, [MRZ, PRA].

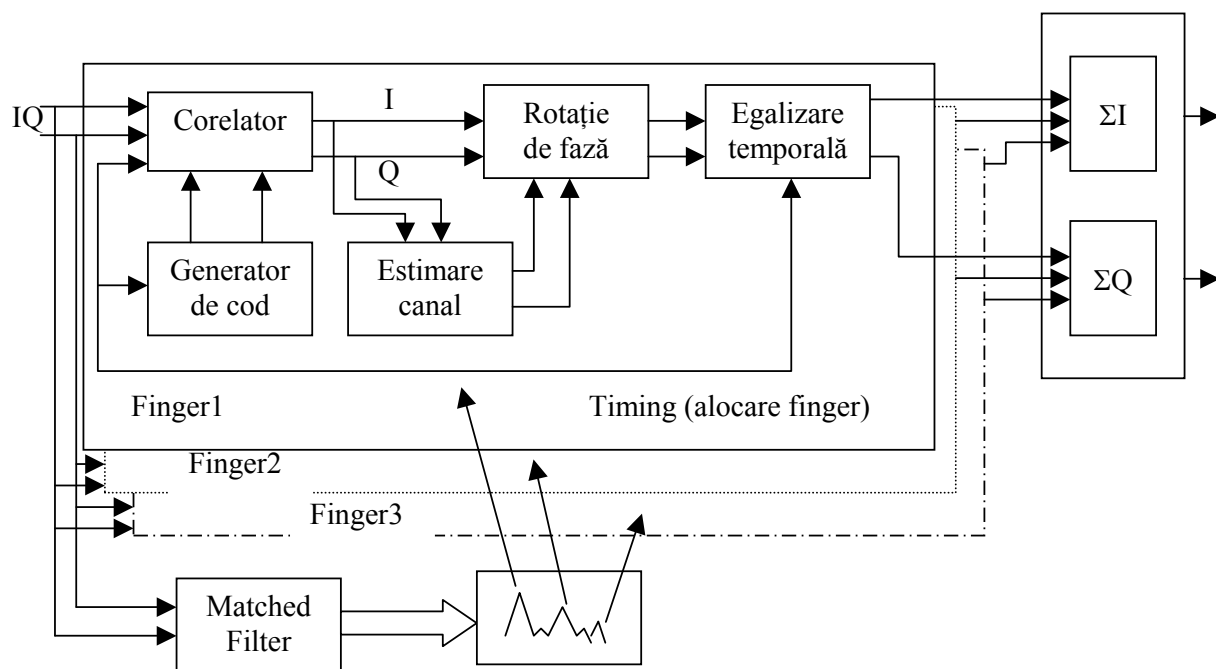


Figura 3.11. Arhitectura funcțională a unui receptor RAKE

Figura 3.11., [MRZ], prezintă arhitectura unui receptor Rake cu trei degete. Eșantioanele numerice de la intrarea receptorului Rake sunt produse de ieșirile din blocul RF. Aceste eșantioane sunt reprezentate în planul complex. La nivelul fiecărui deget, generatorul de cod și corelatorul realizează operațiile de recompresie spectrală și de integrare a simbolurilor semnalului de utilizator. Modulul dedicat estimării canalului utilizează simbolurile pilot pentru a defini starea canalului și pentru a compensa efectele asupra simbolurilor din semnalul cu date de utilizator.

Întârzierea dintre simbolurile diferitelor degete este compensată la nivelul modulului egalizator de întârzieri. Ultimul modul (Rake Combiner), comun pentru ansamblul degetelor, însumează simbolurile modificate provenind de la toate degetele. Aceasta este operația cheie, care exploatează diversitatea de trasee multiple și care permite combaterea efectelor de fading.

Filtrul adaptat permite definirea profilului de întârziere al traseelor multiple din canal. Acest profil, actualizat permanent, permite alocarea celor mai puternice semnale de intrare degetelor disponibile.

Dificultatea majoră a sistemelor CDMA o constituie problema apropiat-depărtat (near-far problem).

Receptorul RAKE este cel mai cunoscut tip de receptor pentru sistemele CDMA. Acest tip de receptor monoutilizator necesită doar cunoașterea formei de undă de semnătură a utilizatorului dorit, epocii de bit și fazei purtătoarei, dar performanțele sale sunt limitate de problema apropiat-depărtat (near-far

problem). Astfel chiar și în prezența unui control al puterii perfect rata sa de eroare de bit este cu câteva ordine de amplitudine diferită de optimal.

