

Cap 4 . Sisteme de acces radio

- Retele radio de arie personala (WPAN - IEEE802.15):
Bluetooth, RFID, ZigBee
- Retele radio de arie locala (WLAN – IEEE802.11): WiFi
- Retele radio de arie metropolitană (WMAN – IEEE802.16):
WiMAX
- Retele radio de arie globala (GPRS, UMTS, LTE)

Sisteme de acces radio

Caracteristici comune

- Rată mare de date (>1Mbps, mai puțin RFID)
- Transmisie cu comutație de pachete
- Mobilitate scăzută sau pietonală (mai puțin cele de arie globală și WiMAX mobil);
- Au funcții de nivelul fizic și MAC (1 și 2 din OSI), mecanisme de securitate specifice legăturilor radio, nivelele superioare se bazează pe IP
- Utilizează cu precădere benzi de frecvențe nelicențiate ISM (Industrial, Scientific and Medical), (mai puțin sistemele de arie globală și WiMAX)

WLAN

Caracteristici WLAN

- Rate binare 1Mbps...108Mbps
- Utilizabile pe distanțe scurte (cu *stație de bază – Punct de acces* , AP - sau fără) pentru accesul fără fir la Internet:
 - Clădiri de birouri (câteva camere / coridor);
 - reședințe de dimensiuni mici;
 - Sute de metri în aer liber ;
 - Hoteluri, aeroporturi, săli de conferințe (hot-spot)
- Consumul de putere nu este critic (mai puțin pentru dispozitivele mobile)
- moduri:
 - **Infrastructură**: Stațiile comunică cu *Punctul de acces radio* (AP), care asigură puntea între interfața radio și infrastructura cablată a Internetului;
 - **Ad-Hoc**: stațiile comunică una cu cealaltă fără un control centralizat;

Standarde WLAN

- Specifică parametrii nivelului fizic și MAC (Data Link): benzile de frecvență utilizate, nivelul puterii de emisie, prelucrarea semnalului pentru interfața radio (modulație, codare), încapsularea datelor, controlul erorii, mecanisme de QoS, interfețe de comunicație cu alte sisteme radio (GSM / UMTS / LTE) etc.
- Organisme de standardizare pentru WiFi:
 - FCC in USA
 - ETSI in Europa
 - ARIB in Japonia
 - IEEE (802.11)

Standarde WLAN

Familia de standarde IEEE 802.11

- 802.11 standardul de bază pentru nivelele Fizic și MAC (1997);
 - 802.11a OFDM802.11a nivelul fizic cu OFDM pentru banda 5 GHz, cu rata binară 6-54 Mbps (1999)
 - 802.11b DSSS802.11b nivelul fizic cu DSSS pentru banda 2.4 GHz, cu rata binară 5.5 și 11 Mbps (1999,2001)
 - 802.11c Supliment pentru realizarea operațiilor de bridge la nivel MAC (1998)
 - 802.11d Specificații pentru operarea în domenii diferite (2001)
 - 802.11e Suport la nivel MAC pentru QoS (2005)
 - 802.11f Interaccess point protocol (2003, retras în 2006)
 - 802.11g nivel fizic cu OFDM: banda 2.4 GHz, debit maxim 54Mbps (2003)
 - 802.11h Îmbunătățiri pt managementul spectrului și puterii (2003)
 - 802.11i Îmbunătățiri ale securității MAC (WPA2) (2004)
-

Standarde WLAN

Familia de standarde IEEE 802.11

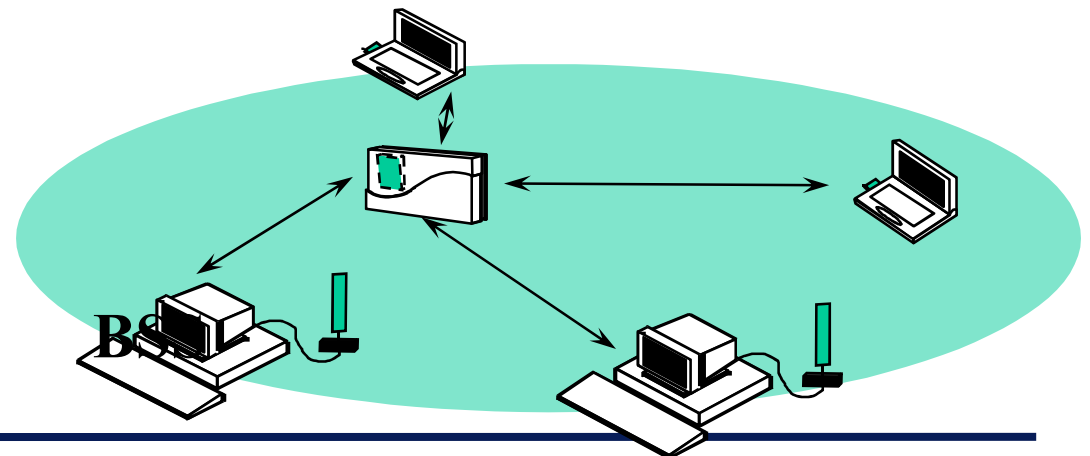
- 802.11j Imbunătățiri ale 802.11a pt 4.9-5.0 GHz in Japonia (2004)
- 802.11k Managementul resurselor radio (2007)
- 802.11ma Corecții tehnice (2007)
- 802.11n Imbunătățiri pentru throughput ridicat (2009)
- 802.11p Accesul radio pentru mediul Vehicular (2008)
- 802.11r Roaming rapid (2008)
- 802.11s ESS Mesh Networking (2008)
- 802.11T Stabilirea unor performanțe radio (2009)
- 802.11u Inter-operare cu rețele externe (2009)
- 802.11v Managementul rețelei radio (2009)
- 802.11w Cadre *Protected* pt management (2009)
- 802.11y Operare în banda 3.65-3.7 GHz in USA (2008)

Arhitectura unei rețele WLAN

BSS (Basic Service Set)

- Un grup de stații controlate de un singur dispozitiv cu funcție de coordonare a emisie radio - AP (Access Point)
- Similar unei celule (într-un sistem celular)
- Fiecare celulă are identificator: BSSID (6 Bytes) → adresa MAC a AP;
- Diametrul celulei $\sim 2 \times$ lungimea legăturii între stație și AP
- Comunicația între stații – prin intermediul AP-ului
- BSS are un SSID (Service Set Identifier) de 32 Bytes (*numele rețelei*)

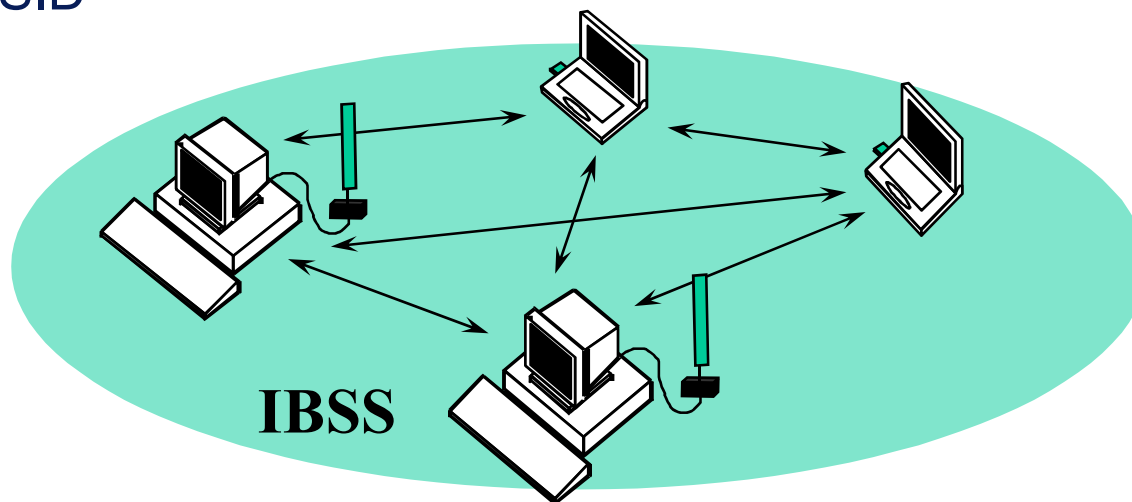
Identifică *unitatea logică de administrare* : dacă BSS este independentă (IBSS) sau Face parte în ESS.



Arhitectura unei rețele WLAN

IBSS (Independent Basic Service Set)

- Un BSS fără AP
- O stație din IBSS poate fi configurată să inițieze rețeaua și să asigure *Funcția de Coordonare* (radio)
- Formează o rețea independentă fără comunicație cu exteriorul
- Diametrul celulei \sim lungimea legăturii între două stații
- IBSS are propriul SSID



Arhitectura unei rețele WLAN

ESS (Extended Service Set)

- Un grup de BSS-uri (cu același SSID) interconectate de un Distribution System (DS). DS nu face parte din ESS;
- Traficul între BSS-uri trece prin AP-uri, iar mobilitatea între BSS-urile aceluiași ESS este transparentă pentru LLC;
- Fiecare ESS are un identificator ESSID → SSID (32 octeți)

DS (Distribution System)

- Sistemul de interconectare a AP-urilor (ESS) sau a stațiilor (BSS):
 - *Integrat* : un AP într-o rețea radio singură BSS)

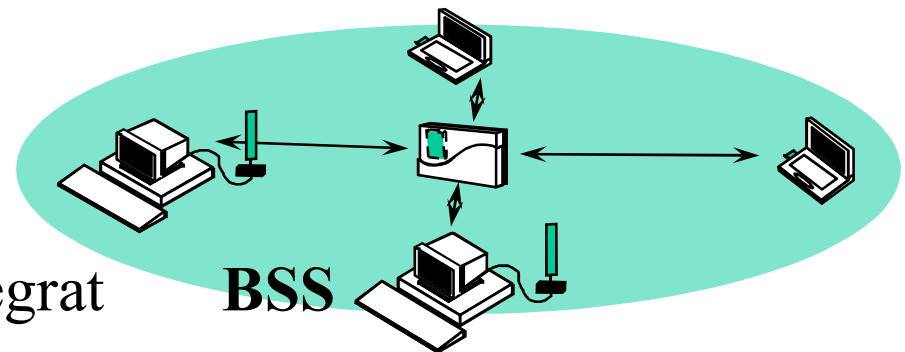
- *pe fir* : utilizează cabluri

pentru a interconecta AP-uri

- *radio* : interconectează

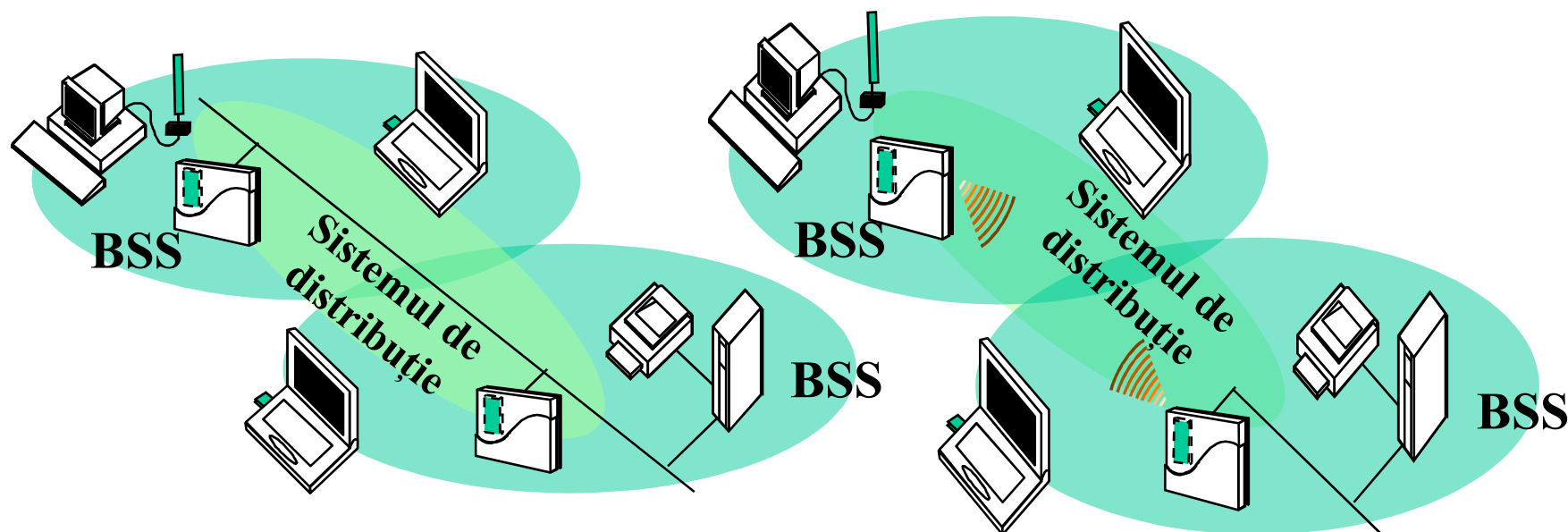
AP-uri prin legături radio

DS integrat



Arhitectura unei rețele WLAN

ESS (Extended Service Set)



ESS cu DS cablat

ESS cu DS cu legătură radio

Serviciile rețelei WLAN

Servicii pentru Stație

- Autentificare / deautentificare
- furnizare de date
- asigurarea confidențialității

Servicii sistemul de distribuție (DS)

