

Capitolul 9

Rețele locale fără fire (WLAN, Wireless LAN - ANSI/IEEE Std 802.11)

9.1 Descriere generală

9.1.1 Deosebiri față de rețelele locale cu fire

În WLAN unitatea adresabilă este o stație (STA), destinație a mesajului și care, în general, nu este o locație fixă.

Nivelul fizic este diferit față de cel al rețelelor cu fire:

- utilizează un mediu de transmisiune care nu are margini absolute, dincolo de care traneivererele n-ar fi capabile să recepționeze;
- nu este protejat împotriva unor semnale externe;
- comunicația se desfășoară pe un mediu mult mai puțin fiabil decât cel cu fire;
- are topologii dinamice;
- lipsa unei conectivități totale (nu orice stație poate "auzi" oricare altă stație);
- are proprietăți de propagare variabile în timp și asimetrice.

Stațiile pot fi mobile (accesază LAN în mișcare) sau portabile (deplasabile de la o locație la alta, dar utilizabile numai la locații fixe), dar efectele propagării estompează distincția dintre ele, chiar și stațiile staționare apărând adesea ca fiind mobile din cauza acelorași efecte ale propagării. Managementul alimentării stațiilor mobile reprezintă un aspect important în conservarea bateriilor de alimentare și, ca urmare, receptorul unei stații mobile nu va fi întotdeauna alimentat, capabil să recepționeze.

Aceste rețele trebuie să apară pentru nivelele superioare ca oricare altă rețea locală și, pentru aceasta, nivelul legătură de date este compus din cele două subnivele, LLC și MAC, subnivelul MAC având însă o funcționalitate specifică mediului de transmisiune.

9.1.2 Componentele rețelei

Setul serviciului de bază (BSS - Basic Service Set)

Din cauza limitărilor privind nivelul fizic (acoperire radio), rețelele fără fir care trebuie să acopere distanțe geografice rezonabile pot fi compuse din blocuri de bază. Blocul de bază este numit setul serviciului de bază (BSS). În figura 1 sunt prezentate două BSS, compuse fiecare din două stații, forma ovală indicând, simbolic, aria acoperită, în care stațiile membre ale BSS pot rămâne în comunicație. Dacă o stație iese din această arie, ea nu mai poate comunica cu celelalte stații membre ale aceluiași BSS.

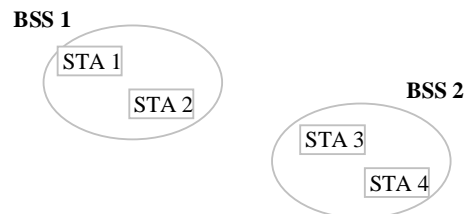


Fig. 1 Seturile serviciului de bază

Un **BSS independent** (IBSS - Independent BSS) reprezintă cel mai semnificativ tip de bază al rețelei IEEE 802.11. O rețea IEEE 802.11 minimă poate fi formată din numai două stații. În figura 1 sunt prezentate două IBSS. Deoarece acest tip de rețea IEEE 802.11 se formează adesea fără o planificare, numai pentru un interval de timp cât este necesară, mai este numită **rețea ad hoc**. Asocierea dintre o STA și un BSS este dinamică: stația poate fi alimentată, nealimentată, poate ieși din aria de acoperire BSS sau poate intra în această arie. Pentru ca o stație să devină membru al unei infrastructuri BSS, ea trebuie să devină "asociată". Această asociere este dinamică și implică utilizarea serviciului sistemului de distribuie (DSS - Distribution System Service).

Sistemul de distribuie (DS)

Pentru unele rețele comunicația directă stație - stație nu este posibilă din cauza distanței. În aceste cazuri un BSS, în loc să fie independent, poate fi o componentă a unei rețele extinse, formată din mai multe BSS, elementul utilizat pentru a le interconecta fiind numit sistem de distribuie (figura 2).

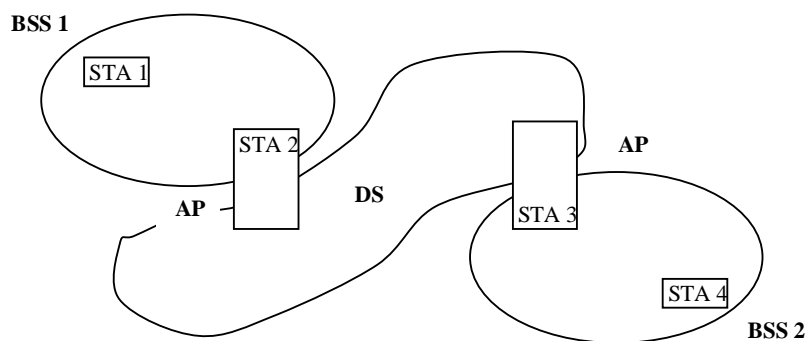


Fig. 2 Sisteme de distribuie și puncte de acces

Sistemul de distribuie furnizează serviciile logice necesare integrării mai multor BSS. Un punct de acces (AP - Acces point) este o stație care asigură accesul la DS, furnizând serviciile DS și funcționând și ca o stație. Datele sunt transferate între un BSS și un DS prin intermediul unui AP. Toate punctele de acces (AP) sunt, de asemenea, stații (STA), deci ele sunt entități adresabile.

Un DS și mai multe BSS formează o rețea fără fire, de mărime și complexitate arbitrară. O astfel de rețea este numită **setul serviciului extins** (ESS - Extended Service Set). Un concept important este că o rețea ESS este văzută de subnivelul LLC la fel cum este văzută o rețea IBSS. Stațiile din cadrul unei rețele ESS pot comunica și stațiile mobile se pot deplasa de la un BSS la altul (în aceeași rețea ESS) în mod transparent față de LLC.

În standardul IEEE 802.11 nu se menționează nimic în legătură cu locațiile fizice relative ale BSS - urilor (ele se pot suprapune parțial, pot fi disjuncte, distanțele între BSS - uri nu sunt limitate).