Într-un sistem CDMA cu mai mulți utilizatori interferența de acces multiplu (MAI) limitează numărul de utilizatori pe care sistemul îi poate găzdui. Numărul mare de utilizatori și deci interferența mai multă limitează performanțele receptorului RAKE proiectat pentru sistem monoutilizator o metodă mai potrivită fiind utilizarea așa numitelor receptoare multiutilizator. Au fost proiectate diferite tipuri de astfel de receptoare cum sunt detectorul decorelator și detectorul cu eroare pătratică medie minimă (MMSE) care sunt strategii eficiente în a dejuca prezența interferenței multiutilizator, dar în particular aceste receptoare furnizează o rezistență apropiat-depărtat optimă, [HON].

Receptoarele mai complicate însă deși rezolvă aceste probleme necesită o cunoaștere mai completă fiind astfel necesare pe lângă cerințele receptorului monoutilizator cunoașterea formelor de undă a utilizatorilor interferenți, epocile de bit și faza purtătoarei utilizatorilor interferenți și amplitudinile recepționate de la utilizatorii interferenți față de cea a utilizatorului dorit.

Au fost astfel dezvoltate detectoare adaptive care necesită secvențe de antrenament pentru fiecare utilizator sau detectoare adaptive oarbe (blind adaptive receivers) pentru a mai reduce din cerințele necesare pentru recepție.

CDMA este deci o tehnică care cunoaște o continuă dezvoltare câștigând tot mai mult teren față de tehnicile convenționale.

Capitolul 4. Coduri de împrăștiere

4.1. Secvențele de cod

Așa cum s-a specificat și în capitolele anterioare separarea utilizatorilor în cadrul unui sistem CDMA se face prin atribuirea unor secvențe de împrăștiere (de semnătură sau cod) diferite fiecăruia. Astfel receptoarele pot distinge semnalele fiecărui utilizator. În acest fel secvența de împrăștiere are un rol important în determinarea performanțelor sistemelor. Secvențele de semnătură care se mai numesc și secvențe de pseudo-zgomot trebuie să fie cât mai diferite, dar în același timp să poată fi reproduse ușor la recepție pentru a putea fi refăcut semnalul. Atât emițătorul cât și receptorul au stocate copii a două forme de undă reprezentând un “0” binar și un “1” binar, toate celelalte au alte forme de undă pereche. Sunt două proprietăți importante care interesează ale secvențelor de împrăștiere, autocorelația și intercorelația, [PRO].

Autocorelația unei secvențe ne dă măsura a cât de bine sau cât de rău este corelat un semnal cu versiunea sa întârziată. Atunci când mai multe copii ale semnalului transmis sosesc la receptor cu întârzieri în timp care sunt diferite fiecare din ele va interfera cu alta, acest fapt ducând la rezultate neplăcute. De aici putem trage concluzia că, pentru ca efectul să fie cât mai redus, corelația între semnal și copia întârziată trebuie să fie mică, adică o autocorelație scăzută, cât mai apropiată de zero posibil.

Chiar dacă o secvență de semnătură unică este atribuită fiecărui utilizator, semnalul de la un utilizator încă mai interferă cu cel de la altul atunci când mediul este accesat în același timp, această interferență purtând numele de interferență de acces multiplu (MAI). Interferența de acces multiplu poate fi micșorată alegând secvențe de semnătură care au o intercorelație mică, [MEL2, PAV].

Cele mai simple secvențe de semnătură sunt cele aleatoare unde fiecare chip este selectat aleator dintre +1 și -1 independent unul de altul și cu probabilitate egală. În acest fel se oferă libertate mare în alegerea secvențelor de semnătură, dar poate apărea un set de secvențe cu o autocorelație sau o intercorelație mare ceea ce va determina performanțe slabe. Aceste secvențe se utilizează oricum doar în cazul abordării numite cu referință transmisă în care semnalul de semnătură și cel de date modulat sunt transmise simultan, [SKL].

Din aceste motive și pentru ca la recepție să poată fi refăcute aceleași secvențe se utilizează secvențele de pseudo-zgomot (pseudoaleatoare) PN.

Secvențele PN utilizate pot fi reprezentate în cod binar unipolar sau în cod binar bipolar, [VIT].

4.2. Secvențele M

O secvență de pseudozgomot (PN) este o secvență binară de “1” și “0” și este periodică cu o perioadă foarte mare. Este caracterizată de câteva proprietăți asemănătoare cu ale secvențelor binare aleatoare cum sunt: corelația scăzută între orice versiuni deplasate ale secvenței și intercorelația scăzută între două secvențe. Secvențele pseudoaleatoare nu sunt aleatoare, dar pentru un utilizator care nu cunoaște codul ele apar ca aleatoare. O secvență de pseudozgomot poate fi generată cu un registru de deplasare cu reacție ca cel din figura 4.1., [PIC, SKL, VIT, *1].

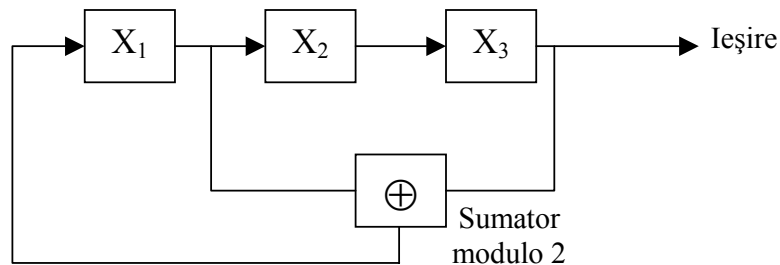


Figura 4.1. Exemplu de registru de deplasare cu reacție

Registru conține 3 celule, un sumator modulo 2, iar reacția este de la sumator la intrare. Presupunem că starea inițială a registrului este 1 0 0. Registrul funcționează controlat de o secvență de tact.

Secvența de ieșire a registrului este ieșirea celulei x_3 . Starea inițială 1 0 0 este arbitrară, dar 0 0 0 nu este permisă.

Sucesiunea stărilor registrului va fi:

1 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0....

Secvența de ieșire este 0 0 1 1 1 0 1 și observăm că se repetă cu o perioadă egală cu 7.

Registru generator produce secvențe care depind de numărul de etaje, de conexiunea reacției și de condițiile inițiale. În cazul general al unui registru de deplasare cu reacție numărul de stări posibile este cel mult 2^m pentru cazul cu m celule. În acest fel secvența PN generată este periodică cu perioada de cel mult 2^m .

În cazul în care însă logica de reacție constă într-o poartă SAU-exclusiv, ca și în exemplul dat, registru se numește registru liniar și starea zero nu este permisă. Din acest motiv perioada unei secvențe PN produse de către un registru de deplasare liniar cu m celule este de maxim 2^{m-1} .

Secvențele de ieșire pot fi de lungime maximă sau pot să nu fie de lungime maximă. Secvențele de lungime maximă au proprietatea că pentru un registru de deplasare cu m celule perioada de repetiție este egală cu:

$$N = 2^m - 1, \quad (4.1)$$

Cele de lungime nemaximă au perioada mai mică. Deci exemplul dat mai sus generează o secvență de lungime maximă.

Secvențele de lungime maximă îndeplinesc trei proprietăți, [SKL, VIT]:

- în fiecare perioadă numărul de +1 diferă de numărul de 0 (sau -1) prin exact unu, deci în fiecare perioadă a secvenței de lungime maximă numărul de "1" este $2^m/2$, iar numărul de "0" este $2^m/2 - 1$;
- într-o perioadă a secvenței numărul de subsecvențe de simboluri identice de fiecare fel respectă regula: jumătate au lungimea unu, o pătrime au lungimea doi, o optime au lungimea trei și așa mai departe;
- funcția de autocorelație a unei secvențe de lungime maximă este periodică și are două valori după cum se vede în figura 4.2.

$$R(k) = \begin{cases} 1, & k=0, N, 2N, \dots \\ -\frac{1}{N}, & \text{in rest} \end{cases} \quad (4.2)$$

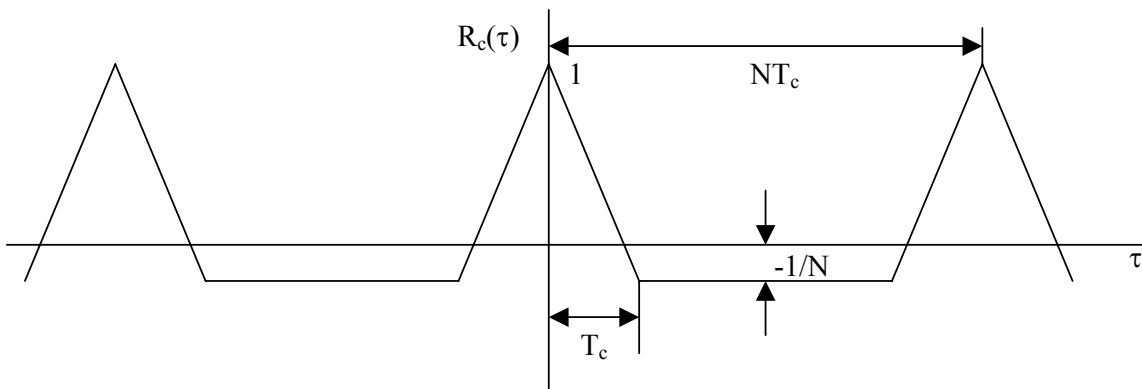


Figura 4.2. Funcția de autocorelație pentru o secvență de lungime maximă cu durata de chip T_c și perioada NT_c

Welch (1974) a dedus marginea inferioară a intercorelației dintre orice pereche de secvențe binare de perioadă N :

$$\phi_{\max} \geq N \cdot \sqrt{\frac{M-1}{M \cdot N-1}} \cong \sqrt{N} \text{ pentru valori mari ale lui } N \quad (4.3)$$

Pentru că, corelația între versiunile deplasate ale unei secvențe-M este aproape zero ele pot fi folosite ca și coduri diferite cu proprietăți de corelație bune.

4.3. Secvențele Gold și Kasami

Așa cum s-a spus în paragraful 4.1. proprietățile de autocorelație și intercorelație sunt ambele importante în unele aplicații ca de exemplu în CDMA. Deoarece funcția de intercorelație dintre perechi de secvențe-M de aceeași perioadă poate avea valori maxime mari au apărut și alte tipuri de secvențe PN, [CHE, DIN].

Astfel secvențe PN cu proprietăți de intercorelație mai bune decât cele ale secvențelor-M au fost găsite de către Gold (1967, 1968) și de către Kasami (1966). Secvențele Gold și Kasami sunt derivate din secvențele-M.

Secvențele Gold

Secvențele Gold sunt un set de secvențe bune care găsesc un compromis între autocorelație și intercorelație. Codurile Gold pot fi generate printr-o adunare modulo 2 a două secvențe de lungime maximă care au aceeași lungime. Pentru a defini un set de coduri Gold se utilizează un set de secvențe-M numite secvențe preferate, a căror funcție de autocorelație ia trei valori.

Pentru o pereche de secvențe preferate $a = [a_1 a_2 a_3 \dots a_N]$ și $b = [b_1 b_2 b_3 \dots b_N]$ se construiește un set de secvențe care au lungimea N , prin adunarea modulo 2 a secvenței a cu versiunea permutată ciclic a lui b . Vor rezulta N noi secvențe periodice de perioadă $N = 2^m - 1$. Dacă includem și cele două secvențe originale vor fi în total $N + 2$ secvențe numite secvențe Gold.

Un set de secvențe Gold constă în $N+2$ secvențe de cod a căror intercorelații sunt din setul $\{-1/N, -t(m)/N, (t(m)-2)/N\}$

$$\text{unde } t(m) = 1 + 2^{\lfloor (m+2)/2 \rfloor}. \quad (4.4)$$

Din setul de secvențe cu excepția secvențelor a și b celelalte nu sunt secvențe de perioadă maximă și funcțiile lor de autocorelație nu au doar două valori. Așa cum a arătat Gold (1968) funcția de autocorelație pentru orice pereche din setul de secvențe are aceleași trei valori posibile $\{-1/N, -t(m)/N, (t(m)-2)/N\}$.

Secvențele Kasami

Pentru generarea lor se folosește o procedură asemănătoare cu cea folosită pentru generarea secvențelor Gold. Secvențele Kasami se bazează deci tot pe secvențele PN de perioadă $N = 2^m - 1$ unde m par, rezultând setul de $M = 2^{m/2}$

secvențe binare. Se pornește de la o secvență-M, a , și apoi se formează o secvență b prin selecția tot a celui de-al $2^{m/2}+1$ -lea bit din secvența a .

Un exemplu de obținere a unei secvențe b în cazul unei secvențe a de lungime $N = 15$ biți este prezentat mai jos:

a : 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0

$N = 2^m - 1 = 15 \Rightarrow m = 4$. Va fi selectat tot al $2^{m/2} + 1 = 5$ -lea bit și se obține secvența b :

b : 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0

Un set de secvențe Kasami se obține prin adunarea modulo 2 a secvențelor a cu b și apoi cu toate cele $2^{m/2} - 2$ secvențe binare de lungime $N = 2^m - 1$ obținute prin deplasarea ciclică a secvenței b . Funcțiile de autocorelație și de intercorelație ale acestor secvențe pot avea valorile $\{-1/N, -(2^{m/2}+1)/N, (2^{m/2}-1)/N\}$.