- asocierea / desasocierea
- reasocierea
- distribuția
- integrarea

A station maintain two variables:

- authentication state ($=> 1$)
- association state ($<= 1$)

Retele radio locale (WLAN)

Stiva de protocoale TCP/IP pentru WLAN

PLCP - physical layer

convergence protocol

PMD - physical medium

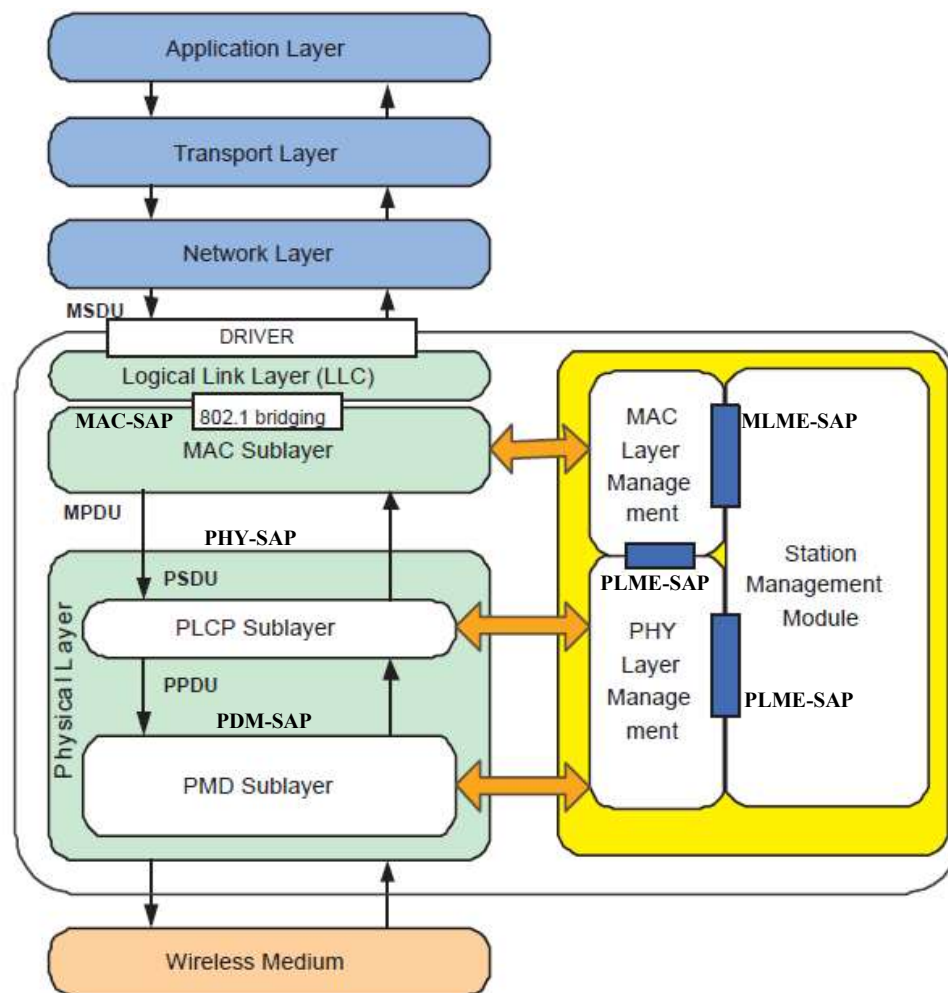
dependent

MLME – MAC Layer

Management Entity

PLME – Physical Layer

Management Entity



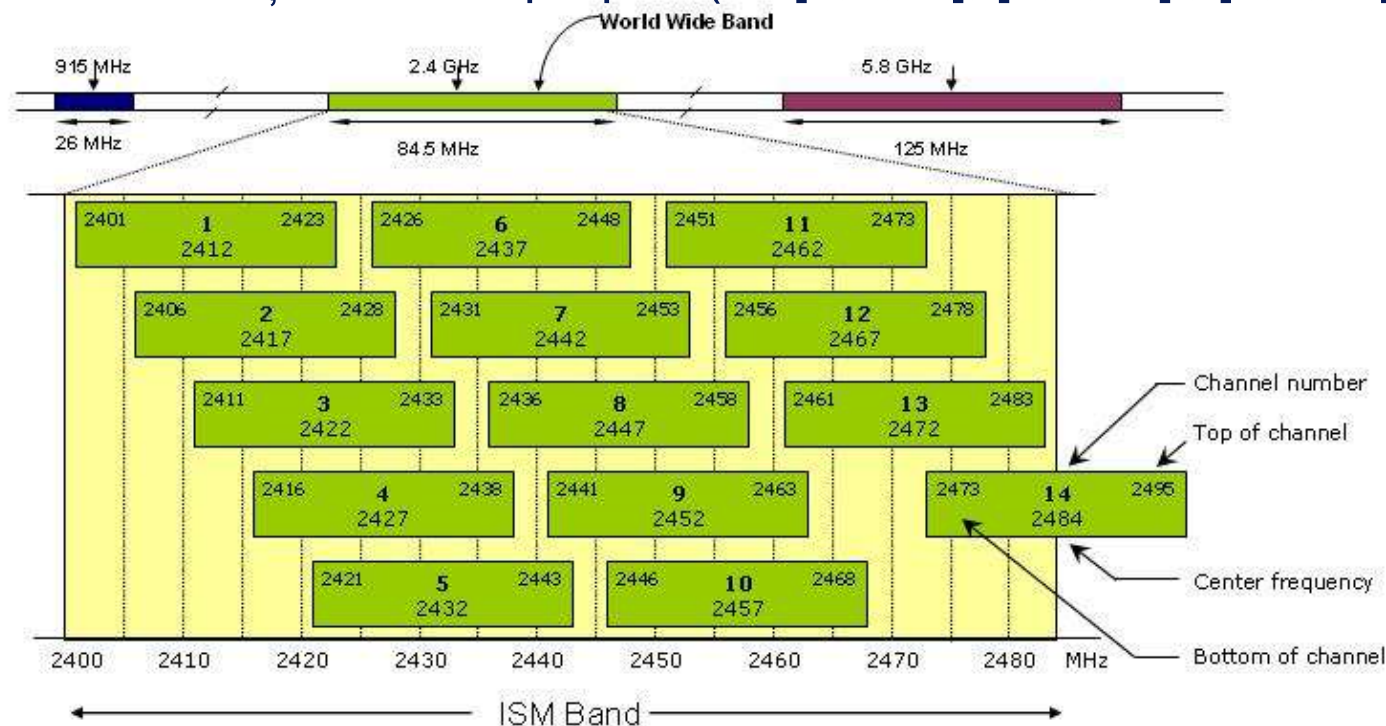
Nivelul fizic (Phy)

Standardul Wifi (IEEE)	Rate binară (max)	Throughput (max) ^[3]	Banda ISM	Lărg. de bandă	Modulatia	Raza tipica Inter/exter	Anul
802.11	2 Mbps		2.4GHz	20MHz	FHSS/ DSSS / IR	20m/100m	1997
802.11b	11 Mbps	4.3Mbps	2.4GHz	20MHz	CCK	35m/140m	1999
802.11a	54 Mbps	23Mbps	5 GHz	20MHz	OFDM	35m/120m	1999
802.11g	54 Mbps	19Mbps	2.4GHz	20MHz	OFDM / DSSS	35m /140m	2003
802.11n	72.2Mbps 150Mbps	74Mbps	2.4GHz 5GHz	20MHz 40MHz	MIMO OFDM	70m /250m	2009
802.11ac	87.6Mbps 200Mbps 433.3MBps 866.7Mbps		5GHz	20MHz 40MHz 80MHz 160MHz	MIMO OFDM		2012
802.11ad	6.75Gbps		2.4/5/60 GHz				2015

Nivelul fizic (Phy)

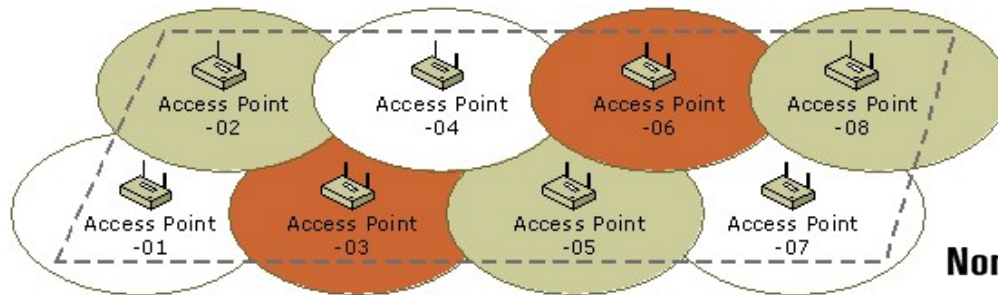
Canale de frecvență - Banda 2.4 GHz

- 11 canale în USA, 13 canale în EU, 14 canale în Japonia
- Banda unui canal (standard) 20MHz (g, n)/ 22MHz (b)
- Doar 3 benzi de frecvență nu se suprapun (ch [1,6,11]; [2,7,12]; [3,8,13])



Nivelul fizic (Phy)

Nesuprapunerea canalelor - Banda 2.4 GHz

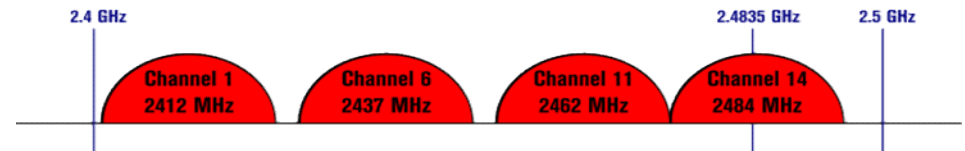


- Perimeter of building floor that requires wireless coverage
- Channel A - Operating on 802.11 Channel 1 (2.412 GHz)
- Channel B - Operating on 802.11 Channel 6 (2.437 GHz)
- Channel C - Operating on 802.11 Channel 11 (2.462 GHz)

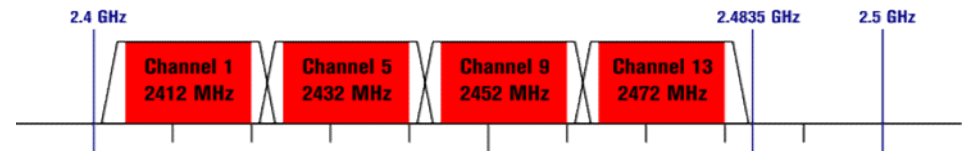
Canale radio în banda 2.4GHz
care nu se suprapun

Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

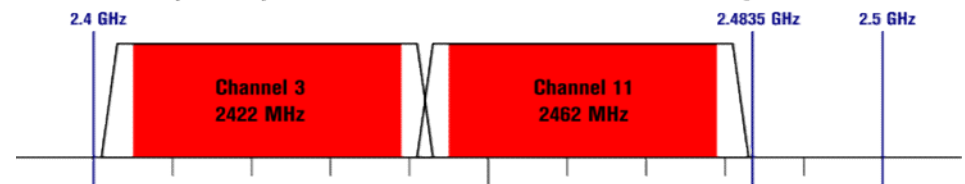
802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width - 16.25 MHz used by sub-carriers



802.11n (OFDM) 40 MHz ch. width - 33.75 MHz used by sub-carriers



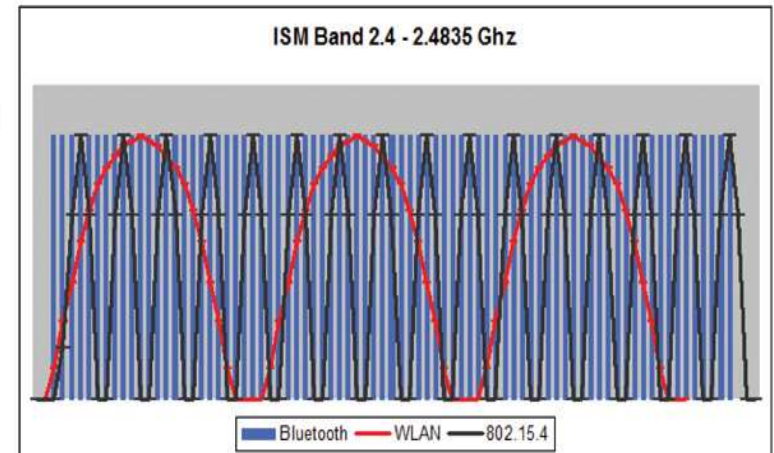
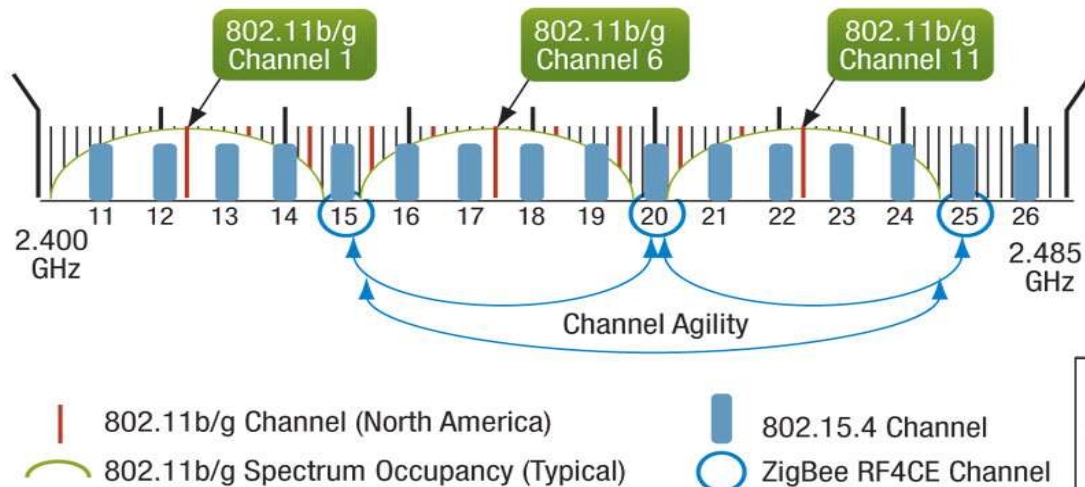
Acoperire optimală a suprafeței
Alocarea canalelor radio AP-urilor

Nivelul fizic (Phy)

Canale de frecvență - Banda 2.4 GHz

”Interferențe” cu alte sisteme: Bluetooth, ZigBee:

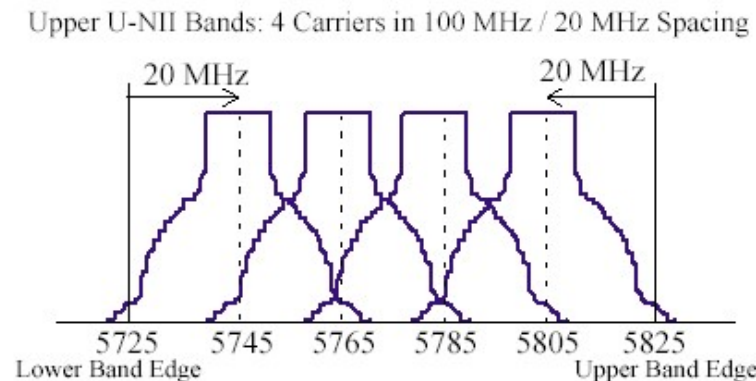
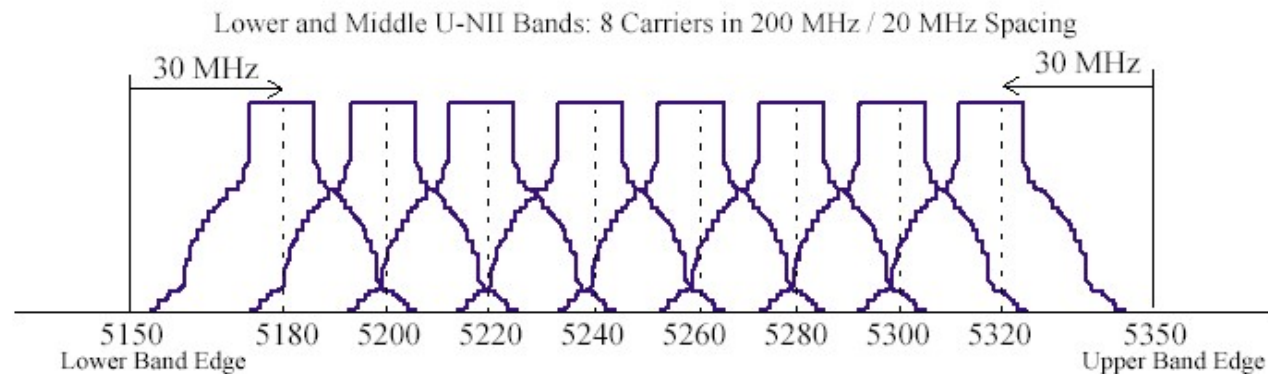
ZigBee RF4CE Frequency Agility



Nivelul fizic (Phy)

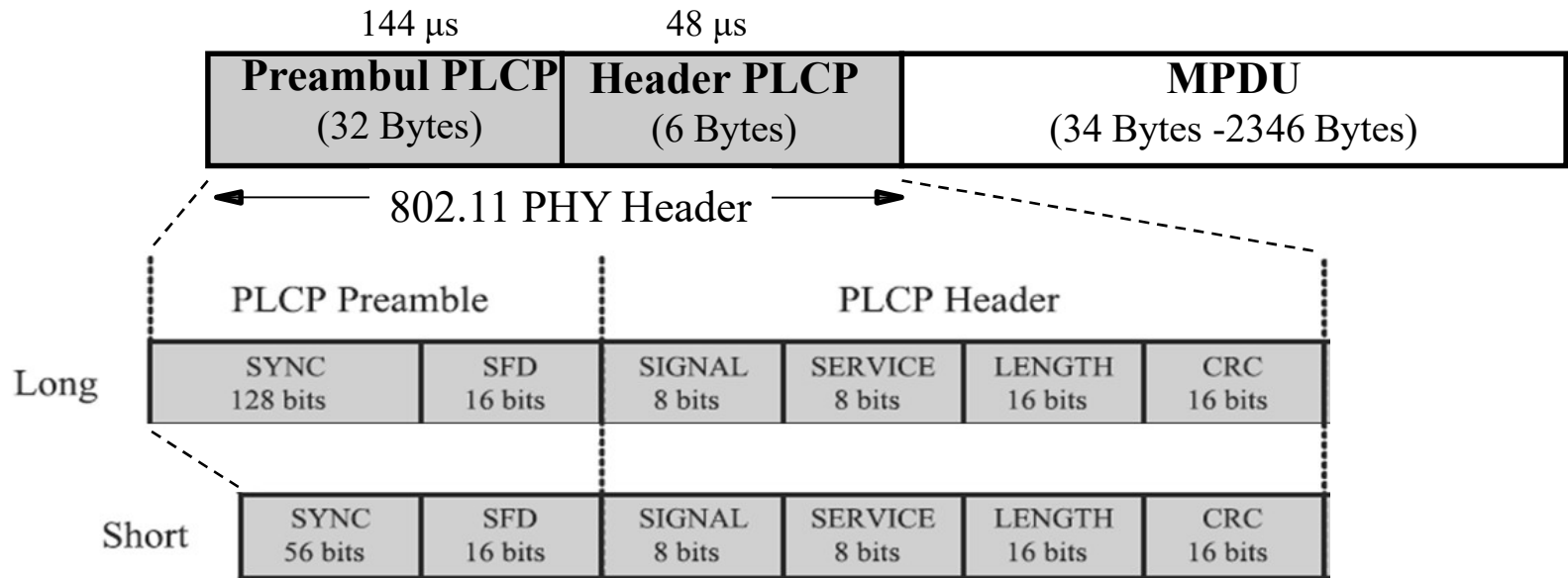
Canale de frecvență - 5GHz

- Canale tipice de 20MHz



Nivelul fizic (Phy)

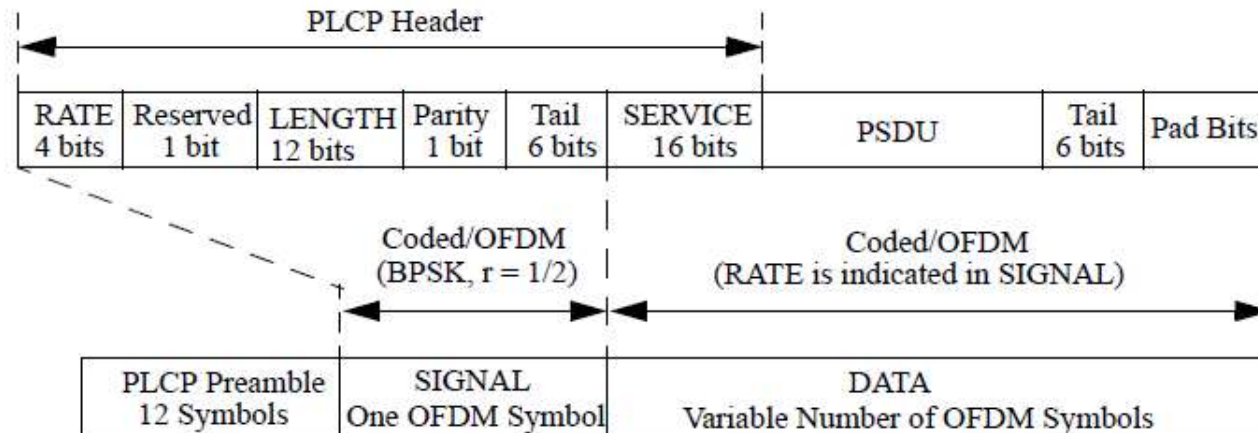
Header de nivel fizic pentru DSSS



- Sync: șablon de 0101... (existența semnalului, sincronizare și selecția antenei de recepție dacă se utilizează diversitate spațială)
- SFD: sincronizarea de cadru
- Signal: tipul de modulație
- Length: durata MPDU in μs
- CRC: cod detector de err "Signal", "Service", "Length" ($x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$)

Nivelul fizic (Phy)

Header de nivel fizic pentru OFDM



- Preambul PLCP : șablon pentru semnalului, sincronizare de cadru și frecvență și selecția antenei de recepție (durata 4 simboluri OFDM);
- Semnal : rata de codare, lungime cadru (numărul de octeți din PSDU, biți de completare → un simbol OFDM);
- Service: starea inițială pentru blocul de împrăștiere

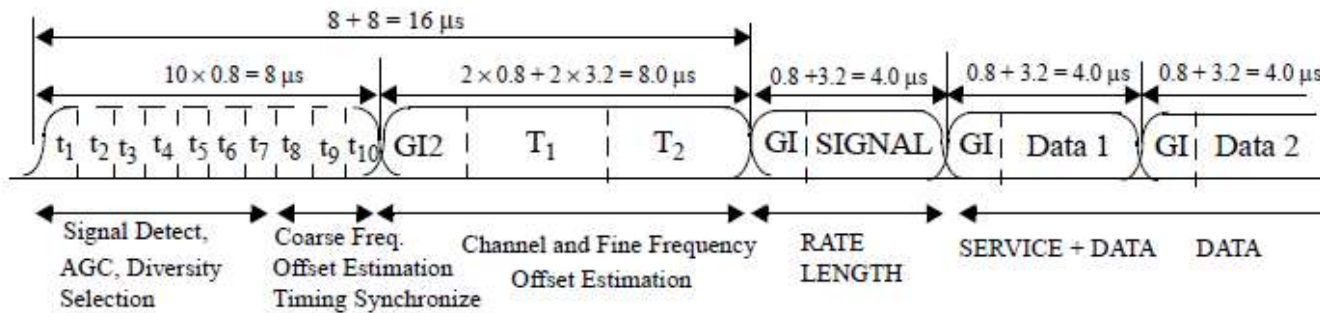
Nivelul fizic (Phy)

Etapele incapsulării la nivel fizic (OFDM)

1. Produce preambul PLCP: 10 secvențe scurte de antrenare $t_1 .. t_{10}$, $0,8\mu s$ fiecare + 2 secvențe lungi T_1, T_2 de $3,2\mu s$ (diversitate prin selecție, sincronizare timp, sincronizare *brută* de frecvență)
2. Introducere header PLCP: "*RATE, LENGTH, SERVICE*", codate convoluțional, rata $\frac{1}{2}$, modulație BPSK, + 6 biți 0 (tail) → un simbol OFDM
3. Din *RATE* se determină N_{DBPS} (nr biți date per simbol OFDM), N_{BPSC} (nr biți per subpurtătoare), N_{CBPS} (nr biți codați per simbol OFDM),
4. Se atașează PDSU la câmpul *SERVICE* și se completează cu 0 pînă la multiplu de N_{DBPS} → formează câmpul DATA din cadru;
5. Operația de împrăștiere, codare cu rata $\frac{1}{2}$;
6. Gruparea biților codați N_{CBPS} realizarea întrețeserii și apoi gruparea în N_{BPSC} , modulație și realizare simboluri OFDM cu 48 subpurtătoare de date + 4 subpurtătoare pilot (IFFT + GI + serializare)

Nivelul fizic (Phy)

Structura simbolurilor OFDM (inclusiv antrenarea)



Schemele de modulație/codare și ratele binare (OFDM)

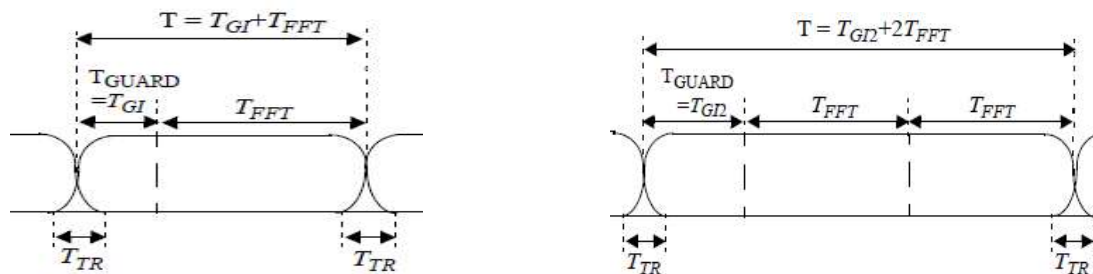
Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSC})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})	Data rate (Mb/s) (20 MHz channel spacing)	Data rate (Mb/s) (10 MHz channel spacing)	Data rate (Mb/s) (5 MHz channel spacing)
BPSK	1/2	1	48	24	6	3	1.5
BPSK	3/4	1	48	36	9	4.5	2.25
QPSK	1/2	2	96	48	12	6	3
QPSK	3/4	2	96	72	18	9	4.5
16-QAM	1/2	4	192	96	24	12	6
16-QAM	3/4	4	192	144	36	18	9
64-QAM	2/3	6	288	192	48	24	12
64-QAM	3/4	6	288	216	54	27	13.5

Nivelul fizic (Phy)

Parametrii pentru sincronizare

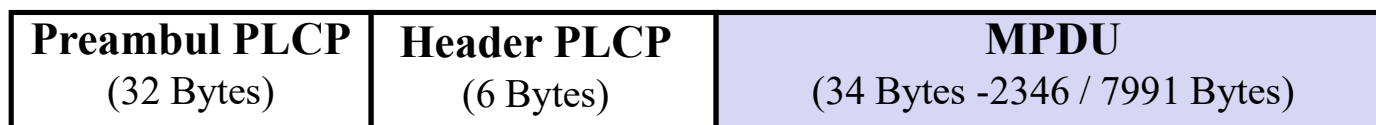
Parameter	Value (20 MHz channel spacing)	Value (10 MHz channel spacing)	Value (5 MHz channel spacing)
N_{SD} : Number of data subcarriers	48	48	48
N_{SP} : Number of pilot subcarriers	4	4	4
N_{ST} : Number of subcarriers, total	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)
Δ_F : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz (=20 MHz/64)	0.15625 MHz (= 10 MHz/64)	0.078125 MHz (= 5 MHz/64)
T_{FFT} : Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) / Fast Fourier Transform (FFT) period	3.2 μ s ($1/\Delta_F$)	6.4 μ s ($1/\Delta_F$)	12.8 μ s ($1/\Delta_F$)

Variante de realizare a simbolurilor OFDM;



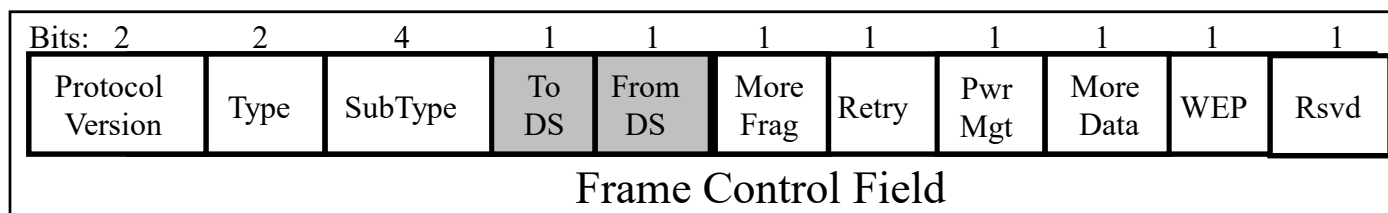
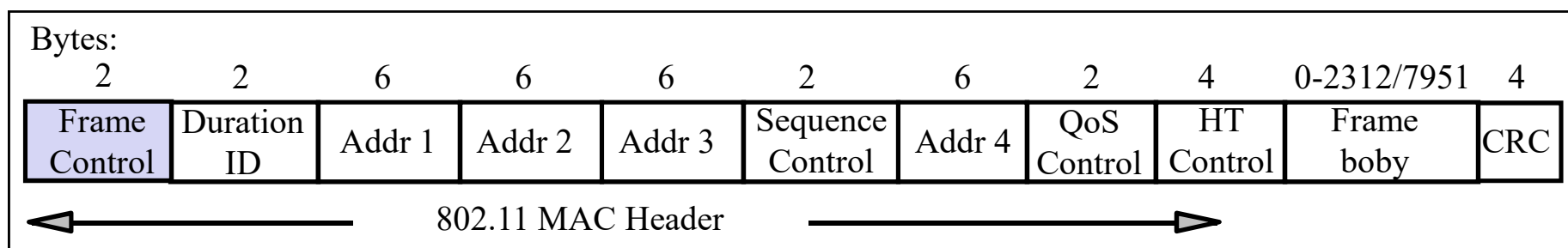
Retele radio locale (WLAN)

Cadrul MAC 802.11 (MPDU)



← 802.11 PHY Header →

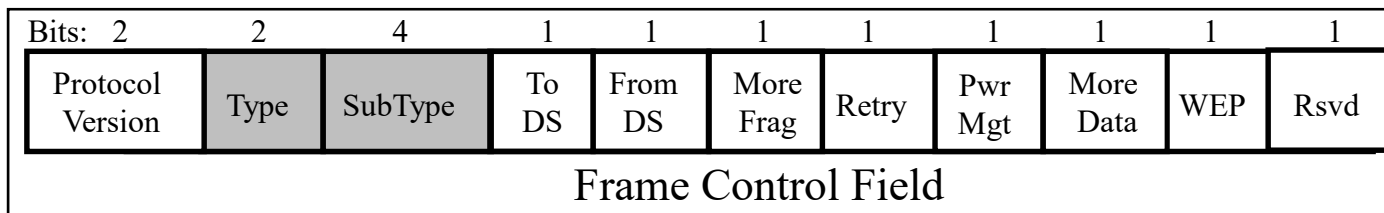
Frame



- Protocol Version: =0 pentru 802.11

Retele radio locale (WLAN)

Tipuri de cadre (Type): 00 - de management
 01 – de control
 10 – de date (11 - rezervat)



Type value b3 b2	Type description	Subtype value b7 b6 b5 b4	Subtype description
01	Control	0000–0111	Reserved
01	Control	1000	Block Ack Request (BlockAckReq)
01	Control	1001	Block Ack (BlockAck)
01	Control	1010	PS-Poll
01	Control	1011	RTS
01	Control	1100	CTS
01	Control	1101	ACK
01	Control	1110	CF-End
01	Control	1111	CF-End + CF-Ack

Retele radio locale (WLAN)

Biții "to/from DS" + câmpurile de adrese

Bits: 2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol Version	Type	SubType	To DS	From DS	More Frag	Retry	Pwr Mgt	More Data	WEP	Rsvd
Cîmpul de control ale cadrului										

To DS	From DS	Adresa 1	Adresa 2	Adresa 3	Adresa 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

DS – sistemul de distribuție

DA – adresa MAC destinație

SA – adresa MAC sursă

BSSID – identificatorul BSS

TA – adresa transmițătorului = adresa MAC

a stației/AP care transmite cadru în radio

RA – adresa receptorului = adresa MAC

a stației/AP care primește cadru din radio

Retele radio locale (WLAN)

Exemple pt biții "to/from DS"

- transmisie cadru de la ST1 la ST2 in același BSS (BSSID = AP_MAC)

To DS	From DS
0	0

DA = ST2_MAC

SA = ST1_MAC

BSSID = AP_MAC

- transmisie cadru de la ST1 din BSS1 prin AP1 la ST2 din BSS2 prin DS cablu

To DS	From DS
1	0

DA = ST2_MAC

SA = ST1_MAC

BSSID = AP1_MAC

- transmisie cadru de la ST1 prin AP2 la ST2 din BSS2 prin DS cablu

To DS	From DS
0	1

DA = ST2_MAC

SA = ST1_MAC

BSSID = AP2_MAC

- transmisie cadru de la ST1 (via AP1) la ST2 (via AP2) prin DS radio

To DS	From DS
1	1

DA = ST2_MAC

SA = ST1_MAC

TA = AP1_MAC

RA = AP2_MAC

Retele radio locale (WLAN)

Descrierea biților din câmpul de control

- Retry – indică un cadru retransmis (=1);
- More fragments – este setat când cadrul este urmat de alt fragment;
- Power Management – indică modul stației: 1 → "Power save" (PS) / 0 → mod activ;
- More Data – (=1) indică faptul că AP-ul are mai multe date în buffer pentru o stație în PS;
- WEP – indică faptul că datele (frame body) sunt criptate cu WEP; În versiunile mai noi bitul – " Protected Frame field" – indică faptul că datele sunt criptate.

Retele radio locale (WLAN)

Exp: Cadre de control

RTS (Request to Send):

- RA: adresa stației căreia îi este adresat cadrul în radio

- TA: adresa MAC a stației căreia transmite cadrul în radio

- Durata estimată a transmisiei (în μs), incluzând transmisia cadrului de date sau management, a cadrelor CTS și ACK + 3 intervale SIFS

2	2	6	6	4
Frame Control	Duration	RA	TA	FCS

CTS (Request to Send):

- similar cu RTS, doar adresa RA

- Durata estimată a transmisiei (în μs), incluzând transmisia cadrului de date sau management, a ACK + 2 intervale SIFS

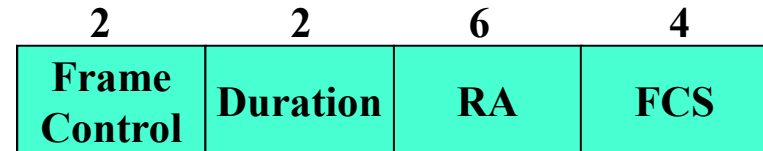
2	2	6	4
Frame Control	Duration	RA	FCS

Obs: RTS/CTS este utilizat dacă pachetul de trebuie transmis > "RTS/CTS threshold" (0B-2347B), altfel se utilizează CSMA (fără RTS/CTS).

Retele radio locale (WLAN)

Exp Cadre de control

ACK (acknowledgement):



- RA: este adresa 2 din cadrul

recepționat anterior (de date, de management sau PS-poll)

- Durata estimata a transmisiei

= 0, daca bitul "more fragment" =0 în cadrul de date, sau cadrul anterior este de control sau de management

= durata anterioară pentru cadrul de date sau management – durata ACK – un interval SIFS, dacă bitul "more fragment" =1;

Retele radio locale (WLAN)

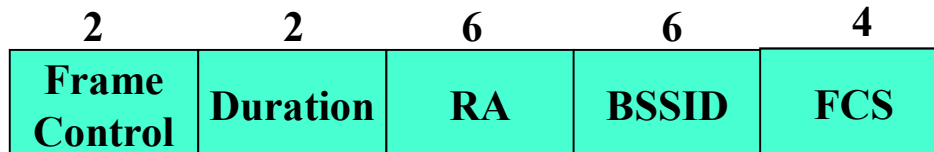
Exp Cadre de control

PS-Poll (Power Save Poll):



- BSSID este adresa AP-ului
- TA – adresa stației care emite cadrul în radio
- AID – identificatorul pentru asociere primit de stație atunci când s-a asocial AP-ului

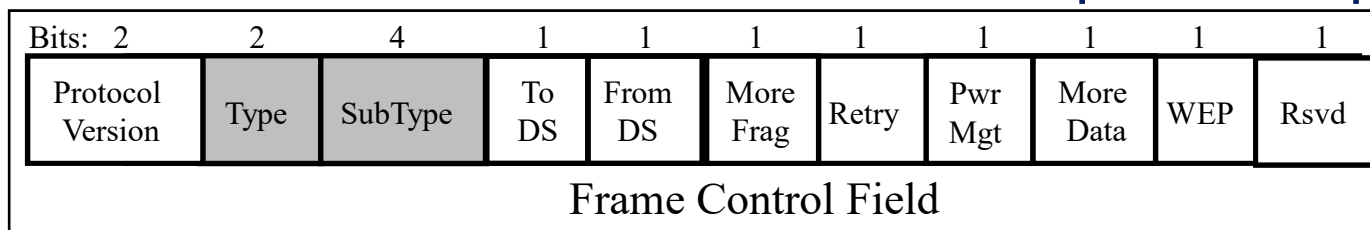
CF-End (Contention Free End):



- RA - adresa de broadcast de grup
- BSSID – adresa AP-ului
- Durata = 0

Retele radio locale (WLAN)

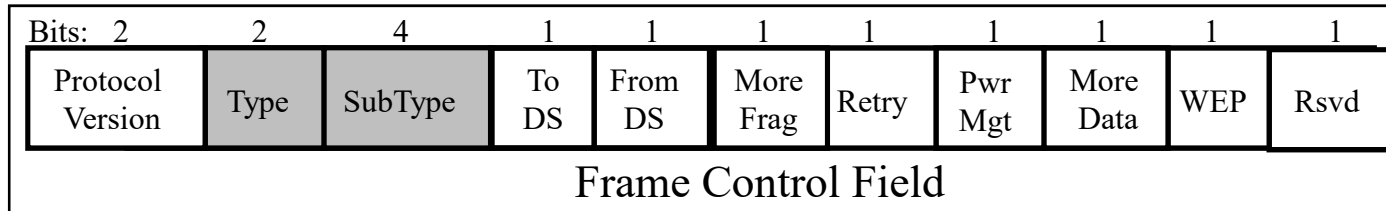
Cadrul de date - Descrierea câmpului de tip



Type value b3 b2	Type description	Subtype value b7 b6 b5 b4	Subtype description
10	Data	0000	Data
10	Data	0001	Data + CF-Ack
10	Data	0010	Data + CF-Poll
10	Data	0011	Data + CF-Ack + CF-Poll
10	Data	0100	Null (no data)
10	Data	0101	CF-Ack (no data)
10	Data	0110	CF-Poll (no data)
10	Data	0111	CF-Ack + CF-Poll (no data)
10	Data	1000	QoS Data
10	Data	1001	QoS Data + CF-Ack
10	Data	1010	QoS Data + CF-Poll
10	Data	1011	QoS Data + CF-Ack + CF-Poll
10	Data	1100	QoS Null (no data)
10	Data	1101	Reserved
10	Data	1110	QoS CF-Poll (no data)
10	Data	1111	QoS CF-Ack + CF-Poll (no data)

Retele radio locale (WLAN)

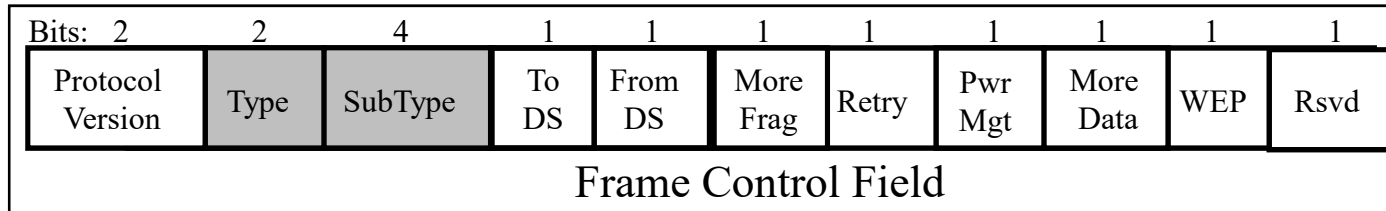
Cadrul de management - Descrierea câmpului de tip



Type value b3 b2	Type description	Subtype value b7 b6 b5 b4	Subtype description
00	Management	0000	Association request
00	Management	0001	Association response
00	Management	0010	Reassociation request
00	Management	0011	Reassociation response
00	Management	0100	Probe request
00	Management	0101	Probe response
00	Management	0110	Timing Advertisement

Retele radio locale (WLAN)

Cadrul de management - Descrierea câmpului de tip



Type value b3 b2	Type description	Subtype value b7 b6 b5 b4	Subtype description
00	Management	0111	Reserved
00	Management	1000	Beacon
00	Management	1001	ATIM
00	Management	1010	Disassociation
00	Management	1011	Authentication
00	Management	1100	Deauthentication
00	Management	1101	Action
00	Management	1110	Action No Ack
00	Management	1111	Reserved

Retele radio locale (WLAN)

Cadrul de management – exemple

- **Beacon** (trimis periodic de coordonator) : marca de timp, intervalul de Beacon, capabilitățile AP, SSID , ratele suportate, alți parametri; *Harta de indicația a traficului* (TIM);
- **Cerere de sondare (Probe Request)**: capabilitățile AP, SSID , ratele suportate;
- **Răspunsul de sondare (Probe Response)**: marca de timp, intervalul de Beacon, capabilitățile AP, SSID , ratele suportate, alți parametri fără TIM;
- **Cerere de asociere** : capabilitățile AP, SSID , ratele suportate, intervalul de ascultare;
- **Răspunsul de asociere** : capabilitățile AP, ID pentru stare, ratele suportate, codul de stare;

Retele radio locale (WLAN)

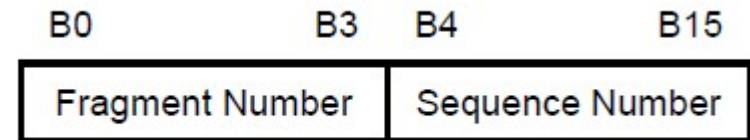
Cadrul de management – exemple

- **Cerere de re-asociere** : capabilitățile AP, SSID, ratele suportate, intervalul de ascultare, adresa AP-ului curent;
- **Răspunsul de re-asociere** : capabilitățile AP, ID stației, codul de stare, ratele suportate;
- **Cererea de de-asociere**: codul motivului;
- **Autentificarea**: algoritm, secvență, stare, textul “challenge”;
- **De-autentificare**: codul motivului;;

Retele radio locale (WLAN)

Cîmpul de "Control al secvenței"

- Doar în cadrele de date/management



- Numărul de secvență

Bits: 4 12

- Indică numărul secvenței din MSDU (0-4095)

- Numărul fragmentului

- indică numărul fragmentului din MSDU (0-15)

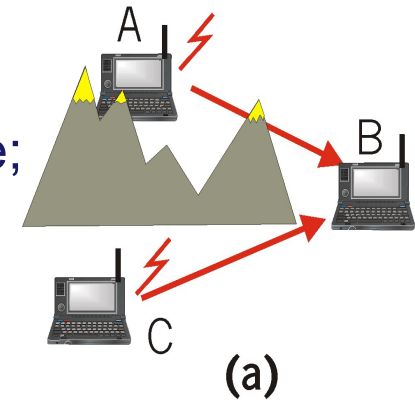
Acces radio

Probleme de acces în transmisiunile radio

- detectarea coliziunilor nepractică (semnalul recepționat este mai mic decât cel transmis, o singură antenă);

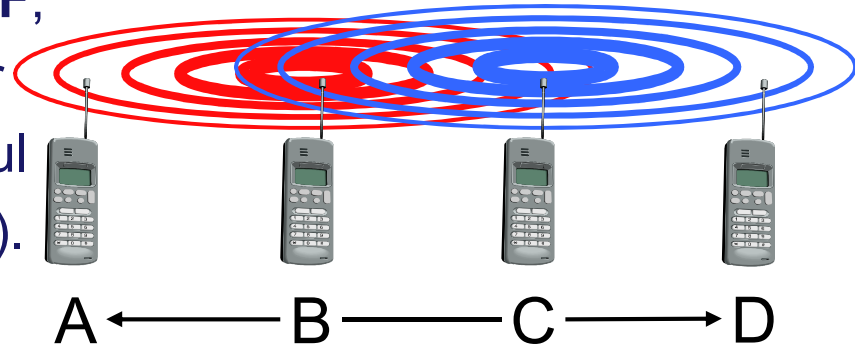
- problema **nodului ascuns** (a): A transmite lui B, C nu detectează semnal, C transmite lui B → coliziune;

- problema **nodului expus**: B transmite lui A, dar C detectează, D este în afara razei de acoperire a C are de transmis lui D și amână inutil transmiterea;



Soluție : **DCF** → **CSMA/CA** (cu anunțarea ocupării mediului și a duratei ocupării de emițător și de receptor) sau **PCF**;

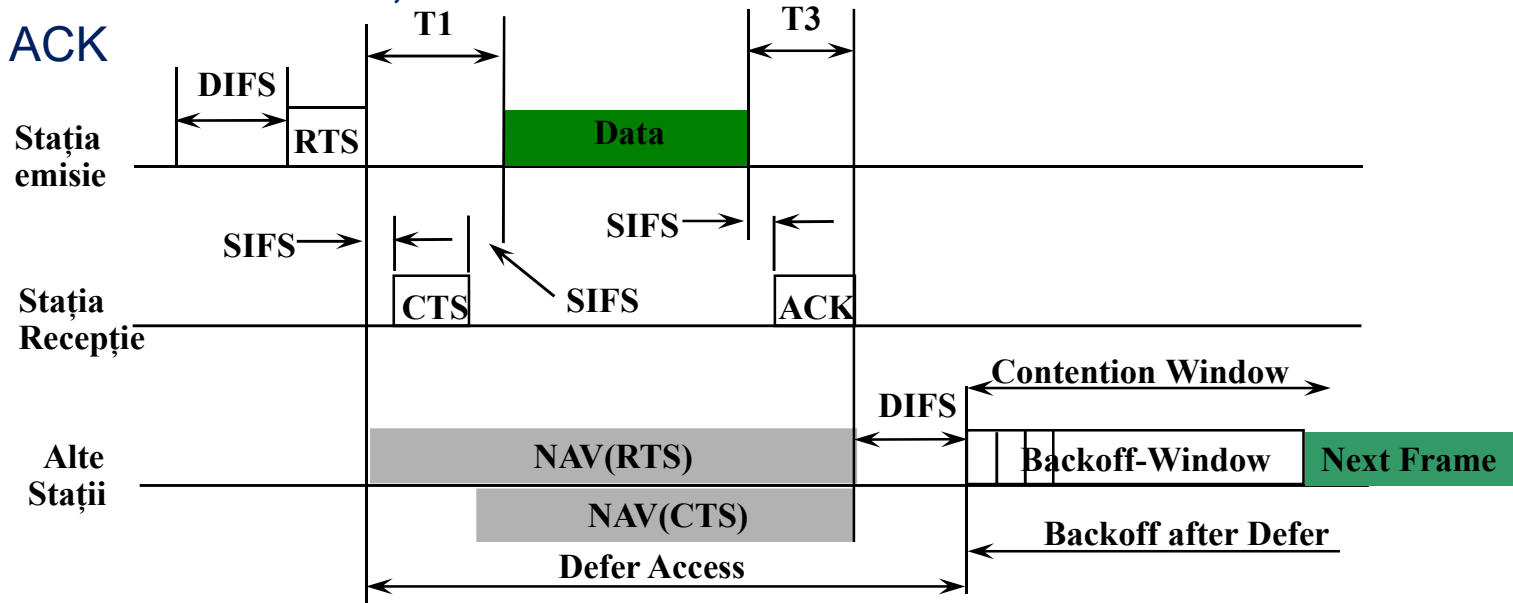
(Problema *nodului expus* rezolvată doar dacă stațiile sunt sincronizate și pachetul lui C are aceeași dimensiune ca al lui B).



CSMA/CA

Accesul CSMA/CA tipic

- Cererea de rezervare (RTS – Request to Send) a stației de emisie conține durata estimată a "dialogului" pentru transmisia cadrului de date
- Acceptarea datelor (CTS – Clear to Send) a stației de recepție conține durata estimată a dialogului
- Celelalte stații (care recepționează RTS, CTS, sau ambele) setează începutul "intervalului de disputa" la sfârșitul intervalului DIFS după NAV
- Confirmări ACK



CSMA/CA

Spațiere (timpi) între cadre (IFS)

Se definesc 4 tipuri de IFS (se folosesc și pentru a stabili prioritatea)

- SIFS (Short Inter Frame Space):

- Utilizat pentru separarea sensurilor într-un dialog "fragment-ACK"
- este cel mai scurt IFS, dar permite Tx să comute în Rx și să decodifice pachetul recepționat (include întârzierea RF a Rx, întârzierea PLCP a Rx, întârzierea de procesare a MAC, întârzierea de comutare RxTx,)
- SIFS = 28μs (802.11 FHSS); 10μs (DSSS); 16μs (802.11a)

- PIFS (Point Coordination IFS):

- Utilizat de AP (coordonator) pentru a obține accesul la mediu înaintea oricărei alte stații
- PIFS = SIFS + slot temporal

CSMA/CA

Spațiere (timp) între cadre (IFS)

- DIFS (Distributed IFS):

- Utilizat pentru începerea unui nou dialog "fragment-ACK", după terminarea celui anterior

- $DIFS = PIFS + \text{slot temporal} = SIFS + 2 \times \text{slot temporal}$

- $DIFS = 78\mu s$ (802.11 FHSS Phy);

- EIFS (Extended IFS):

- Utilizat de o stație care a recepționat un pachet pe care nu-l poate "înțelege";

- amână inițierea unei noi transmisii a unei stații pt a nu avea coliziuni cu fragmente ulterioare ale comunicației actuale (dacă acesta nu se termina)

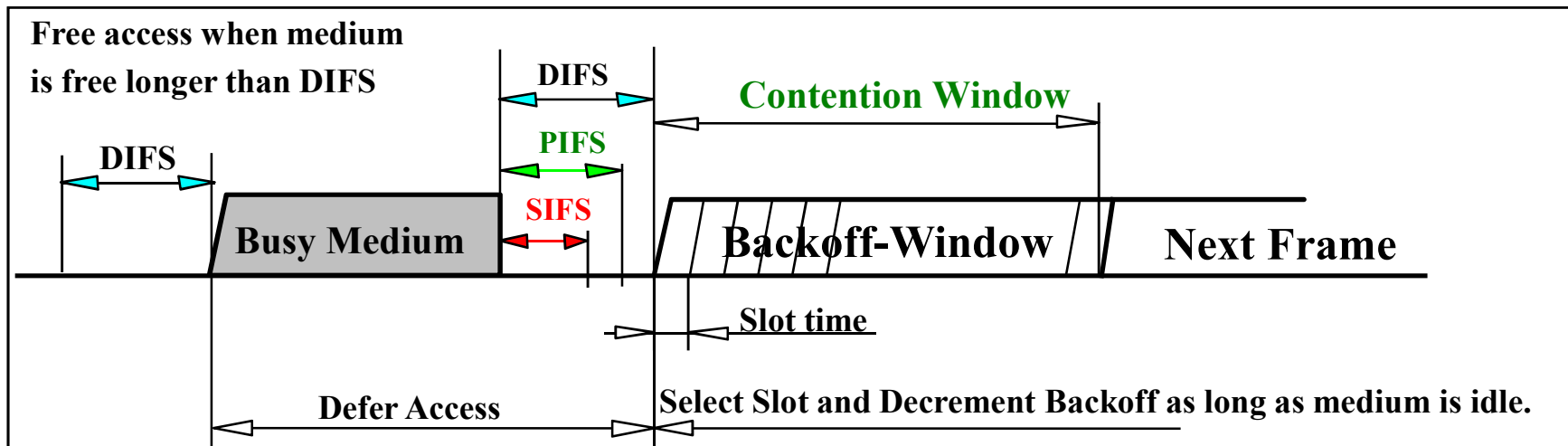
- $EIFS = SIFS + (8 \times \text{dimensiunea ACK}) + \text{lungimea Preambul} + \text{lungimea header PCLP} + DIFS$

SIFS < PIFS < DIFS < EIFS

CSMA/CA

- slot temporal:

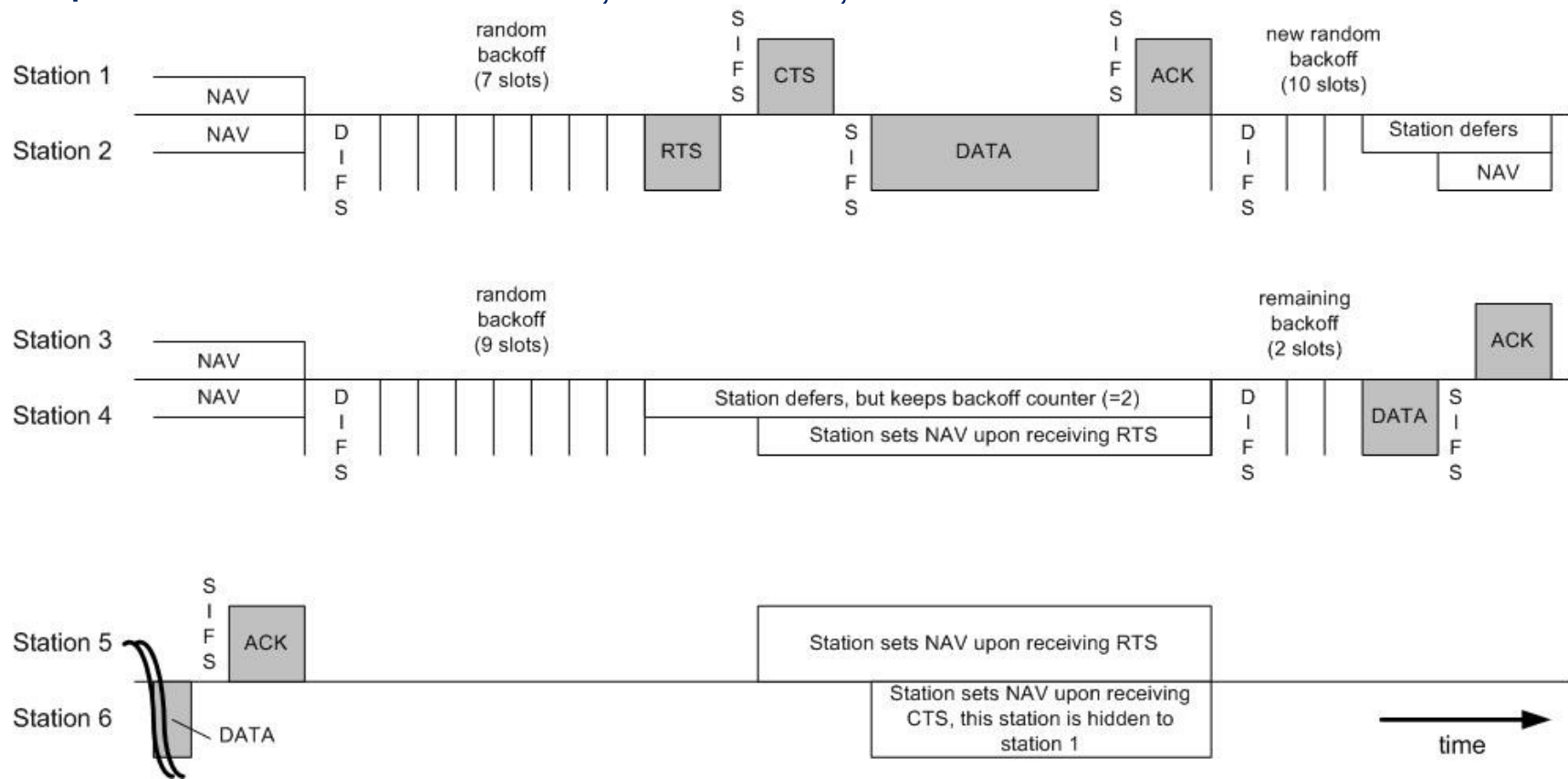
- durata CCA + întârzierea Rx/Tx + timpul de propagare prin aer ($1\mu\text{s}$) + întârzierea de procesare MAC ($<2\mu\text{s}$)
- CCA (clear channel assessment) – funcția de determinare a stării curente de utilizare mediului radio
- Durate pt DSSS: $20\mu\text{s}$
- Durate pt OFDM: $9\mu\text{s}$ (20MHz), $13\mu\text{s}$ (10MHz), $21\mu\text{s}$ (5MHz)



CSMA/CA

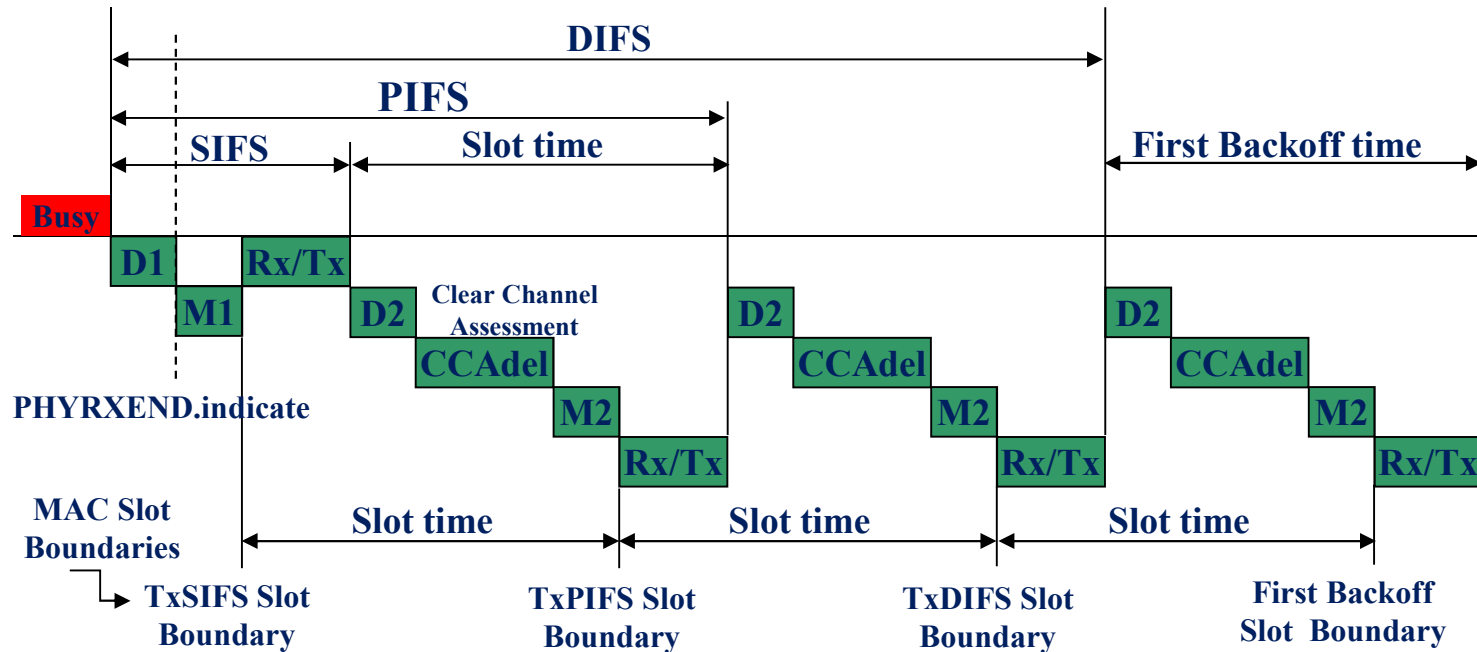
- NAV (Network Allocation Vector):

- Indicator (din fiecare stație) al intervalului de timp când mediul este ocupat de o transmisie neinițiată de stație.



CSMA/CA

Cronograma operațiilor la Rx și Tx pentru CSMA/CA



$D1 = \text{întîrziere RxRF} + \text{întîrziere Rx PLCP}$

$Rx/Tx = \text{timp de comutare Rx - Tx}$

$CCAdel = CCATime - D1$

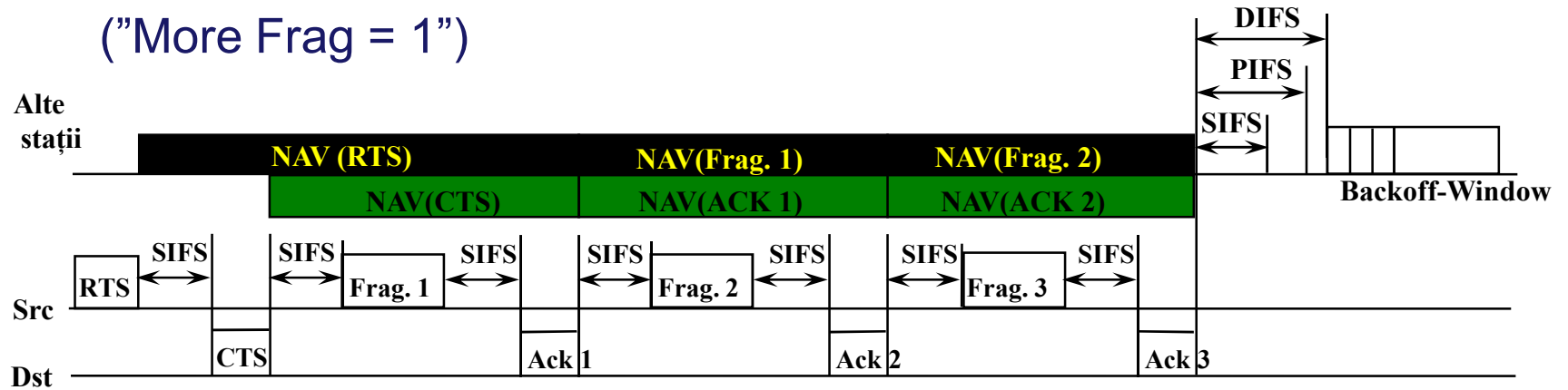
$D2 = D1 + \text{timpul de propagare prin aer}$

$M1 = M2 = \text{întîrziere de procesare MAC}$

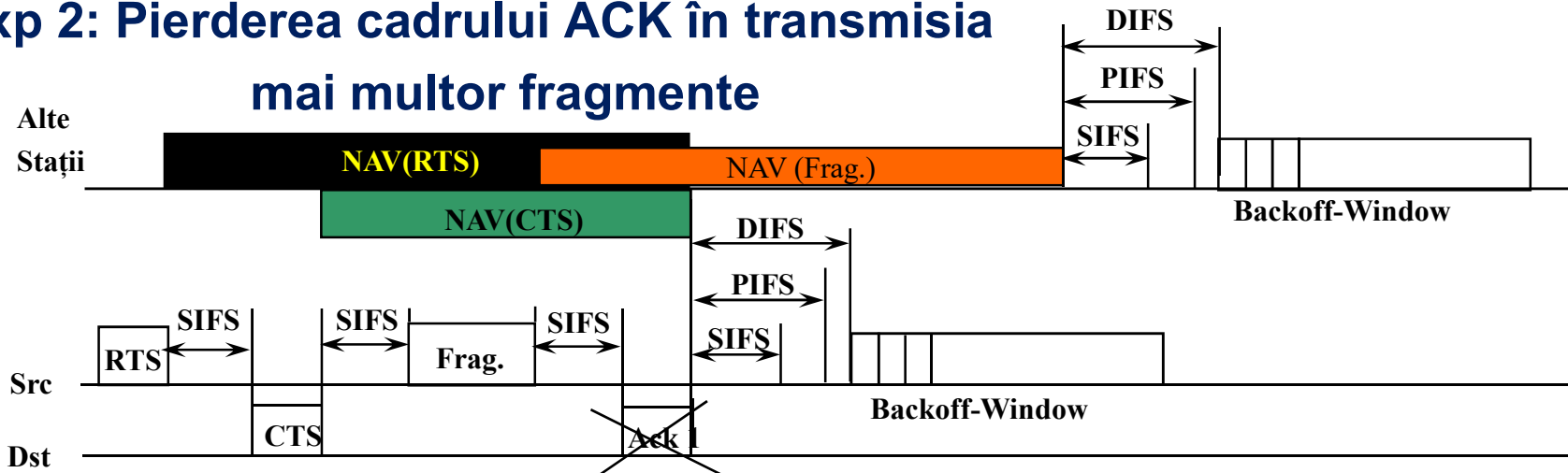
CSMA/CA

Exp 1: transmisia mai multor fragmente (cadre) succesive

("More Frag = 1")

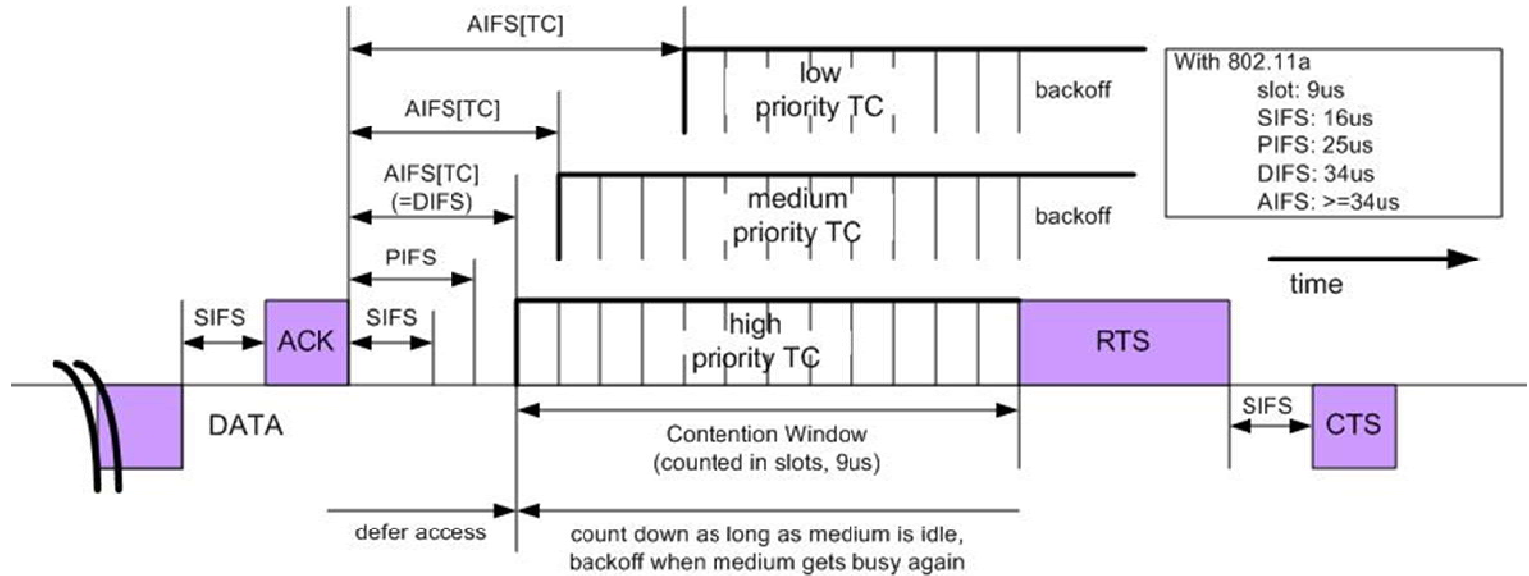


Exp 2: Pierderea cadrului ACK în transmisia mai multor fragmente



CSMA/CA

IEEE802.11e



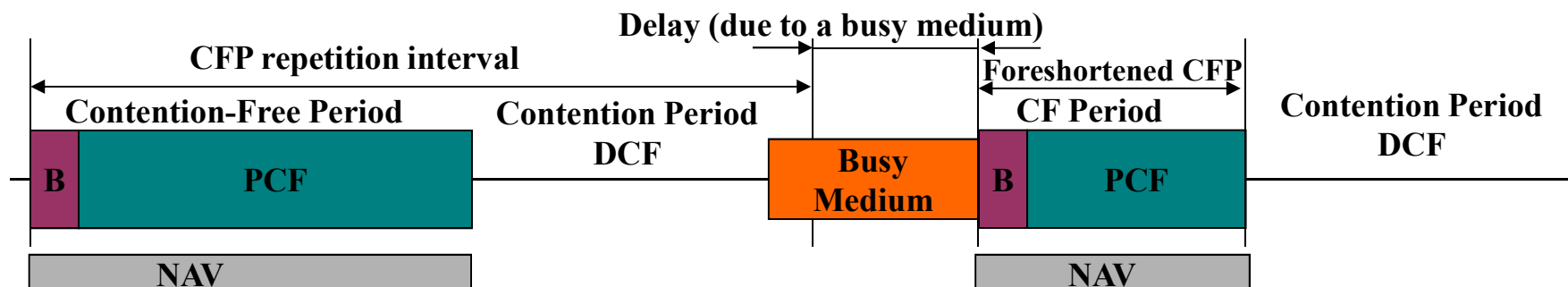
PCF

- Poll – eliminates contention
- PC – Point Coordinator
 - Polling List
 - Over DCF
 - PIFS
- CFP – Contention Free Period
 - Alternate with DCF
- Periodic Beacon – contains length of CFP
- CF-Poll – Contention Free Poll
- NAV prevents during CFP
- CF-End – resets NAV

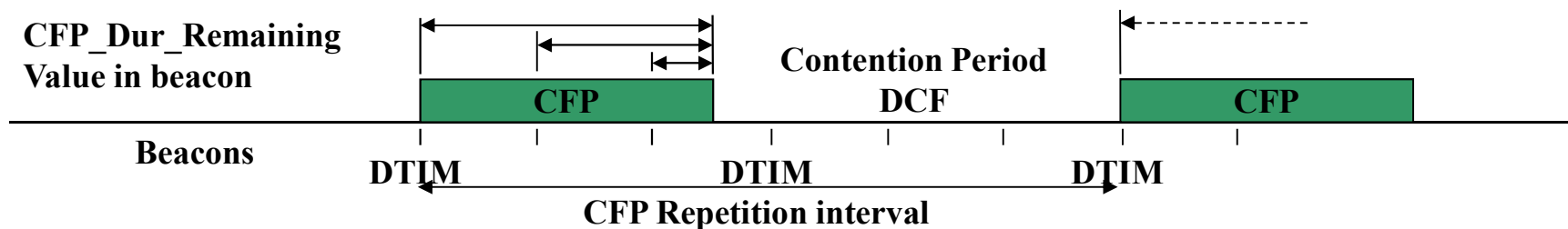
mm

Retele radio locale (WLAN)

Accesul hibrid PCF + DCF



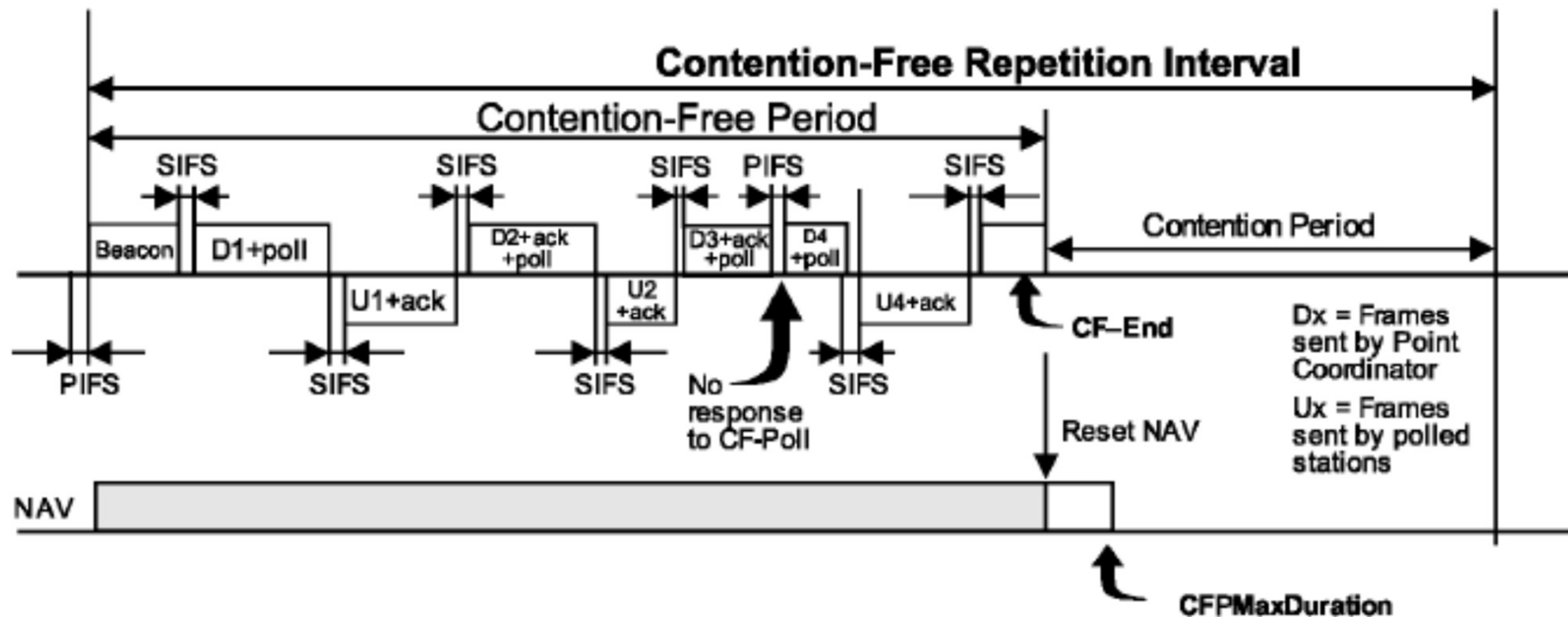
Semnalul "Beacon" și CFP



Retele radio locale (WLAN)

Exp 3: Transmisia a 4 cadre MAC cu PCF

- La început CFP, apoi intervalul CP



Operații în WLAN

Asocierea

- stabilește relația stației cu AP-ul
- Stațiile scanează benzile de frecvență și selectează AP-ul cu cea mai bună calitate a legăturii
 - scanare activa: se transmite "Probe request" pe un canal de frecvență și se evaluează răspunsul asociat;
 - scanare pasivă: se evaluează calitatea comunicației din mesajul "beacon" (PCF);
- AP-ul gestionează o listă de stații asociate în MAC FW
 - capacitățile stației (rata binară);
 - permite repetarea semnalului (relay) în interiorul BSS;
- Adresele MAC ale stațiilor sunt memorate în tabela de învățare de comutare, împreună cu porturile la care se află;

Operații în WLAN

Autentificarea

- Pentru a controla accesul la rețea

Tehnici de autentificare în WiFi:

- Se furnizează identitatea unei alte stații;
- Stațiile se autentifică altor stații (rețea ad-hoc) sau AP-ului înainte de transmiterea de date sau de asociere;
- În sisteme deschise - nu se realizează autentificare (modul implicit)
- Tehnica de autentificare în WiFi → cu cheie partajată
 - Stația cerre autentificare la STb;
 - STb răspunde cu un *text*;
 - STa criptează textul și îl trimite la STb
 - STb decriptează și trimite lui STa un cadru de management al autentificării

se utilizează algoritmul WEP, WPA, etc; și este opțional;

Operații în WLAN

Crearea unui ESS

- Rețeaua infrastructură se identifică prin ESSID
- Toate AP-ului din ESS trebuie configurate conform cu ESSID;
- stațiile radio trebuie configurate cu SSID dorit identic cu ESSID;
- La pornirea stațiilor, acestea transmit un cadru "Probe request" și stabilesc AP-ul cu care se vor asocia astfel:
 - cel mai bun AP care are ESSID identic cu SSID dorit
 - cel mai bun AP, dacă "SSID dorit" este "Any".

Operații în WLAN

Crearea unui IBSS

Configurarea pentru funcționarea ca IBSS

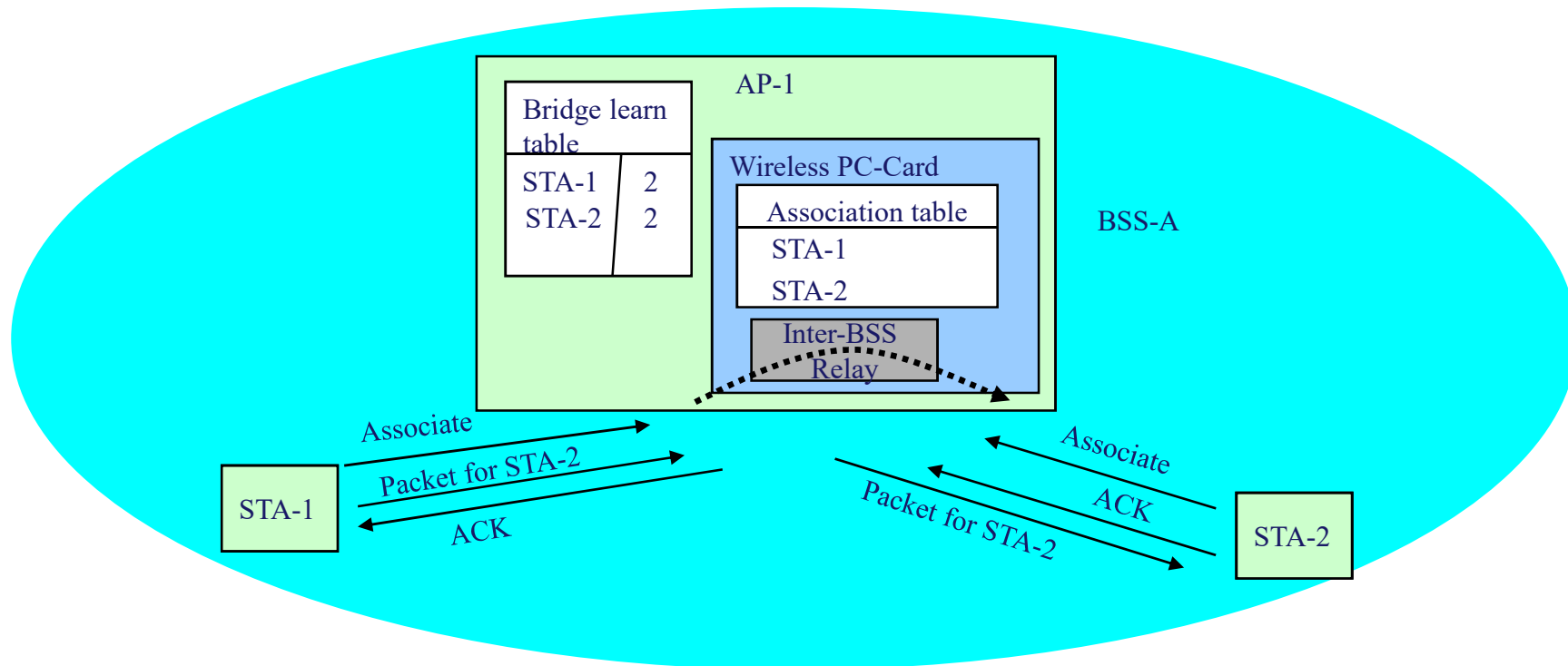
- Se caută un *beacon* care conține același SSID (nume de rețea) cu cel care este căutat;
- Dacă stația recepționează *beacon* cu SSID-ul *dorit* de la un AP, atunci aceasta se va asocia cu AP-ul;
- Dacă stația recepționează *beacon* cu SSID-ul *dorit* de la o altă stație care funcționează în modul IBSS, atunci aceasta se va alătura IBSS-ului;
- Dacă stația nu recepționează nici *beacon* cu SSID-ul *dorit* atunci îl va genera ea, stabilindu-și propriul IBSS-ului

Toate stațiile din IBSS participă transmițând *beacon*

- Transmisia beacon se face după un *timer* aleator pentru fiecare stație
- Când *timer*-ul expiră, stația respectivă transmite *beacon*.

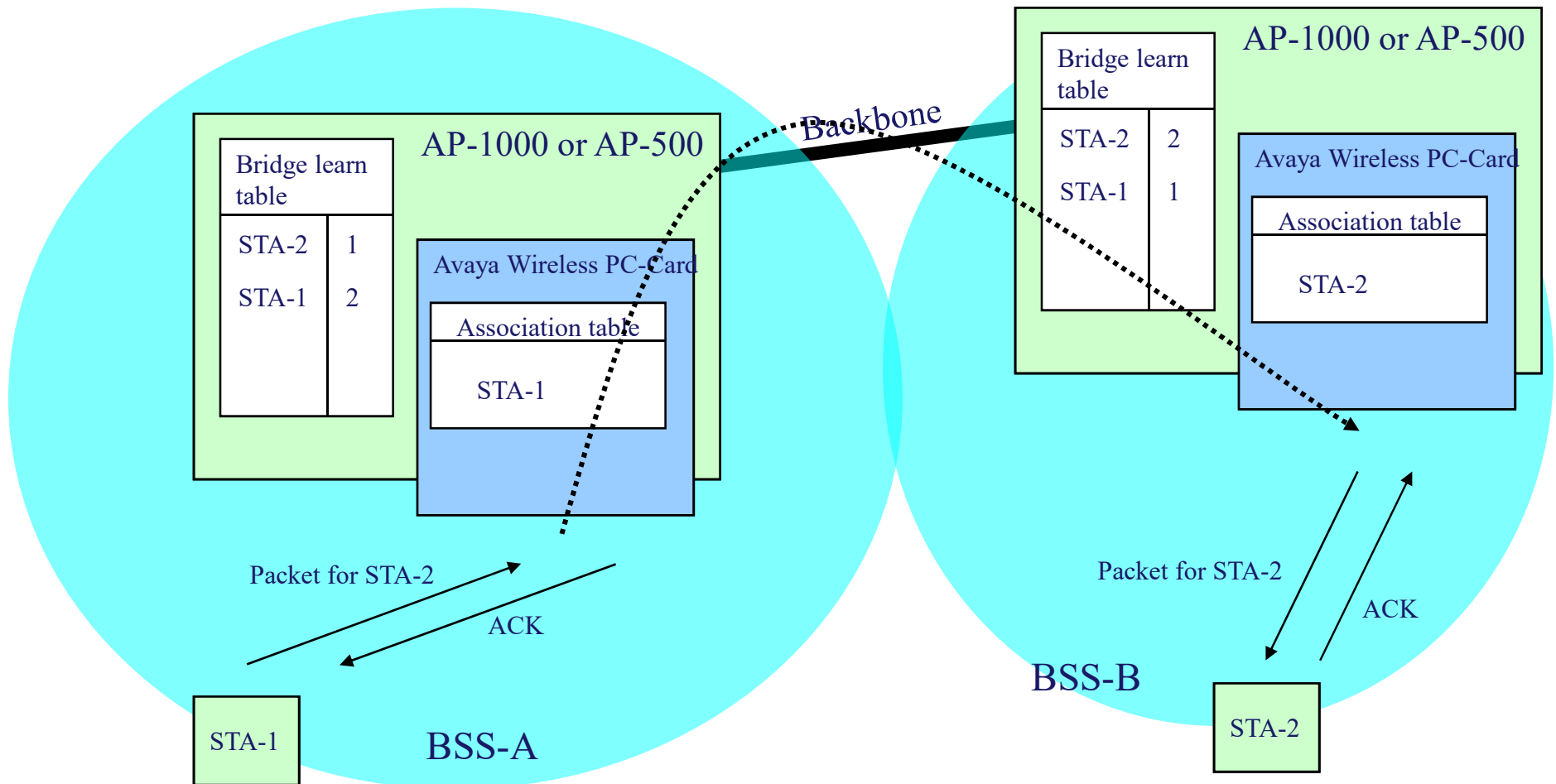
Operații în WLAN

Flux de trafic intra-BSS



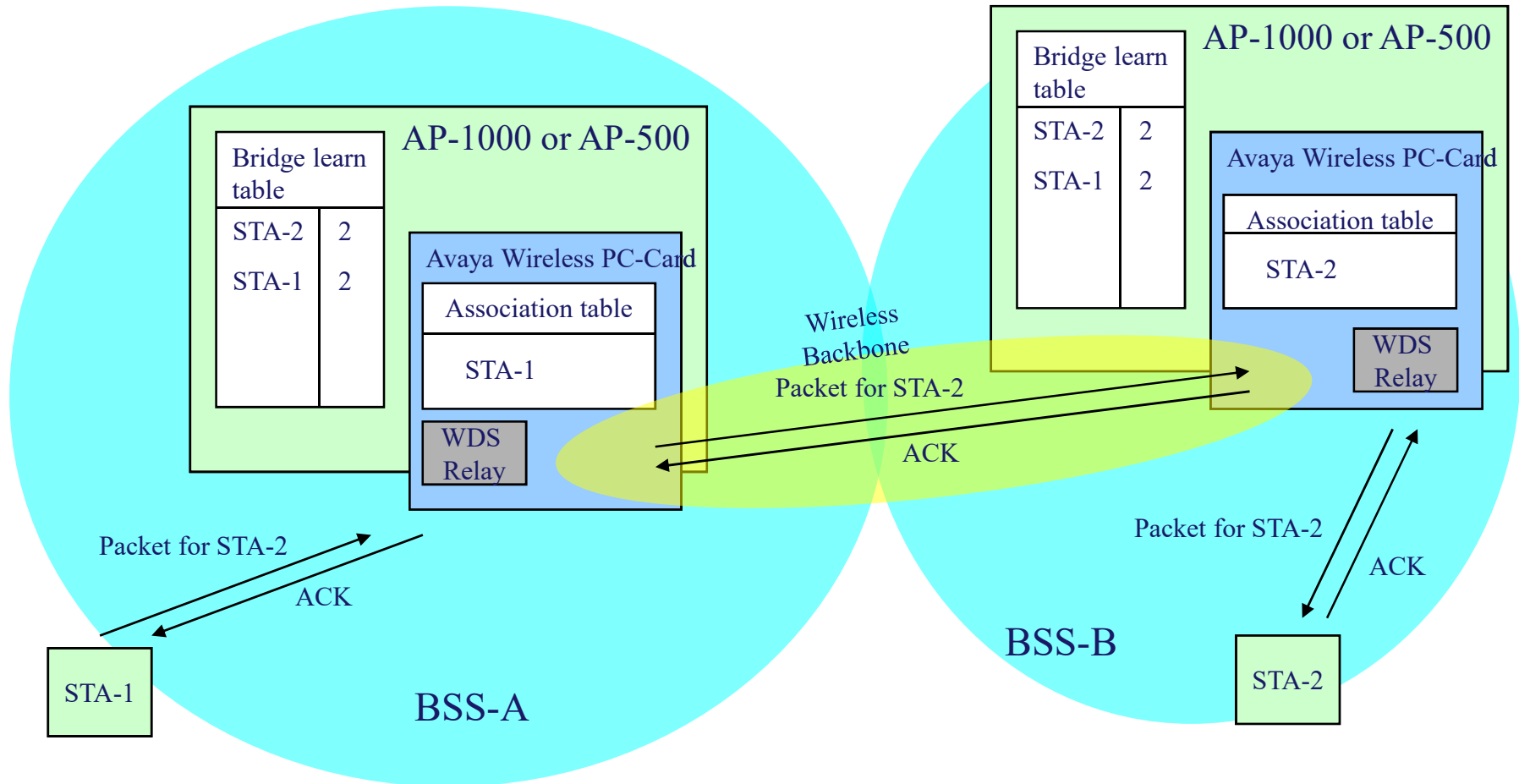
Operații în WLAN

Flux de trafic în ESS cu DS cablat



Operații în WLAN

Flux de trafic în ESS cu DS radio (WDS)



WLAN

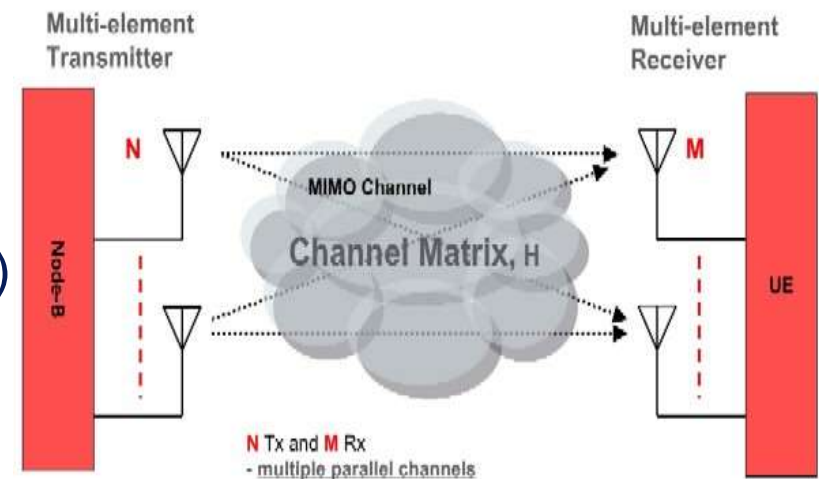
Îmbunătățiri WLAN in IEEE802.11n

Nivel fizic

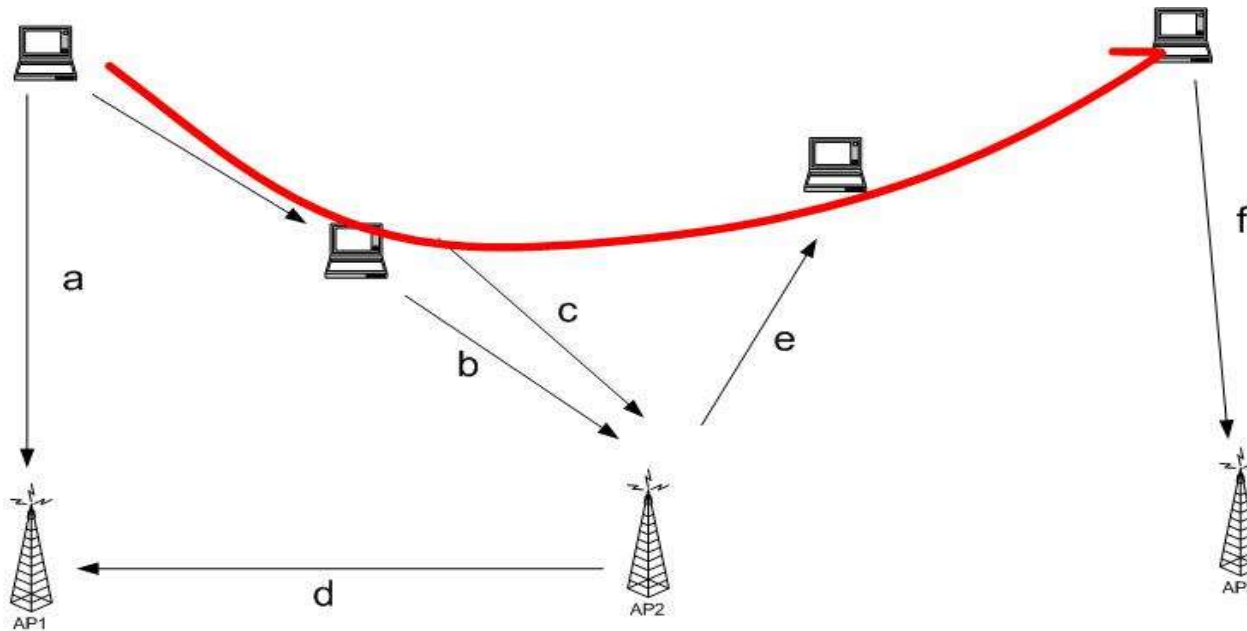
- