

# EVOLUȚIA STANDARDIZĂRII ÎN COMUNICAȚII WIRELESS

drnd. ing. Ștefan Mocanu

Universitatea Politehnica – București  
smocanu@rdslink.ro

**Rezumat:** Articolul prezintă aspecte de bază ale comunicațiilor *wireless*, oferind o analiză comparativă a celor mai utilizate standarde, protocoale și tehnici folosite în acest domeniu deosebit de actual, aflat într-o continuă dezvoltare și perfecționare. Sunt abordate aspecte precum caracteristici funcționale, performanțe, adecvanță, scalabilitate. De asemenea, sunt analizate și prezentate, în sinteză, principalele elemente ale standardului IEEE 802.11.

**Cuvinte cheie:** comunicații *wireless*, WLAN, microunde, *multipath fading*, MAC (*Medium Access Control*), CSMA/CD, CSMA/CA, TDMA, spectru larg, FHSS, DSSS

## 1. Introducere

Evoluția comunicațiilor wireless [informații detaliate în 8] s-a realizat în strânsă dependență cu dezvoltarea domeniului rețelelor de comunicație. Conform definiției deja consacrate, o rețea WLAN (*Wireless Local Area Network*) reprezintă un sistem flexibil de comunicații de date, folosit ca extensie sau alternativă a unei rețele LAN (*Local Area Network*) prin cablu, într-o clădire sau grup de clădiri apropiate. Folosind undele electromagnetice, dispozitivele WLAN transmit și primesc date prin aer, eliminând necesitatea existenței cablurilor și transformând rețeaua într-un LAN potențial mobil. Astfel, dacă o firmă posedă o rețea WLAN, mutarea într-un alt sediu nu presupune operații de cablare și găurire a pereților, ci doar mutarea calculatoarelor. Imediat după aceea rețeaua poate fi folosită.

Accesarea informațiilor folosind tehnici și dispozitive de tip *wireless* cunoaște, în acest moment, o dezvoltare fără precedent. Punctul forte al acestei tehnologii este utilizarea sistemelor de acces radio în locul metodei clasice, bazată pe cabluri. Alegerea soluției *wireless* evidențiază și alte avantaje [10]: instalare foarte rapidă, investiție inițială mică și amortizare rapidă a investiției, costuri de întreținere reduse, flexibilitate în administrare, mobilitate și scalabilitate, eliminarea dificultăților care apar atunci când se încearcă utilizarea tehnicilor de cablare în zone greu accesibile (mlaștini, munți) etc.

WLAN-urile folosesc unde electromagnetice din domeniul radio și infraroșu [9]. Primul tip este și cel mai des utilizat, deoarece undele radio trec prin pereți sau alte obiecte solide, în timp ce radiația infraroșu nu poate străpunge obiectele opace și are o rază de acoperire mult mai mică. Totuși, pentru rețele aflate în interiorul unei camere sau în situația în care nu există obstacole ce ar putea bloca undele din domeniul infraroșu, cea de-a doua soluție este frecvent luată în considerare pentru proiectare și implementare.

Rețelele *wireless* oferă o înaltă performanță și flexibilitate pentru conectarea sistemelor de calcul de tip *desktop* și *notebook*, a stațiilor de lucru și a altor dispozitive de rețea. Ele oferă, de asemenea, o alternativă flexibilă și ieftină pentru conectarea mai multor clădiri într-un complex de tip campus sau corporație. Aplicațiile pentru rețele *wireless* includ acces Internet, producție, puncte de vânzare cu amănuntul, domeniul medical, educație și utilizare de uz general la birou.

## 2. Caracteristici funcționale ale sistemelor de comunicație wireless

Peste valoarea de 100 Mhz, undele se propagă în linii drepte, putând fi (din acest motiv) direcționate. Concentrând toată energia într-un fascicol îngust, cu ajutorul unei antene speciale, se va obține o valoare mult mai ridicată a ratei semnal/zgomot. Aceasta impune ca antenele să fie aliniate cu mare precizie în cazul în care se dorește asigurarea unei legături de bună calitate. În plus, deoarece se lucrează cu unde orientate, este posibilă alinierea mai multor transmițătoare care să comunice fără interferențe cu mai multe receptoare.