Integrarea cu celelalte rețele locale (cu fire)

Pentru conectarea cu alte tipuri de rețele locale (cu fire) este utilizat un portal, componentă logică arhitecturală reprezentând punctul logic prin care unitățile de date ale serviciului MAC dintr-o rețea locală cu fire sunt transferate în arhitectura IEEE 802.11 (în sistemul de distribuie) și invers (figura 3). Este posibil ca un echipament să funcționeze

simultan ca un AP și ca un portal; acesta poate fi cazul când un DS este implementat din componentele LAN IEEE 802. Portalul interconectează mediul de transmisiune al sistemului de distribuie și cel al LAN cu fire.

Standardul nu prezintă modul de implementare a sistemului de distribuie, în schimb specifică serviciile sale și ale stațiilor, servicii utilizate de subnivelul MAC.

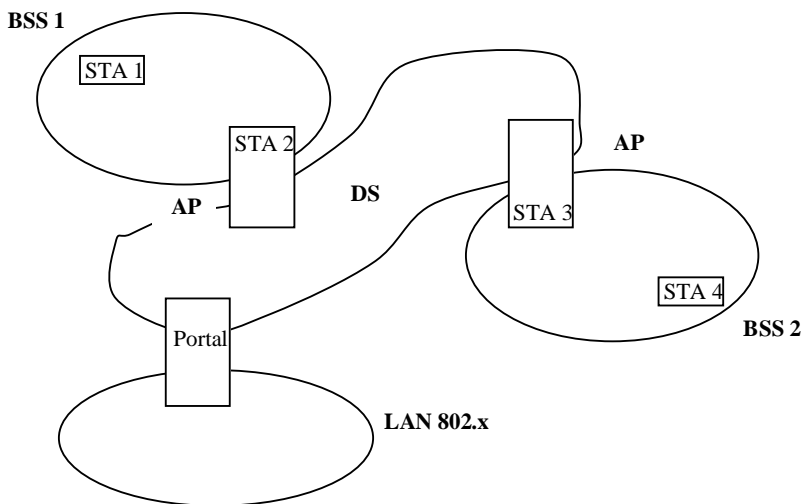


Fig. 3 Conectarea la alte tipuri de rețele LAN

9.1.3 Servicii

Setul serviciilor arhitecturale este împărțit în două categorii: serviciile stațiilor și serviciile sistemului de distribuie. Scopul principal al subnivelului MAC este de a transfera unitățile de date ale serviciului MAC (MSDU) între entitățile subnivelului MAC din diferitele stații. Pentru ca sistemul de distribuie să-și îndeplinească rolul el are nevoie de informație furnizată prin serviciile de asociere. Înainte ca un mesaj să fie dirijat (manevrat) de sistemul de distribuie o stație trebuie să fie "asociată". Înțelegerea conceptului de asociere implică înțelegerea conceptului de mobilitate, care poate fi de mai multe tipuri, corespunzătoare tipurilor de tranziții ale stațiilor.

Tipuri de mobilitate (tranziții):

a) **fără tranziție** (fără mișcare sau cu mișcare locală în aria de serviciu a unui BSS).

b) **tranziție BSS**, corespunzătoare deplasării stației dintr-un BSS în altul, în cadrul aceluiasi ESS. În această mișcare stația compară raportul semnal/zgomot al fiecărui punct de acces și selectează unul dintre ele. Transferul de la un AP la altul este realizat de DS, mesajele fiind transmise spre noul AP de către vechiul AP, ca urmare a semnalării primite de la DS privind noua locație a stației.

c) **tranziție ESS**, corespunzătoare deplasării stației dintr-un BSS aparținând unui ESS, într-un alt BSS, aparținându-i altui ESS. Această tranziție nu este asigurată de IEEE 802.11, transferul putând fi realizat de nivelele superioare, o soluție fiind, spre exemplu, IP mobil. În varianta IPv4, atunci când o stație își schimbă ESS (iese din aria de acoperire a unui ESS), ea primește o adresă IP nouă, temporară, pe care o semnalează agentului de

"acasă" (HA - home agent). HA este agent localizat în rețeaua de acasă, căreia îi aparține adresa IP permanentă a stației. Mesajele (pachetele IP) transmise de un corespondent, o gazdă oarecare în Internet, unei gazde mobile, ajung în rețeaua căreia îi aparține adresa permanentă a acesteia și, dacă stația destinatară este plecată din rețea, HA trebuie să capteze aceste pachete și să le transmită agentului străin, din rețeaua căreia îi aparține adresa IP temporară, care le va livra, prin nivelul 2, stației mobile destinate. În varianta IPv6, datorită spațiului mult mai larg de adrese, pachetele nu mai sunt transmise către HA ci direct, după asociere, stației destinate.

Fiecărui tip de mobilitate îi corespunde un serviciu de asociere specific.

Serviciile sistemului de distribuire

Serviciile sistemului de distribuire pot fi clasificate în (1) servicii de distribuire a mesajelor și (2) servicii de administrare.

1) Servicii de distribuire a mesajelor

- **Distribuie** - este serviciul prin care mesajele sunt distribuite de către DS. Standardul nu specifică cum sunt distribuite mesajele, dar specifică cum trebuie să obțină DS informația necesară pentru a determina "ieșirea" (AP) spre destinația mesajelor. Această informație este furnizată de serviciile de administrare (asociere, reasociere și dezasociere).

- **Integrare** - este serviciul prin care DS manevrează mesajele dinspre sau înspre un portal (interfața dintre un DS și o rețea LAN integrată).

2) Servicii de administrare

- **Asociere** - Pentru a livra un mesaj în cadrul DS trebuie cunoscut punctul de acces către stația destinatară. Informația necesară este furnizată sistemului de distribuire prin serviciul de asociere. Înainte ca o stație să transmită un mesaj printr-un punct de acces, ea trebuie să devină asociată acelui punct și DS va folosi această informație de corespondență pentru a-și realiza serviciul de distribuire. O stație poate fi asociată unui singur AP, iar un AP poate fi asociat cu mai multe stații în același timp. O stație inițiază asocierea după ce descoperă un AP.