Secvențele Kasami sunt optimale pentru că satisfac limitarea inferioară Welch pentru un set de $2^{m/2}$ secvențe de lungime $N = 2^m - 1$.

4.4. Codurile Hadamard-Walsh (ortogonale)

Codurile Walsh sunt cele mai utilizate coduri ortogonale datorită structurii lor modulare care permite generarea lor ușoară. Ele pot fi construite recursiv pornind de la matricea Hadamard după regula, [AUV, DIN, GLA]:

$$H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{bmatrix}, \quad k = 2, 3, \dots \quad (4.5)$$

$$\text{unde } H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Codurile Walsh au lungimea 2^k , deci numărul de chipuri într-o secvență este limitat la puterile lui 2, adică $N = 2, 4, 8, 16, \dots$

Liniile sau coloanele matricii sunt codurile Hadamard-Walsh pentru că matricea este simetrică.

Aceste linii dau un set de 2^k coduri ortogonale.

Un set este ortogonal dacă și numai dacă:

$$\int c_i(t) \cdot c_j(t) dt = \begin{cases} 0 & \text{pentru orice } i \neq j \\ 1 & \text{pentru } i = j \end{cases} \quad (4.7)$$

Codurile ortogonale de lungime 4 și cele de lungime 8 se obțin din matricile:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \dots \quad (4.8)$$

Aici ortogonalitatea provine din faptul că fiecare pereche de cuvinte din același set au la fel de mulți biți de acord și dezacord. Datorită proprietății de ortogonalitate intercorelația între oricare două secvențe Hadamard-Walsh, din același set, este zero dacă sistemul este perfect sincronizat.

Această afirmație însă poate să nu fie adevărată pentru intercorelația între versiunile întârziate ale secvențelor. Mai mult autocorelația secvențelor setului este slabă.

$$\int c_i(t) c_i(t+\tau) dt \neq 0 \quad (4.9)$$

De exemplu pentru $\tau = T_c$ secvența 1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 are autocorelația -7/8.

4.5. Coduri ortogonale de lungime variabilă

Codurile ortogonale de lungime variabilă au fost proiectate în scopul de a îmbunătăți capacitatea sistemelor de a utiliza rate de bit mari. Domeniul pentru lungimea codului se poate obține în funcție de rata de bit dorită și de lățimea de bandă de împrăștiere a sistemului.

Datorită serviciilor variate de comunicație ratele de bit care sunt necesare variază de la valori mici la valori mari. Banda semnalelor de împrăștiere fiind aceeași pentru toți utilizatorii, factori de împrăștiere (SF) diferiți în canalele fizice sunt necesari la diverse rate de transmisie.

Considerăm că fiecare bit la cea mai mică rată de bit R_{\min} este împrăștiat prin intermediul unui cod de lungime $N = 2^n$. Durata bitului pentru o rată $2R_{\min}$ este jumătate din cea a bitului la rata R_{\min} , deci codul necesar pentru împrăștiere are lungimea $N/2 = 2^{n-1}$. Urmând raționamentul un cod de lungime 2^{n-k} este necesar pentru o rată de $2^k R_{\min}$.

După cum a fost arătat, [DIN], codurile ortogonale de lungime variabilă se generează prin utilizarea unei structuri arbore.

Așa cum se poate observa din figura 4.3. se pornește de la $c_1 = 1$, iar setul de 2^K coduri de împrăștiere poate fi generat la stratul (nivelul) k , cu $k = 1, 2, \dots, K$ din rădăcina arborelui. Codurile generate la un strat (nivel) de la același strat formează un set de coduri Walsh care sunt ortogonale.

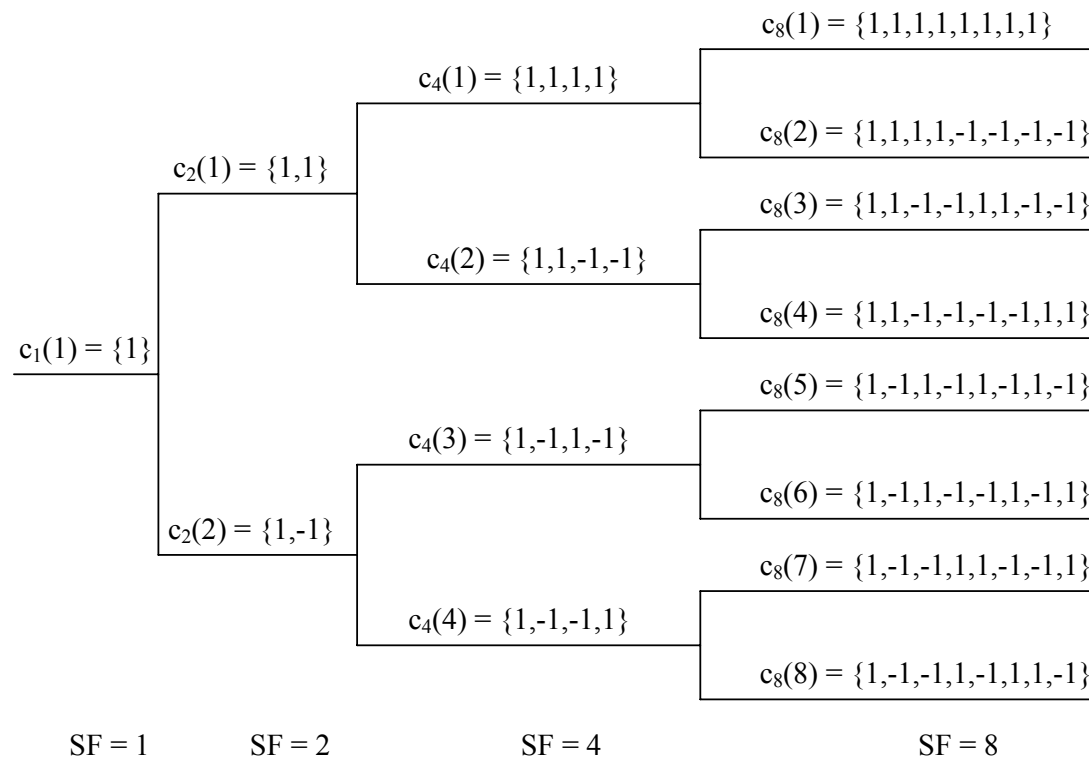


Figura 4.3. Arborele de cod pentru generarea codurilor ortogonale de lungime variabilă

Notând un set de N coduri de împrăștiere, de lungime N chipuri binare, ca o matrice c_N de mărime $N \times N$, aceasta se obține din $c_{N/2}$ după cum se vede mai jos.

$$c_N = \begin{bmatrix} c_N(1) \\ c_N(2) \\ c_N(3) \\ \dots \\ c_N(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{N/2}(1) & \overline{c_{N/2}(1)} \\ c_{N/2}(1) & \overline{c_{N/2}(1)} \\ c_{N/2}(2) & \overline{c_{N/2}(2)} \\ c_{N/2}(2) & \overline{c_{N/2}(2)} \\ \dots & \dots \\ c_{N/2}(N/2) & \overline{c_{N/2}(N/2)} \\ c_{N/2}(N/2) & \overline{c_{N/2}(N/2)} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$c_N(n)$ - este vector linie de N elemente, $N = 2^K$ cu K un întreg pozitiv.

$\overline{c_{N/2}(n)}$ - este un vector linie de $N/2$ elemente și este complementul binar al lui $c_{N/2}(n)$.

Orice două coduri de pe nivele diferite din arbore cu excepția cazului că unul din cele două coduri este mamă a celuilalt sunt ortogonale. Un exemplu este pentru $c_{32}(2)$, $c_{16}(1)$, $c_8(1)$, $c_4(1)$ și $c_2(1)$ care sunt cu toate coduri mamă pentru $c_{64}(3)$ și atunci nu vor fi ortogonale cu $c_{64}(3)$.

Astfel dacă atribuim un cod al unui strat unui utilizator, celorlalți utilizatori din aceeași lățime de bandă care necesită rate mai mici nu putem să le atribuim vreunul din codurile generate din acest cod (provenite de la aceeași rădăcină), pentru a menține ortogonalitatea.

Alegerea tipului de secvență PN de cod se face dintre cele prezentate în cadrul acestui capitol în funcție de aplicație, fiecare având anumite avantaje și dezavantaje. Astfel secvențele M deși sunt ușor de generat nu se folosesc în sistemele cu acces multiplu din cauză că nu au proprietăți bune de intercorelație. Pentru îmbunătățirea acestor proprietăți apar secvențele Gold și Kasami. Secvențele ortogonale, Walsh-Hadamard, pot fi folosite în sistemele CDMA cu spectru împrăștiat.