Microundele [9] au reprezentat pentru mult timp “inima” sistemului telefonic pentru comunicație pe distanțe mari, înainte de apariția fibrelor optice. Spre deosebire de undele radio de joasă frecvență, microundele nu trec bine prin clădiri sau alte obstacole similare. În plus, chiar dacă unda poate fi bine direcționată de la transmițător, apare o divergență în spațiu. Unele unde pot fi refractate de straturile atmosferice joase și pot întârzia mai mult decât undele directe. Undele întârziate pot sosi defazate în raport cu unda directă, anulând, astfel, semnalul. Acest efect, numit atenuare multicală (*multipath fading*) [9], depinde de starea vremii și de frecvență, ceea ce aduce un plus de dificultate în sarcina de a-l contracara. Pentru rezolvarea problemei, unii operatori păstrează ca rezervă (nefolosit) un procent de până la 10% din canalul propriu, realizând o comutare pe acest segment atunci când atenuarea multicală anulează temporar anumite benzi de frecvență. Figura 1 arată cum se manifestă



atenuarea multicală într-o încăpere datorită ciocnirii undelor radio cu pereții și sosirii cu întârziere la destinație. Atenuarea multicală este un fenomen direct proporțional cu distanța dintre transmițător și receptor.

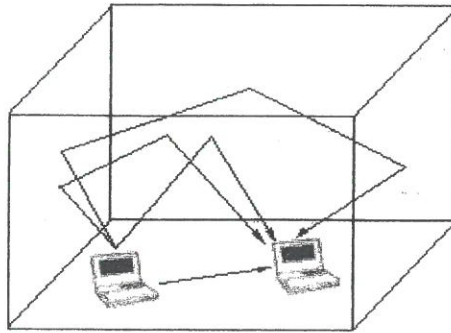


Figura 1 . Atenuare multicală

Cererea de spectre de frecvență din ce în ce mai largi contribuie la îmbunătățirea tehnologiilor, astfel încât, pentru transmisii, se pot folosi frecvențe și mai înalte. Utilizarea unor benzi de frecvență de până la 10 Ghz este acum ceva aproape obișnuit, dar, la aproape 8 Ghz, apare o nouă problemă: absorbția undelor de către apă. Undele au doar câțiva centimetri lungime și sunt absorbite de ploaie. La fel ca și în cazul atenuării multicală, singura soluție ce poate fi folosită este aceea de a întrerupe legăturile în zonele în care plouă, utilizând o altă bandă.

Un avantaj important, oferit de către comunicațiile prin microunde, este costul mic al operației de instalare. Este mult mai ieftin să se instaleze o antenă omnidirecțională, care să acopere o zonă de câțiva km și la care să poată fi conectat practic orice client care se află în zona respectivă, decât să se desfășoare cablu coaxial și/sau fibră optică pentru fiecare dintre aceștia.

O problemă aparte a rețelelor *wireless* (WLAN) este interferența cu undele, parazite sau nu, emise de diverse dispozitive (motoare electrice, cuptoare cu microunde etc.). Dacă marea majoritate a sistemelor *wireless* (telefonie celulară, comunicații în domeniul militar etc.) sunt create pentru benzi radio dedicate, deci nu sunt afectate de interferențe în banda în care funcționează, în cazul rețelelor WLAN, situația este diferită. Aceste rețele funcționează în banda nelicențiată de 2,4GHz, motiv pentru care interacțiunea cu alte sisteme (între care se pot afla și alte rețele WLAN) nu poate fi evitată. Atunci când raportul dintre semnal și zgomot este mic, rezultatul unei astfel de interacțiuni nedorite este coruperea pachetelor vehiculate prin rețea.