- **Reasociere** - Acest serviciu este solicitat de o stație pentru a schimba asocierea de la un AP la un alt AP, când stația se deplasează de la un BSS la alt BSS, în cadrul aceluiași ESS. De asemenea, o stație poate solicita serviciul de reasociere pentru a schimba atributele de asociere cu același punct de acces (fără a schimba punctul de acces).

- **Dezasociere** - Este un serviciu, solicitat de o stație sau de AP, pentru a termina o asociere existentă. Dezasocierea este o notificare și nu poate fi refuzată. O stație trebuie să solicite dezasocierea ori de câte ori părăsește o rețea. Un AP poate solicita dezasocierea stațiilor pentru a fi înlăturat din rețea (pentru verificări sau pentru alte motive).

Serviciile stațiilor

Aceste servicii sunt prezente în fiecare stație (incluzând și punctele de acces), sunt utilizate de entitățile subnivelului MAC și constau în: autentificare, preautentificare, deautentificare, confidențialitate (privacy). Două dintre aceste servicii, autentificarea și confidențialitatea, au rolul să creeze o funcționalitate a rețelei fără fir echivalentă celei inerente a rețelelor cu fire, determinată de natura controlată și închisă a mediului de transmisiune.

- **Autentificare** - Securitatea fizică a rețelelor cu fire previne accesul neautorizat, dar într-o rețea fără fire mediul de transmisiune nu are granițe precise și pentru a asigura un control al accesului în rețea standardul IEEE 802.11 prevede un serviciu de autentificare, utilizat de toate stațiile, din ESS și IBSS, pentru a-și prezenta identitatea lor stațiilor cu care vor comunica. Autentificarea nu se face capăt-la-capăt (origine mesaj-destinație mesaj) sau utilizator-utilizator, ci numai pentru a aduce legătura fără fire la standardele fizice al legăturii cu fire. Sunt două scheme de autentificare, una folosind autentificarea

sistemului deschis (orice stație poate deveni autentificată cu oricare alta) și alta folosind autentificarea cu cheie de cifrare secretă, partajată. O stație poate fi autentificată cu mai multe stații simultan.

- **Preautentificare** - Autentificarea este un serviciu solicitat înainte de stabilirea unei asocieri și poate necesita un timp însemnat, depinzând de protocolul de autentificare utilizat. În cazul în care o stație trebuie să se reasocieze, la deplasarea între BSS, autentificarea cu fiecare AP nou, amânată până la reasociere, poate limita performanțele de mobilitate. Utilizarea preautentificării, de către o stație care este deja asociată cu un AP (cu care în prealabil s-a autentificat), economisește timp, lăsând procesul de reasociere să se desfășoare în limite de timp mai puțin critice.

- **Deautentificarea** - Acest serviciu este solicitat când trebuie să fie terminată (să ia sfârșit) o autentificare existentă. Deautentificarea determină dezasocierea unei stații. Deautentificarea poate fi solicitată de orice parte autentificată și nu poate fi refuzată (este o notificare).

- **Confidențialitatea** - Acest serviciu oferă posibilitatea de criptare a mesajelor. Standardul specifică un algoritm opțional, WEP (Wired equivalent privacy - confidențialitate echivalentă mediului cu fire), care poate fi solicitat numai pentru cadrele de date și pentru câteva cadre de autentificare.

9.1.4 Arhitectura IEEE 802.11

Arhitectura logică a rețelei IEEE 802.11 este prezentată în figura 4.

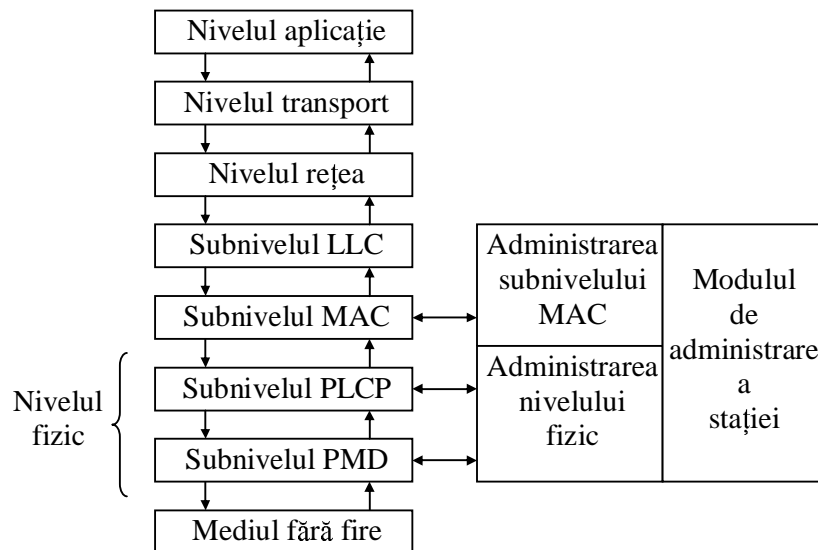


Fig. 4 Arhitectura IEEE 802.11

Subnivelul MAC utilizează procedura CSMA (Carrier Sense Multiple Access), ca și în Ethernet, dar, fiind dificil de detectat coliziunile într-un mediu fără fire, în rețelele IEEE 802.11 se implementează evitarea coliziunilor - collision avoidance (CSMA/CA) și nu detectarea lor. Dat fiind zgomotul mai important în mediul de transmisiune fără fire și efectele de propagare multicale și de interferență, în mecanismul de acces de bază se utilizează procedeul confirmării cadrelor transmise. Dacă un cadru de confirmare (ACK) nu este recepționat într-un anumit interval de timp, cadrul neconfirmat va fi retransmis.

Nivelul fizic se compune din două subnivele: subnivelul protocolului de convergență a nivelului fizic (PLCP - Physical layer convergence protocol) și subnivelul dependent de mediul fizic (PMD - Physical medium dependent).

- **Problema stației ascunse** -

Dacă două stații, A și C, sunt inaccesibile una alteia, iar dacă o altă stație B este între cele două și accesibilă fiecăreia dintre ele, transmisiunea de la A la B poate fi întreruptă de transmisiunea de la C la B (figura 5).