Bibliografie

[AUV] J. Auvray, „Systemes electroniques – Les Techniques de Multiplexage”, www.ist.jussieu.fr/~auvray/CSE024-multiplexage.pdf

[AYD] N. Aydin, „ Communication Protocols for IDEAS”, nov. 2001, www.see.ed.ac.uk/~SLIg/naydin/rapideas.pdf

[BAN] S. V. Bana, P. Varaiya, „Space Division Multiple Acces (SDMA) for Robust Ad hoc Vehicle Communication Networks”, The IEEE Fourth International Conference On Intelligent Transportation Systems, paleale.eecs.berkeley.edu

[BER] O. Berder, C. Boudier, G. Burel, „Identification of Frequency Hopping Communications”, published by World Scientific Press, 2000, pp. 259-264

[BLA] C. A. Blanis, J. T. Aberle, „Smart Antennas For Future Reconfigurable Wireless Communication Networks”, Telecommunications Research Center Annual Report, oct.1999 – april 2000

[BRU] F. Bruyère, „Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains”, Revue des Télécommunications d'Alcatel-1^{er} trimestre 2002

[CHA] R. Chauhan, “Principles of Spread Spectrum Communication”, www.geocities.com

[CHE] Chi-Chung Chen, K. Yao, E. Biglieri, “Optimal Spread Spectrum Sequences – Construted From Gold Codes”, 2000, www.ee.ucla.edu

[COP] M. Cooper, M. Goldberg „Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple Access”, Annual Review of Communications, pp 999-1002, 1996

[DIN] E. H. Dinan, B. Jabbari, „Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks”, IEEE Communications Magazine, pp 48-54, September 1998

[FKA] J. Fakatselis, "Processing Gain for Direct Sequence Spread Spectrum Communication Systems and PRISM", www.intersil.com

[FIT] J. Fitzsummos, T. Morris, T. Parezanovic, „Spread Spectrum Communications”, <http://murraynewcastle.edu.au>

[GAN] S. P. Gan, „CDMA Detection Guided RAKE Receiver” teză oct.2002

[GLA] J. Glas, „The principles of Spread Spectrum communications”, teza de doctorat, 1996, cas.et.tudelft.nl

[GRE] V. Greu, Al. Șerbănescu, M. Luca, „Selected Pseudo-noise Sequences for Multiple Access in Spread Spectrum Communications Systems”, IEEE International Conference on Telecommunications Romania, București, 2001

[HAF] S. Halunga-Fratu, O. Fratu, D. N. Vizireanu, „Sisteme de comunicație cu acces multiplu cu diviziune în cod (CDMA) – Noțiuni fundamentale. Tehnici de codare”, ETF București, 2000

[HON] M. Honing, U. Madhow, S. Verdu, „Blind Adaptive Multiuser Detection”, IEEE Transactions On Information Theory, vol. 41, No. 4, July 1995

[IPA] V. P. Ipatov, „Spread Spectrum Signals and Systems & CDMA”, 2001, www.physics.utu.fi

[JAC] Witold Jachimczyk, „Spread Spectrum”, www.ece.wpi.edu/courses/ee535/hwklcd95/witek/witek.html

[JUN] P. Jung, „Time Division Multiple Access (TDMA)”, www.uni-duisburg.de

[KIM] Sang W. Kim, W. Stark, „Optimum Rate Reed-Solomon Codes for Frequency-Hopped Spread-Spectrum Multiple-Access Communication Systems”, IEEE –Transaction on Communications, 1989

[MCH] L. B. Michael, M. Nakagawa, “Spread Spectrum Inter-Vehicle Communication Using Sector Antennas”, www.hamradio-online.com

[MEL1] J. Meel, „Spread Spectrum (SS) – applications”, www.sss-mag.com/SS_jme_denayer_appl_print.pdf

[MEL2] J. Meel, „Spread Spectrum (SS) – introduction”, www.sss-mag.com/SS_jme_denayer_intro_print.pdf

[MRZ] E. Mârza, C. Simu, „Comunicații Mobile - Principii și standarde”, Editura de Vest Timișoara, 2003

[NET] C. R. Netherton, “Data Randomizing with Pseudo-Noise Coding Techniques”, www.sss-mag.com

[PAV] A. Pavlovych, „Spread Spectrum in Data Communication”, 2001, www.cs.yorku.ca

[PIC] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, L. B. Milstein, „Theory of Spread-Spectrum Communications – A tutorial”, IEEE Transactions on Communications, vol. Com-30, pp 855-884, May 1982

[PIN] Li Ping, S. Chan, ”Concatenated Hadamard codes for spread spectrum systems”, Electronics Letters 20th November 1997 vol 33 No 24 pp2032-2033 www.ee.cityu.edu.hk

[PRA] R. Prasad, T. Ojanpera, „ An overview of CDMA evolution toward wideband CDMA”, IEEE Communications Surveys, www.comsoc.org/pubs/surveys, Vol. 1, No. 1, Fourth Quarter 1998

[PRO] J. G. Proakis, „Digital Communications”, Ed. McGraw-Hill, 1989

[RAM] J. Ramos, M. D. Zoltowski, H. Liu, „A Low Complexity Space-Time RAKE Receiver for DS-SS Communications”, IEEE Signal Processing Letters, vol. 4, No. 9, pp 262-265, September 1997

[RMW] R. Ramaswami, G. Sasaki, „Multiwavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion”, IEEE Transactions On Networking, vol. 6, No. 6, December 1998

[ROB1] R. Roberts, „All About Correlators”, Spread Spectrum Scene magazine, www.sss-mag.com

[ROB2] R. Roberts, “The ABCs of Spread Spectrum – A Tutorial”, www.sss-mag.com

[ROS] A. Ross, „ The World of CDMA – An Overview of IS95”, www.cdg.org/technology/cdma_technology/a_ross/index.asp

[SCH] M. L. Schiff, “Detecting Pseudo-Noise (PN) Spread Spectrum Signals”, www.sss-mag.com

[SCZ] R. A. Scholtz, „The Origins of Spread-Spectrum Communications”, IEEE Transactions on Communications, vol. Com-30, pp 822-854, May 1982

[SKL] B. Sklar, „Digital Communications - Fundamentals and Applications”, Prentice-Hall, Inc., 1988

[ȘER] Al. Șerbănescu, V. Greu, B. Cristea, „Chaotical Sequences for Multiple Access in Spread Spectrum Communications”, IEEE International Conference on Telecommunications Romania, București, 2001

[TOM] M. Tomizawa, A. Hirano, S. Ishibashi, T. Sakamoto, „International Standardization Activities on Optical Interfaces”, Global Standardization Activities, vol. 1, No. 3, June 2003

[TUR] G. L. Turin, „Introduction to Spread Spectrum Antimultipath Techniques and Their Application to Urban Digital Radio”, IEEE, Vol. 68, No. 3, pp 328-353, March 1980

[VER] S. Verdu, „Multiuser Detection”, in Advances in Detections and Estimation, JAI Press, 1993

[VIT] A. J. Viterbi, „CDMA – Principles of Spread Spectrum Communication”, Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1995

[YIN] H. Yin, H. Liu, „Performance of Space-Division Multiple-Access (SDMA) With Scheduling”, IEEE Transactions On Wireless Communications, vol. 1, No. 4, pp 611-618, October 2002

[*1], „Linear Feedback Shift Registers”, New Wave Instruments, www.newwaveinstruments.com

[*2], Public Safety Radio Frequency Spectrum: A Comparison of Multiple Access Techniques, Nov. 2001, www.pswn.gov/admin/librarydocs9/SIAR_Multiple_Access_Techniques.pdf

[*3], „Direct Sequence vs. Frequency Hopping”, www.omnispread.com/Technology/ds-fh.html

[*4], „Spread Spectrum Technology”, www.wmux.com/company/resource_center/reference.html

[*5], CWDM ITU-G.694.2, www.bayspec.com/pdf/ITU-CWDM.pdf

[*6], Chapter 8 Basic CDMA Concepts, <http://cpk.auc.dk/~tatiana/Courses/Comsys2/chapter8.pdf>

[*7], White Paper „WDM for Cable MSOs-Technical Overview”, Nortel Networks, www.nortelnetworks.com/solutions/cablemso/collateral/nn-104004-0508-03.pdf

[*8], „CWDM Technology, Standards, Economics & Applications”, www.sprintnorthsupply.com/www/pdf/AFC/Reference%20Materials/CWDMprimer.pdf

[*9], „ITU Sets Global Standard for Metro Networks-Standard needed to satisfy the demands of voice, data and multimedia services for low-cost short-haul transport solutions in urban centres”, 13 June 2002, www.itu.int/newsarchive/press_releases/2002/14.html

[*10], „New ITU standards make fat pipes fatter-CWDM spec allows carriers to optimize use of fibre optics”, 5 November 2003, www.itu.int/newsarchive/press_releases/2002/28.html