Ca o concluzie a aspectelor prezentate în cadrul acestei secțiuni, se poate afirma că, în comparație cu sistemele de telefonie fără fir, cele mai multe sisteme WLAN funcționează foarte bine chiar și în medii cu interferențe. Cu toate acestea, trebuie reținut faptul că interferențele au drept consecință o anumită reducere a performanțelor.

### 3. Standardul IEEE - 802.11

O dată cu dezvoltarea sistemelor de calcul mobile, necesitatea utilizării rețelor de tip *wireless* a devenit din ce în ce mai stringentă. Cu toate că, la prima vedere, principala utilitate a WLAN-urilor constă în posibilitatea interconectării facile a unui echipament mobil (*laptop, palm-top*), practica a demonstrat utilitatea WLAN-urilor și în cazul echipamentelor fixe (*desktop, imprimantă* etc.). Datorită acestui fapt, IEEE a decis crearea unui grup de lucru dedicat elaborării unui standard pentru comunicații *wireless*, în care să se abordeze atât aspecte legate de nivelul fizic (*Physical Layer*), cât și aspecte legate de nivelul de control al accesului la mediu (*Medium Access Control*).

#### 3.1. Protocoale incluse în standardul 802.11 pentru nivelul MAC (Medium Access Control)

Standardul 802.11 oferă specificații atât pentru nivelul fizic, cât și pentru nivelul de control al accesului la mediu.

Nivelul fizic este cel care se ocupă efectiv de transmiterea datelor între stații și poate folosi diverse tipuri de modulație, care vor fi prezentate în cadrul secțiunii 4. Standardul 802.11 face referiri la viteze de 1 Mbps și 2 Mbps și operarea în banda de frecvență de 2.4 – 2.4835 GHz (în cazul transmisiei în spectru larg) sau banda 300 – 428,000 GHz (pentru transmisii în infraroșu). Datorită modului de transmisie și a modului în care trebuie aliniată (perfect) stația de emisie cu cea de recepție, comunicațiile în infraroșu sunt considerate mai sigure în sensul că sunt mult mai greu de interceptat decât undele radio (care pot penetra pereții sau alte obstacole).



Nivelul MAC (*Medium Access Control*) [5][9] este reprezentat de un set de protocoale care asigură păstrarea ordinii în cazul folosirii unui mediu partajat, utilizând un mecanism de acces la canal. Mecanismul de acces la canal este o metodă de gestionare a utilizării resurselor și reprezintă nucleul nivelului MAC. Standardul 802.11 se bazează pe o variantă a protocolului CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), care înseamnă, într-o traducere aproximativă din limba engleză, “acces multiplu, bazat pe sensul purtătoarei, cu detecția coliziunilor”.

“Sensul purtătoarei” arată faptul că stația ascultă înainte de a transmite. Dacă există, deja, o altă stație care transmite, stația curentă își amână transmisia, realizând-o mai târziu, când nici o altă stație nu mai transmite. Protocolul se conformează regulii “primul venit - primul servit”. Totuși, dacă două stații reușesc să transmită exact în același timp, informația va fi pierdută. Într-o astfel de situație se aplică “detecția coliziunilor”. Stația care a transmis așteaptă confirmarea că datele au ajuns cu bine la destinație, fără coliziuni. Atunci când confirmarea nu sosește, stația așteaptă și reinițiază transmisia la un moment de timp ulterior. Perioada de așteptare este determinată de un algoritm de revenire.

Tehnica descrisă funcționează foarte bine în cazul rețelelor cablate, topologiile *wireless* pot genera însă probleme. Un exemplu în acest sens este oferit de așa-numită “Problemă a nodului ascuns”, ilustrată de figura 2. Datorită limitărilor tehnologice legate de aria de acoperire a stației de emisie/recepție, nodul A nu “vede” nodul C. Din acest motiv, dacă nodul C transmite, nodul A nu va ști acest lucru și va transmite la rândul său, ceea ce conduce la apariția coliziunilor.

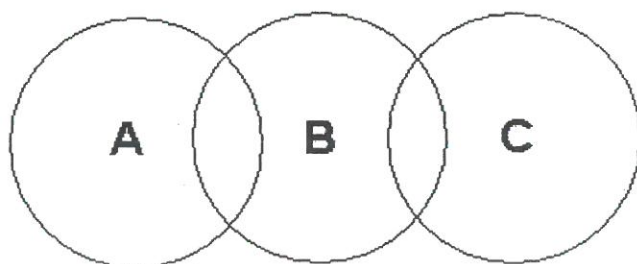


Figura 2 . Problema nodului ascuns

Rezolvarea problemei se realizează prin utilizarea protocolului CSMA/CA (*CSMA with Collision Avoidance*) care permite evitarea coliziunilor. În cazul protocolului CSMA/CA [3], înainte de a transmite, o stație trebuie să verifice mai întâi, dacă nu există o altă stație care transmite în acel moment. În caz afirmativ, stația trece în așteptare pentru o perioadă de timp aleatoare. Deoarece probabilitatea ca două stații să aleagă aceeași durată de timp de așteptare este practic nulă, se poate considera că alegerea aleatoare asigură în mod satisfăcător evitarea coliziunilor. După încheierea perioadei de așteptare, dacă se constată că nu mai există nici o stație în curs de realizare a transmisiei, stația va transmite un scurt mesaj de tip **Ready To Send** (“pregătit pentru transmisie”). Acest mesaj conține adresa stației destinație și durata necesară realizării transmisiei, informând celelalte stații cât trebuie să aștepte înainte de a putea transmite, la rândul lor. Stația destinație răspunde cu un mesaj **Clear To Send** (“liber pentru transmisie”) care indică sursei că poate transmite fără nici un pericol de coliziunie. Primirea fiecărui pachet de date este confirmată. Dacă nu a fost făcută confirmarea, datele sunt retransmise.

Pe lângă mecanismele de acces la canal descrise anterior, pot fi menționate și alte mecanisme ce pot fi folosite în cazul sistemelor de comunicație *wireless*.

Unul din acestea este TDMA (*Time Division Multiple Access* - acces multiplu prin divizarea timpului), indicat în cazul telefoniei fără fir (tip de aplicații previzibile, cu viteză invariabilă). Spre deosebire de CSMA/CA, TDMA [10] garantează lățimea de bandă, dar nu este indicat pentru aplicații tip rețea deoarece este foarte strict și inflexibil. IP (*Internet Protocol*) [4] nu este orientat pe conexiune, iar traficul se poate desfășura în rafale, ceea ce imprimă un caracter impredictibil. TDMA este orientat pe conexiune, utilizează pachete de dimensiune fixă și legături, de obicei, simetrice, ceea ce contravine în mare măsură cu IP, unde pachetele au dimensiune variabilă. TDMA depinde în foarte mare măsură de calitatea benzii de frecvență. Într-o bandă dedicată, așa cum este cazul standardului pentru telefonie celulară, TDMA funcționează foarte bine. Pentru că este inflexibil, și nu se ocupă de ceea ce se întâmplă efectiv pe canal, TDMA nu este adecvat pentru aplicații de tip rețea.

Un alt mecanism de acces la canal, situat între TDMA și CSMA/CA, este mecanismul de acces prin sondaj. În acest caz, stația-bază are control total asupra canalului, dar conținutul cadrului nu mai este fix, ceea ce permite circulația pachetelor cu dimensiune variabilă. Stația-bază transmite un pachet specific pentru a iniția transmisia stației-client. Clientul așteaptă recepția pachetului de la stația-bază și abia după recepția acestuia începe să



transmită. Mecanismul descris poate fi implementat ca un serviciu orientat pe conexiune (similar cu TDMA, dar cu o mai mare flexibilitate în ceea ce privește dimensiunea pachetelor) sau ca un serviciu neorientat pe conexiune. Se poate opta pentru varianta în care stația-bază sondează toate nodurile din rețea doar pentru a verifica, dacă acestea au ceva de transmis (lucru acceptabil numai dacă stațiile client nu sunt în număr foarte mare), sau se poate implementa un mecanism prin care însuși clientul să ceară o conexiune.