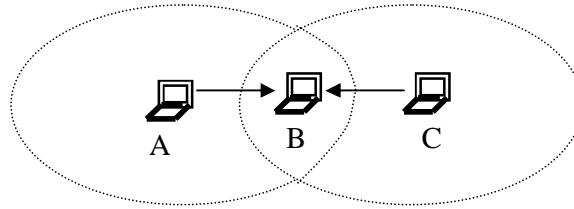


Fig. 5 Problema stației ascunse

Pentru a evita, în astfel de situații, perturbarea comunicației dintre două stații de către alte stații, mecanismul de bază pentru acces este completat cu o tehnică opțională de dialog, cunoscută ca metoda RTS/CTS (Request-to-send/Clear-to-send, Cerere de emisie/Gata de emisie). Stația sursă transmite un cadru RTS și destinația răspunde cu un cadru CTS. Stațiile care "aud" (recepționează) cadrul RTS amână transmisiunea lor până la cadrul CTS. Dacă stațiile care aud RTS nu aud CTS, ele pot continua ca și cum n-ar fi auzit RTS, pentru ca transmisiunile lor nu vor fi auzite de stația B. Stațiile care aud CTS suspendă transmisiunea lor până când aud cadrul de confirmare (ACK), emis de B.

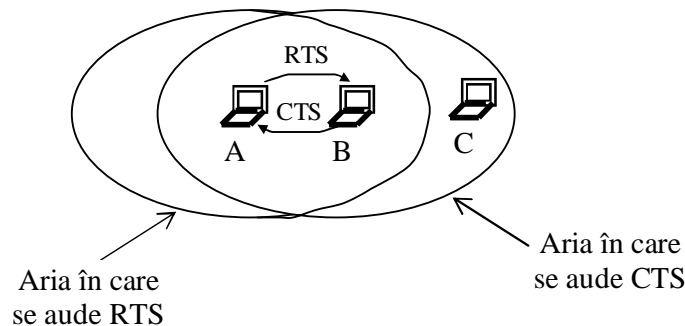


Fig. 6 Metoda RTS/CTS

Transmisiunea cadrelor RTS/CTS consumă o parte, mică, din capacitatea rețelei, motiv pentru care metoda nu este obligatorie, poate fi evitată, mai ales atunci când sarcina rețelei este mică și probabilitatea de conținție (coliziune) este, în consecință, mică.

- **Problema stației expuse** -

O altă situație în care metoda RTS/CTS își dovedește utilitatea este cea prezentată în figura 7. Să presupunem că stația C încearcă să transmită către stația D, în timp ce stația B transmite către A. În acest caz, pentru stația C, mediul de transmisiune apare ca fiind

ocupat și ea ar trebui să amâne transmisiunea, deși stația D nu este perturbată (nu aude) de transmisiunea de la stația B. Cu metoda RTS/CTS activată, cadrul CTS transmis de stația A nu ajunge la stația C și stația C va ști că transmisiunea de la stația B către stația A ar putea să nu interfere cu transmisiunea sa către stația D și, ca urmare, va iniția transmisiunea către stația D.

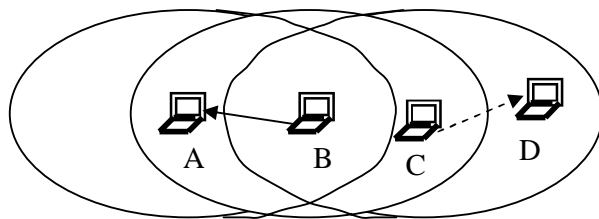


Fig. 7 Stație expusă (C)

9.2 Subnivelul MAC

9.2.1 Arhitectura MAC

Pentru controlul accesului stațiilor la mediul de transmisiune subnivelul MAC oferă două tipuri de servicii, unul cu conținție (dispută), celălalt fără conținție, realizate fiecare prin intermediul al căreia unei funcții de coordonare, **funcția de coordonare distribuită** (DCF - Distributed coordination function), respectiv **funcția de coordonare punctuală** (PCF - Point coordination function).

- Funcția de coordonare distribuită (DCF) -

Metoda de bază pentru controlul accesului este DCF, care implementează un protocol CSMA/CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance - Acces multiplu cu percepția purtătorului și evitarea coliziunilor), cu revenire după o lege binară exponențială (binary exponential backoff). Această metodă trebuie implementată în toate tipurile de stații, din IBSS sau din rețeaua de infrastructură.

O stație care are de transmis cadre MAC trebuie să asculte mai întâi mediul de transmisiune. Dacă mediul este liber poate transmite. Algoritmul distribuit CSMA/CA impune însă un interval minim, specificat, liber între secvențele de cadre succesive, așa încât stația transmițătoare trebuie să se asigure că mediul de transmisiune este liber pentru acest interval de timp înainte de a încerca să transmită. Dacă mediul de transmisiune este ocupat, stația va amâna încercarea de a transmite până când mediul devine liber. După ce mediul devine liber sau înainte de a încerca să transmită imediat după o transmisiune reușită, stația trebuie să aleagă un interval de revenire aleator și trebuie să decrementeze contorul intervalului de revenire în timp ce mediul este liber. O perfecționare a metodei, cu scopul de a micșora și mai mult riscul de coliziune, poate fi obținută, în anumite situații, prin schimbul de cadre de control RTS/CTS, înainte de transmiterea datelor, când mediul este liber și după orice amânare sau revenire.

Din cauză că în mediul fără fire o coliziune nu poate fi detectată, se utilizează confirmarea pozitivă pentru a semnaliza recepția corectă a unui cadru. Dacă nu se recepționează confirmarea pozitivă, cadrul va fi retransmis.

- Funcția de coordonare punctuală (PCF) -

Este o metodă de acces opțională, utilizabilă numai în rețeaua de infrastructură, care folosește un coordonator punctual (PC - Point coordinator), localizat în punctele de acces ale BSS, pentru a determina care stație are dreptul de a transmite. Coordonatorul punctual controlează transmiterea cadrelor prin metoda polling (interogare), asigurând astfel eliminarea conțențiilor.

Este utilizat un mecanism virtual de percepție a purtătorului și un mecanism de prioritate pentru acces.

PCF distribuie informația necesară pentru funcționare prin intermediul unui cadru specific de management (cadru Beacon - far, baliză). Toate transmisiunile de cadre prin PCF utilizează intervale între cadre mai mici decât cele din transmisiunile DCF, asigurând în felul acesta prioritate de acces pentru traficul PCF în raport cu stațiile din BSS funcționând cu metoda de acces DCF.

DCF și PCF trebuie să coexiste concurențial în același BSS. Dacă un coordonator punctual există într-un BSS, cele două metode trebuie să alterneze.

Funcția de coordonare punctuală cuantizează timpul cu supercadre. Supercadrul este repetitiv și este compus dintr-o perioadă fără conțenții (CFP - Contention free period) și o perioadă cu posibile conțenții (CP - Contention period). În felul acesta punctele de acces (AP) și stațiile alternează funcționarea CFP cu funcționarea CP (metoda DCF). Perioadele CP sunt necesare pentru a permite și noilor stații sosite să fie introduse în rețea.

- Fragmentarea și defragmentarea cadrelor la subnivelul MAC -

Fragmentarea este procesul de divizare a unităților de date ale serviciului MAC (MSDU - MAC service data unit) sau ale protocolului de management MAC (MMPDU - MAC management protocol data unit), efectuat cu scopul de a mări probabilitatea de transmisiune reușită a MSDU sau MMPDU în cazurile în care starea canalului limitează siguranța recepției pentru cadrele mai lungi. Procesul de recombinație a unităților de date ale protocolului MAC (MPDU - MAC protocol data unit) într-un MSDU sau MMPDU se numește defragmentare. Fragmentarea și defragmentarea se realizează în fiecare transmițător, respectiv receptor. Fiecare fragment este transmis independent și confirmat separat. Fragmentarea se realizează dacă lungimea cadrului MSDU sau a cadrului MMPDU este mai mare decât un anumit prag, dar numai cadrele cu destinație individuală sunt fragmentate, cele care au o destinație de grup și cadrele de difuzie nu pot fi fragmentate. Un exemplu de fragmentare este prezentat în figura 8.

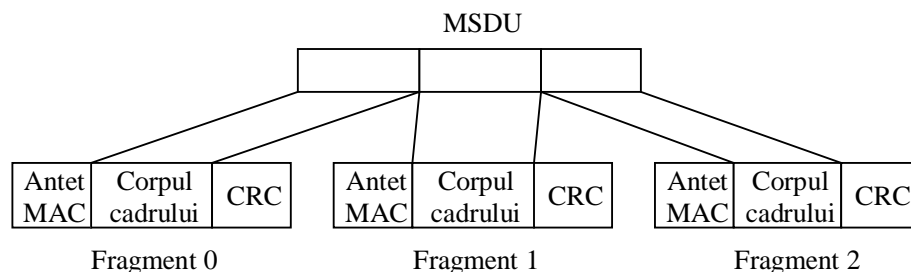


Fig. 8 Fragmentare

9.2.2 Funcția de coordonare distribuită (DCF)

- Intervale între cadre -

DCF este mecanismul de bază al subnivelului MAC pentru a controla accesul stațiilor la mediului de transmisiune, utilizând accesul multiplu cu percepția purtătorului și evitarea coliziunilor (CSMA/CA). Înainte să înceapă transmisia, o stație ascultă mediul de transmisiune fără fire pentru a determina dacă este liber. Dacă constată că este liber, transmisiunea poate începe, în caz contrar stația va aștepta până se termină transmisiunea existentă.

Mecanismul CSMA/CA impune un interval liber (pauză) între transmisiunile de cadre succesive. O stație care utilizează DCF trebuie să respecte două reguli de acces la mediul de transmisiune: (1) stația va putea transmite numai dacă mecanismul ei de percepere a purtătorului determină că mediul a fost liber pentru cel puțin un interval de timp numit DIFS (Distributed InterFrame Space - Spațiu între cadre distribuit) și (2), pentru a reduce probabilitatea de coliziune cu alte stații care accesează mediul, stația va selecta un interval de revenire (backoff) cu care amână încercarea de transmisiune, după ce mediul a fost găsit ocupat sau înainte de a încerca să transmită un alt cadru după o transmisiune reușită.

O caracteristică importantă a subnivelului MAC IEEE 802.11 este aceea că recepția reușită a unui cadru este confirmată printr-un cadru ACK, așa încât o stație va considera transmisiunea unui cadru ca fiind reușită numai după ce primește cadrul ACK. Dacă nu primește cadrul ACK într-un interval de timp limitat transmițătorul va încerca să retransmită cadrul.

Figura 10 prezintă situații posibile la încercarea de transmitere a unui cadru. Cadrele recepționate eronat sunt marcate cu linii încrucișate.

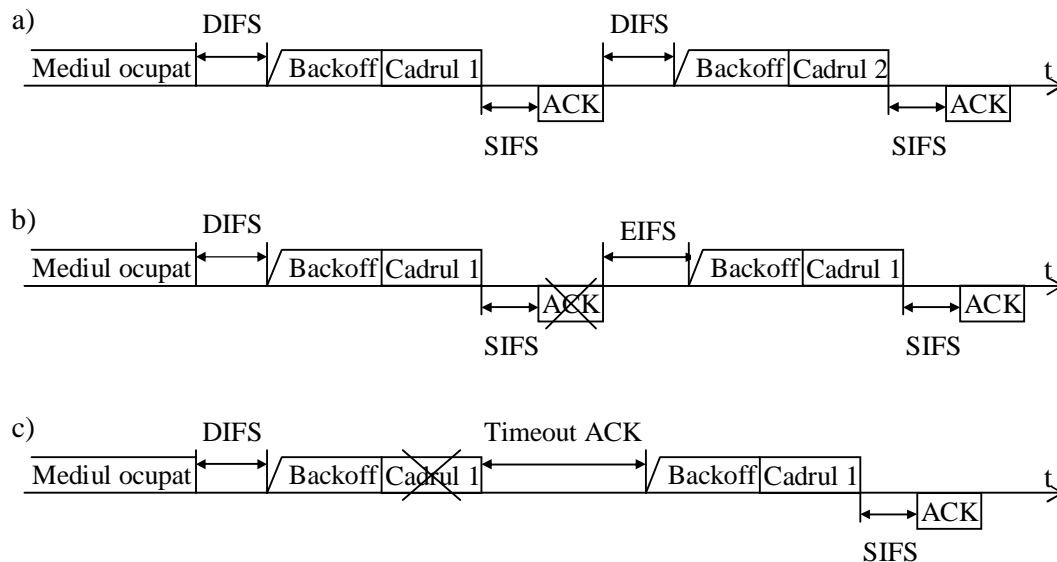


Fig. 10 Transmiterea cadrelor prin DCF:

- a) reușită;
- b) retransmisie datorită eronării cadrului ACK;
- c) retransmisie datorită recepției eronate a cadrului.

Intervalul între cadre scurt (SIFS - Short InterFrame Space), mai mic decât DIFS, este intervalul de timp între recepția unui cadru de date și transmisiunea cadrului ACK corespunzător (Fig. 10 a). Utilizarea acestei pauze mici în schimbul de cadre previne ca

alte stații care așteaptă un interval de timp mai mare (DIFS) după eliberarea mediului de transmisiune să încerce să transmită, asigurând prioritate pentru încheierea schimbului de cadre în de desfășurare.

Dacă un cadru de confirmare este recepționat eronat (cu un CRC incorect), transmițătorul va încerca retransmiterea cadrului de date după un timp EIFS (Extended InterFrame Space - Fig. 10 b).

Dacă nu se recepționează cadrul de confirmare într-un anumit interval de timp (Timeout ACK) se va încerca retransmiterea cadrului (Fig. 10 c).

- **Procedura de revenire (Backoff) -**

Intervalul de revenire aleator se măsoară în unități de intervale temporale (Slot time) și acest număr întreg aleator este ales dintr-o distribuție uniformă în domeniul $[0, CW]$, unde CW este dimensiunea ferestrei de conținere, având o valoare inițială CW_{min} . Setul valorilor CW constă în puteri întregi ale lui 2, minus 1 (fig. 11), începând cu o valoare minimă, CW_{min} , specifică nivelului fizic și sfârșind cu o valoare maximă, CW_{max} , de asemenea specifică nivelului fizic.

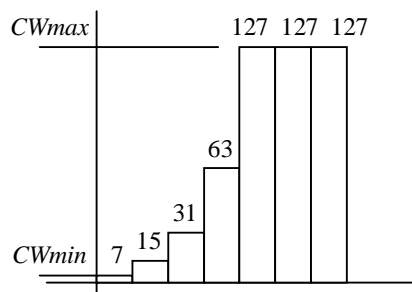


Fig. 11 Creșterea exponențială a lui CW

În cazul unei transmisiuni nereușite, procedura de revenire va începe la sfârșitul unui interval EIFS (Fig. 10 b) sau al intervalului de așteptare pentru ACK (Fig. 10 c) și CW este actualizat la valoarea $[2 \times (CW + 1) - 1]$. Atunci când CW ajunge la o valoare maximă CW_{max} , va rămâne la această valoare până când va fi resetat la CW_{min} .

În cazul unei transmisiuni reușite, procedura de revenire va începe, după ce s-a recepționat cadrul ACK, la sfârșitul intervalului DIFS (Fig. 10 a), iar valoarea CW este resetată la CW_{min} , înainte de a se selecta intervalul aleator de revenire.

O stație care execută procedura de revenire trebuie să utilizeze mecanismul de percepție a purtătorului pentru a determina dacă mediul de transmisiune este liber pe fiecare interval temporal (slot time) al intervalului de revenire (backoff interval). Pe durata intervalului de revenire, la sfârșitul fiecărui interval temporal în care mediul a fost detectat liber, se va decrementa intervalul de revenire (așteptare) cu un interval temporal și, atunci când contorul timpului de revenire ajunge la zero, trebuie să înceapă transmisiunea. Dacă mediul de transmisiune este ocupat la un moment dat, în timpul unui interval temporal, procedura de revenire este suspendată, iar contorul timpului de revenire nu este decrementat pentru acel interval temporal. Trebuie ca mediul de transmisiune să fie găsit liber pentru un interval DIFS sau EIFS, pentru ca procedura de revenire să fie reluată, transmisiunea începând atunci când contorul timpului de revenire va ajunge la zero. Figura 12 ilustrează procedura de revenire.

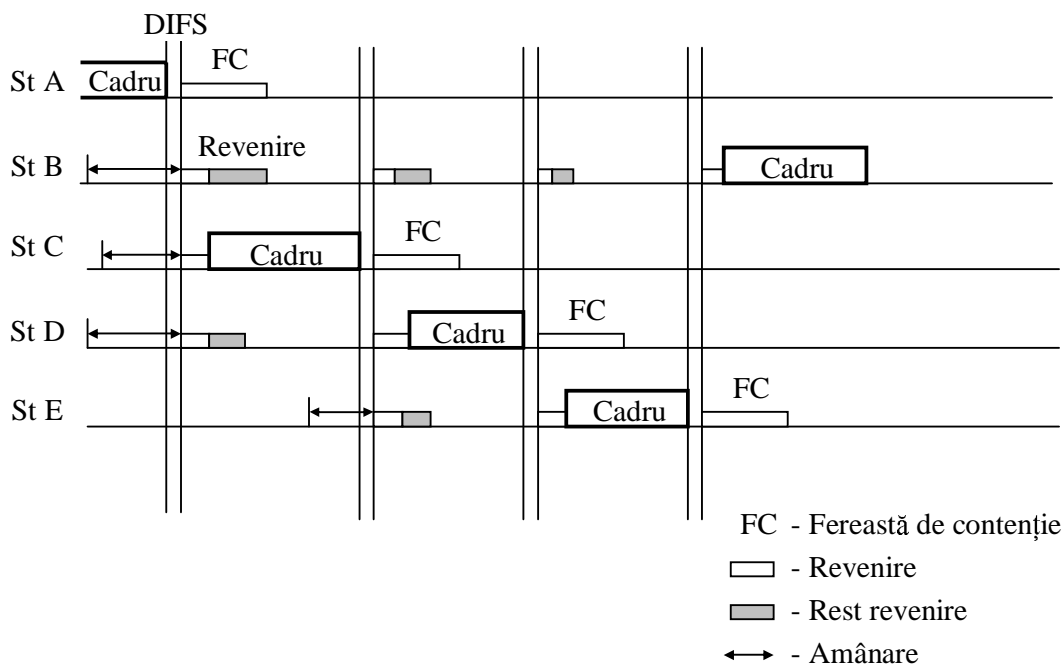


Fig. 12 Procedura de reluare

9.3. Nivelul fizic

Standardul IEEE 802.11 (1997) și variantele sale, IEEE 802.11b și IEEE 802.11a (1999), specifică debitele, benzile de frecvențe și metodele de transmisiune prezentate în tabelul care urmează.

Standard	Anul ratificării	Banda de frecvențe	Debit (Mb/s)	Tip transmisiune
IEEE 802.11	1997	2,4 GHz	1; 2	FHSS DSSS IR
IEEE 802.11b	1999	2,4 GHz	1; 2; 5,5; 11	DSSS CCK
IEEE 802.11a	1999	5 GHz	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54	BPSK; QPSK; QAM

Standardul IEEE 802.11 prevede transmisiunea cu debite de 1 Mb/s și 2 Mb/s în banda de 2,4 GHz (banda ISM - Industrial, Scientific and Medical band), metodele de transmisiune radio recomandate fiind FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - Spectru împrăștiat cu salt de frecvență) și DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum - Spectru împrăștiat cu secvență directă).

Transmisiunea în infraroșu (IR - Infrared), o altă specificare a standardului, necesită vizibilitatea directă între transmițător și receptor, prin urmare distanțele de transmisiune sunt mici, corespunzătoare unei camere (semnalele IR nu pot trece prin ziduri). Se folosește modulația impulsurilor în poziție (PPM - Pulse Position Modulation). Această metodă de transmisiune n-a prezentat interes pentru fabricanții de produse WLAN.

Standardul IEEE 802.11b utilizează metoda de modulație CCK (Complementary Code Keying - Comutare cu coduri complementare), în care codurile de împrăștiere a spectrului sunt coduri complementare, pentru debitele de 5,5 și 11 Mb/s și DSSS pentru debitele de 1 și 2 Mb/s.

Standardul IEEE 802.11a prevede utilizarea metodei OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), modularea purtătorilor fiind, în funcție de debit, BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quaternary PSK), 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) și 64-QAM.

9.3.1 Structura nivelului fizic

Nivelul fizic este format din două subnivele (Figura 4): subnivelul protocolului de convergență a nivelului fizic (PLCP - Physical layer convergence protocol) și subnivelul dependent de mediul fizic (PMD - Physical medium dependent). Subnivelul PLCP este o interfață către subnivelul MAC, iar subnivelul PMD este echipat cu interfața de transmisiune și de recepție în mediul radio.

Subnivelul PLCP îndeplinește funcția de adaptare a capacităților subnivelului PMD la serviciul pe care trebuie să-l ofere nivelului fizic. El definește o metodă de includere a unităților de date ale protocolului MAC (MPDU) într-un format de cadru adecvat pentru transmiterea și recepția datelor de utilizator și a informației de administrare, între două sau mai multe stații, utilizând subnivelul PMD. Existența subnivelului PLCP face ca subnivelul MAC să funcționeze cu o dependență minimă de subnivelul PMD.

Modulul pentru administrarea stației realizează funcțiuni de administrare a nivelului fizic și a subnivelului MAC.

Structura cadrelor PLCP este dependentă de tipul transmisiunii. În cele ce urmează va fi prezentat nivelul fizic corespunzător transmisiunii DSSS (IEEE 802.11 și IEEE 802.11b).

9.3.2 Subnivelul PLCP în transmisiunile DSSS

În subnivelul PLCP cadrele MPDU li se atașează, pentru transmisiune, un preambul și un antet PLCP (Fig. 13). La recepție, preambulul și antetul cadrelor PLCP sunt prelucrate pentru a extrage informația necesară procesului de demodulare și de livrare a cadrelor MPDU.

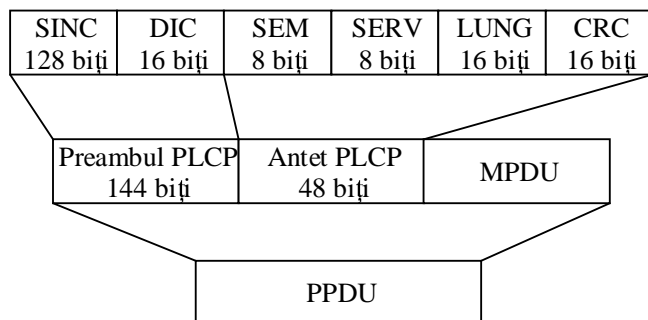


Fig. 13 Formatul cadrului PLCP

Preambulul cadrului PLCP conține următoarele două câmpuri: sincronizare (SINC) și delimitatorul de început de cadru (DIC). Antetul PLCP conține următoarele câmpuri:

semnalizare (SEM), serviciu (SERV), lungime (LUNG) și CRC - 16 (verificarea redundanței ciclice).

Câmpul de sincronizare constă din 128 biți, rezultați în urma operației de scrambling aplicate pe o secvență continuă de simboluri "1" și servește receptorului pentru realizarea diferitelor operații de sincronizare.

Delimitatorul de început de cadru indică începutul câmpului care prezintă parametrii dependenți de nivelul fizic (antetul PLCP). El are structura X"F3A0", cu cel mai semnificativ bit în stânga, bitul cel mai din dreapta transmițându-se primul.

Câmpul SEM, de 8 biți, indică nivelul fizic tipul de modulație care se va utiliza pentru transmisia (și recepția) cadrelor MPDU. Debitul datelor este egal cu mărimea reprezentată de acest câmp înmulțită cu 100 Kb/s. Varianta 802.11 asigură două debite (1 și 2 Mb/s), iar varianta 802.11b asigură patru debite (cele două din 802.11 și, în plus, 5,5 și 11 Mb/s).

Câmpul LUNG indică timpul în microsecunde, de la 16 la $2^{16}-1$, necesar pentru transmiterea cadrului MPDU. Numărul conținut de acest câmp este determinat pe baza lungimii cadrului MPDU și a debitului utilizat pentru transmisiune.

Câmpul CRC rezultă în urma codării câmpurilor SEM, SERV și LUNG cu un cod ciclic al cărui polinom generator este $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Preambulul și antetul se transmit cu debitul de 1 Mb/s și modulație DBPSK. Transmițătorul și receptorul vor utiliza debitul și metoda de modulație corespunzătoare debitului începând cu primul simbol (1 bit pentru DBPSK și 2 biți pentru DQPSK) din MPDU. Transmiterea preambului și a antetului necesită 192 microsecunde.

Varianta 802.11b prevede, la debitele de 2, 5,5 și 11 Mb/s, un format opțional, mai scurt, pentru preambul, de 72 biți (în loc de 144 biți), micșorând astfel numărul biților suplimentari. Antetul are aceeași lungime, 48 biți, dar se transmite cu debitul de 2 Mb/s, în loc de 1 Mb/s.

9.3.3 Subnivelul PMD în transmisiunile DSSS

Nivelul fizic DSSS trebuie să funcționeze în domeniul de frecvențe de la 2,4 GHz la 2,4835 GHz. În această bandă de frecvențe se realizează mai multe canale (12 în standardele american și canadian, 14 în cel european), distanța între frecvențele centrale ale canalelor adiacente fiind de 5 MHz, primul canal având frecvența centrală egală cu 2,412 GHz. Într-o rețea multicelulară, celulele care se suprapun parțial sau sunt adiacente pot funcționa simultan, fără interferență, dacă ecartul între frecvențele centrale ale canalelor este de cel puțin 30 MHz. La debitele de 1 și 2 Mb/s se utilizează modulațiile DBPSK, respectiv DQPSK, iar la debitele de 5,5 și 11 Mb/s se utilizează modulația CCK. Opțional, la aceste debite mai mari, se poate folosi modul PBCC (Packet-based binary convolutional code - Cod convoluțional bazat pe pachet).

- Secvența de împrăștiere și modulația pentru 1 și 2 Mb/s -

Ca secvență de împrăștiere se folosește secvența Barker de 11 elemente (chips): +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, -1, -1, -1. Funcția de autocorelație a acestei secvențe,

$$C = \sum_{i=1}^{11} a_i a_{i+k},$$

are proprietatea dorită, adică este minimă (-1), exceptând în origine ($k = 0$),

unde are valoarea 11. Elementul din stânga este cel cu care începe fiecare simbol, durata unui simbol fiind egală cu durata celor 11 elemente ale secvenței de împrăștiere.

Modulația DPSK (Differential Binary Phase Shift Keying), pentru debitul de 1 Mb/s, se face după regula: bitului 0 îi corespunde $\Delta\varphi = 0$, bitului 1 îi corespunde $\Delta\varphi = \pi$.

Modulația DQPSK (Differential Quaternary PSK), pentru debitul de 2 Mb/s, se face după regula prezentată în tabelul de mai jos.

Dibit	Saltul fazei
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$

- **Secvențele de împrăștiere și modulația CCK pentru 5,5 Mb/s și 11 Mb/s -**

Pentru modurile de modulație CCK (Complementary Code Keying), lungimea codului de împrăștiere este 8, debitul după împrăștiere este de 11 Mchip/s. Codurile de împrăștiere CCK, pentru ambele valori ale debitului datelor, sunt determinate cu ajutorul formulei:

$$c = \left\{ e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}, e^{j\varphi_1} \right\},$$

cuvântul de cod fiind $C = \{c_0 \text{ la } c_7\}$. Această formulă determină 8 elemente complexe, c_0 la c_7 , fazele φ_1 , φ_2 , φ_3 și φ_4 fiind dependente de biții de date.

Formula reprezintă o formă a codării prin transformata Hadamard generalizată, în care φ_1 apare în toate elementele cuvântului de cod, φ_2 apare în toate elementele impare (c_0 , c_2 , c_4 și c_6), φ_3 apare în toate perechile impare de elemente (c_0 , c_1 și c_4 , c_5) și φ_4 apare în grupul impar de patru elemente (c_0 , c_1 , c_3 , c_4).

- **Modulația pentru 5,5 Mb/s -**

Pe durata unui simbol, egală cu durata cuvântului de cod format din cele 8 elemente, se transmit 4 biți (d_0 la d_3). Biții d_0 și d_1 determină faza φ_1 pe baza unei codări DQPSK, bitul d_2 determină faza φ_2 conform relației $\varphi_2 = (d_2 \times \pi) + \pi/2$, $\varphi_3 = 0$ și $\varphi_4 = d_3 \times \pi$.

- **Modulația pentru 11 Mb/s -**

Pe durata unui simbol, corespunzătoare celor 8 elemente ale codului de împrăștiere, se transmit 8 biți, d_0 la d_7 . Biții d_0 și d_1 determină faza φ_1 pe baza unei codări DQPSK, biții d_2 , d_3 determină faza φ_2 , biții d_4 , d_5 determină faza φ_3 și biții d_6 , d_7 determină faza φ_4 , după regula (QPSK) specificată în tabelul următor:

Dibit [d_i , $d_{(i+1)}$]	Faza
00	0
01	$\pi/2$
10	π
11	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)