Datorită caracteristicilor și avantajelor prezentate în cadrul acestei secțiuni, protocolul CSMA/CA este folosit, în prezent, în cadrul celor mai multe rețele de comunicație de tip *wireless*.

### 3.2. Caracteristici ale nivelului MAC (Medium Access Control)

Spre deosebire de Ethernet, standardul 802.11 se bazează pe subnivelul MAC pentru a gestiona operațiile de confirmare și retransmisie, asigurând o mult mai bună gestiune a lățimii de bandă. Standardul impune ca, între cadrele de date, să fie lasată o pauză de 50 de microsecunde, iar receptorul să trimită confirmarea primirii la 10 microsecunde după ce a verificat SCC-ul mesajului (SCC - Secvență de Control Cadru - secvență de verificare ciclică), în acest fel asigurându-se ocuparea frecvenței de către destinatar, imediat după recepționarea mesajului, și evitându-se competiția cu alte stații. Nivelul MAC al standardului 802.11 oferă și alte facilități:

- *protecție* împotriva stațiilor ascunse: este o problemă specifică mediilor wireless. În cazul în care stația A și stația B nu se "văd" din cauza distanței, dar sunt în legătură cu o aceeași stație bază, pot să apară probleme legate de competiția la mediul de transmisie. Standardul 802.11 include posibilitatea unei interogări tip RTS/CTS (request to send/clear to send) [3];
- *fragmentare*: datorită caracteristicilor mediului, unele stații pot comunica mai ușor între ele folosind cadre de dimensiuni mici. Pentru acest caz, standardul 802.11 prevede posibilitatea fragmentării mesajelor, fragmentare controlată pe baza unui câmp special al cadrului de date;
- *roaming*: fiecare stație bază este obligată să transmită un semnal tip baliză, în care să specifice caracteristicile de funcționare. Stațiile utilizator (clienții) pot calcula, pe baza acestui semnal, cu care din punctele de acces este mai bine să comunice. În acest fel se asigură o conectivitate în care clienții își pot alege punctul de acces optim pentru zona în care se află. În plus, la trecerea dintr-o celulă în alta, comunicația nu se pierde [3];
- *autentificare și comunicare privată*: autentificarea clienților se poate face pe bază de cheie publică sau în orice sistem proprietar. Criptarea datelor se poate face opțional, pe baza algoritmului RC4 PRNG, cu o cheie de criptare de 40 de biți.

## 4. Tehnici de comunicație wireless în spectru larg în banda 2,4 Ghz

Nivelul fizic, specificat de standardul 802.11, este reprezentat de modemul *wireless*, care realizează efectiv transmiterea și recepția datelor.

În prezent, utilizarea spectrului radio este reglementată de autorități abilitate, cum sunt, de exemplu FCC (*Federal Communications Commission* - Comisia Federală pentru Comunicații) în America de Nord și ETSI (*European Telecommunications Standards Institute* - Institutul European pentru Standarde în Telecomunicații) în Europa. Aceste autorități alocă spații pentru fiecare frecvență radio: pentru TV și posturi radio comerciale, pentru operatorii de telecomunicații, pentru armată etc. De obicei, pentru a folosi o bandă de frecvență, se negociază cu una dintre autorități, se înregistrează arhitectura și se cumpără dreptul de utilizare a frecvenței. Luând în considerare perspectivele comunicațiilor radio locale pentru diverși utilizatori, autoritățile menționate anterior au alocat niște benzi de frecvență specifice, care pot fi utilizate într-o manieră mai flexibilă. Cele mai vechi și mai utilizate de benzi de frecvență sunt cele de 900 MHz și 2,5 GHz, cunoscute sub numele de *benzi de frecvență ISM (Industrial, Științific și Medical)*, și care nu sunt licențiate, adică pot fi folosite fără ca utilizatorii să fie nevoiți să se înregistreze sau plătească ceva autorităților abilitate. Totuși, există niște reguli cărora trebuie să li se conformeze produsele ce emit/recepționează date în benzi de frecvență ISM. Regulile stabilite impun utilizarea spectrului larg și a unui anumit mod de definire a canalelor, care să permită o bună coexistență pentru sisteme de tip diferit.

Regulile referitoare la spectrul împrăștiat impun sistemelor care folosesc *Secvența Directă* (detalii în secțiunea 4.1) să împrăștie semnalul de cel puțin 11 ori, iar celor care folosesc *Saltul în Frecvență* să staționeze pe un canal maxim 0,4 secunde și să folosească cel puțin 75 de canale pe o perioadă de 30 secunde.

Puterea de emisie este și ea supusă unor restricții care variază de la caz la caz. Astfel, FCC permite o putere de maximum 1W în benzile de 900MHz și 2,4 GHz, în timp ce ETSI permite o putere de 100mW în banda de 2,4 GHz. În Europa, banda de 900MHz este alocată telefoniei celulare. Banda de 2,4GHz este disponibilă în toată lumea, majoritatea reglementărilor (locale) fiind compatibile. Deși banda de 2,4 GHz este liberă, pot să apară și



neplăceri cauzate de undă parazitate și interferențe (în special, de cele provocate de dispozitive care emit într-o bandă de frecvență apropiată sau, în cazul cuptoarelor cu microunde, chiar în banda respectivă).

În cadrul nivelului fizic, se utilizează două tipuri de transmisie în spectru larg, *Spectrul larg (sau împrăștiat)* este o tehnică dezvoltată inițial de armată, din motive de securitate a transmisiilor, ce pune accentul pe fiabilitate în detrimentul lățimii de bandă. Scopul principal este folosirea unei lățimi de bandă mai mari decât ar avea nevoie sistemul pentru a reduce impactul interferențelor localizate (frecvențe nedorite). Spectrul larg nu permite ca un sistem să ocupe întreaga lățime de bandă, dar, în același timp, forțează sistemele independente să împartă lățimea de bandă (într-o manieră corectă). După cum s-a menționat deja, în banda de 2,4 GHz toate sistemele trebuie să folosească tehnici din spectrul împrăștiat: *Secvența Directă* și *Saltul în Frecvență*. În standardul 802.11, există și prevederi legate de nivelul fizic, reprezentat de infraroșu, dar utilizarea pe scară foarte mică a acestuia în practică nu recomandă tratarea sa *in extenso* în cadrul prezentei lucrări.

#### 4.1. Secvența Directă - SD

Numele complet al tehnicii este Spectru Împrăștiat cu Secvență Directă (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) [9][11][6].

Principiul Secvenței Directe (SD) este de a împrăștia semnalul pe o bandă mai largă prin multiplexarea cu o semnătură (un cod), în scopul minimizării interferențelor și zgomotelor. Sistemul funcționează pe un canal fix. Pentru împrăștierea semnalului, fiecare bit din pachetul ce urmează a fi transmis este modulat cu ajutorul unui cod (un model repetitiv). La recepție, semnalul original este reconstituit receptând întregul canal și demodulând cu ajutorul aceluiași cod. Pentru o rată a semnalului de 2MB/s, prin modularea cu un cod de 11 tacte rezultă un semnal împrăștiat pe o lățime de bandă de 22MHz. Orice interferență de bandă îngustă va apare ca fiind mult mai slabă pentru un sistem cu Secvență Directă pentru că utilizează o foarte mică parte din lățimea totală de bandă. Mai mult decât atât, demodulatorul (care este modemul receptor) folosește același cod ca și modulatorul (modemul transmițător), ceea ce reduce și mai mult semnalele nemodulate cu codul impus. Codul de 11 tacte, folosit în standardul 802.11, oferă teoretic un câștig de 10dB.

Secvența Directă stă la baza tehnicii folosite în telefonía celulară - acces multiplu prin divizarea codului (Code Division Multiple Access - CDMA). Pentru CDMA, fiecărui canal îi este alocat un cod diferit, astfel că este posibilă recuperarea canalului folosind codul acestuia. Singura problemă este că zgomotul este proporțional cu numărul de canale. În plus, configurația rețelei trebuie să fie de tip stea, ceea ce nu este convenabil pentru rețelele de tip WLAN.

Împrăștierea cu cod produce o modulare rapidă, motiv pentru care modemurile SD sunt complicate și necesită circuite rapide. Pe de altă parte, faptul că există un singur canal (spre deosebire de Saltul în Frecvență) și acela este fix, ușurează sarcina nivelului superior (MAC).

Întrucât folosește un canal mare, un sistem SD are la dispoziție doar câteva canale disponibile în întreaga lățime de bandă. Aceste canale sunt complet separate și nu generează nici un fel de interferențe unul asupra celuilalt. Standardul 802.11 suportă folosirea a două metode de modulare pentru SD:

- modularea DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) [2], în care un bit poate fi reprezentat de una din două faze posibile – pentru viteza de transmisie a datelor de 1 Mbps;
- modularea DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) [2], în care perechi de biți sunt reprezentați de una din patru faze posibile - pentru viteza de transmisie a datelor de 2 Mbps.

#### 4.2. Salt în Frecvență -SF

Numele complet al tehnicii este Spectru Împrăștiat cu Salt în Frecvență (*Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS*) [9][6].

*Saltul în frecvență (SF)* folosește un set de canale înguste, pe care le parcurge în ordine. De exemplu, banda ISM de 2,4 GHz este împărțită în 79 de canale de 1MHz. Periodic, sistemul "sare" într-un canal nou, urmărind un model de salt ciclic predeterminat. Perioada de timp este cuprinsă de obicei între 20 ms și 400 ms.

Sistemul evită interferențele prin faptul că nu staționează niciodată pe un canal. În situația în care canalul nu este bun, sistemul va aștepta găsirea primului canal valid. Întrucât modelul de salt forțează întreaga rețea să parcurgă întreaga lățime de bandă disponibilă, sistemul face practic o mediere în timp a efectului canalelor necorespunzătoare. Din acest motiv, se poate aprecia că *Saltul în Frecvență* are un ușor avantaj asupra *Secvenței Directe*. În cazul particular al unei interferențe de bandă îngustă puternice, *Saltul în Frecvență* poate pierde câțiva pași (din cauza canalelor necorespunzătoare), dar și poate câștiga câțiva pași – acolo unde canalele sunt valide. Pe de altă parte, dacă zgomotul este mai puternic decât semnalul primit, *Secvența Directă* întâmpină probleme.



*Saltul în frecvență* implică mai multe complicații la nivelul superior (MAC): căutarea întregii rețele la inițializare, sincronizarea nodurilor, gestionarea salturilor în frecvență. Acest plus de complexitate la nivelul MAC poate duce la scăderea performanțelor întrucât, pe perioada salturilor, se introduc timpi morți în transmisie.

Prin folosirea tehnicii de *Salt în Frecvență*, prin realizarea unor modele de salt diferite, se pot construi într-o aceeași zonă mai multe sisteme decât în cazul folosirii *Secvenței Directe*. Din păcate, acest artificiu conduce, în mod inevitabil, la provocarea periodică de coliziuni între sistemele de pe aceleași frecvențe sau de pe frecvențe adiacente.

Făcând un succint sumar al principalelor caracteristici și avantaje oferite de către metoda de *Salt în Frecvență* se pot enumera drept importante următoarele aspecte:

- lățime de bandă de 1 MHz (în banda de 2,4 GHz) ;
- 79 de canale pe care se poate efectua saltul în frecvență;
- putere de emisie de 100 mW;
- rată atinsă de cel puțin 1 Mbps;
- operare pe mai multe canale;
- rată de transmisie variabilă;
- distanța minimă de salt de 6 canale;
- posibilitate de a găzdui, simultan, 15 rețele bazate pe această tehnologie, în condiții de încărcare maximă;
- modularea folosită: *FSK (Frequency Shift Keying)* datorită nu numai costurilor scăzute pe care aceasta le implică, ci și datorită operării facile. Se folosesc două versiuni de FSK, ambele cunoscute sub numele de *GFSK (Gaussian FSK)*. Numele se datorează faptului că datele sunt trecute printr-un filtru "trece-jos" gaussian, înainte de a fi modulate în frecvență. *GFSK* operează la viteze de 1 Mbps în varianta de nivel 2 și de 2 Mbps în varianta de nivel 4. Această metodă modulează perechi de biți într-o frecvență diferită din patru.

## 5. Concluzii

Până în prezent, nimeni nu a putut aduce argumente decisive în favoarea folosirii cu predilecție a uneia sau alteia dintre tehnicile de *Spectru Împrăștiat* prezentate în cadrul secțiunii 4. Compararea produselor finite nu relevă aspecte importante, deoarece performanțele unui sistem depind de toate componentele sale (protocolul MAC, viteza de lucru etc.) și de metoda de optimizare aleasă, mai exact, de compromisuri de tipul performanță - fiabilitate și siguranță - cost.

Din punctul de vedere al complexității, modemurile SD sunt mai complicate decât modemurile SF, dar nivelul MAC al SD este mai simplu decât în cazul SF. Creșterea puterii de calcul a sistemelor actuale face ca implementarea de funcționalități la nivelul MAC, impuse de *Saltul în Frecvență*, să fie din ce în ce mai simplă. Din aceleași motive, costurile legate de construirea unui sistem bazat pe *Salt în Frecvență* se reduc.

Deoarece argumentele de ordin tehnic nu sunt suficient de convingătoare pentru o departajare clară a celor două tehnici, alegerea uneia dintre ele este dictată, de cele mai multe ori, de către argumente de ordin financiar. Cum tehnica *Saltului în Frecvență* impune, în general, costuri mai reduse, majoritatea producătorilor de sisteme *wireless* aleg aceasta variantă.

## Bibliografie

1. \*\*\* - IEEE 802.11 and 802.11b Technology, documentație Internet.
2. BOER, J. – Direct Sequence Spread Spectrum Physical Layer Specification IEEE 802.11, doc. IEEE P802.11-96/49E, documentație Internet.
3. BRENNER, P. – A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol, documentație Internet, [www.sss-mag.com/pdf/802\\_11tut.pdf](http://www.sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf)
4. IRVINE, J. , D. Harle – Data Communications and Networks, Ed. Wiley, Anglia, 2002.
5. LOUGH, D.L., T.K. BLANKENSHIP, K. J. KRIZMAN – A Short Tutorial on Wireless LANs and IEEE 802.11, Institutul Politehnic Bradley – Virginia.
6. MEEL, J. – Spread Spectrum (SS) applications, © Institutul DE NAYER, documentație Internet, [www.denayer.be](http://www.denayer.be)
7. MILLER, S.L. – Wireless Communication Systems, note de curs , [ee.tamu.edu/~smiller](http://ee.tamu.edu/~smiller)
8. MOCANU, Șt. – Transmiterea datelor pe canale wireless, referat doctorat 2002, AII-215-03.

9. **PREM, E.C.** – Wireless Local Area Networks, documentație Internet, [www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/wireless-lans/index.html](http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/wireless-lans/index.html)
10. **ȘERBĂNESCU, D.** - Rețele wireless: secrete mici, efecte mari, PC Magazine România, Iunie 2002
11. **TOURRILHES, J.** – Wireless Overview – A bit more about the technologies involved, [www.hpl.hp.com/personal/Jean\\_Tourrilhes/Linux/Linux.Wireless.Overview.html](http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Linux.Wireless.Overview.html)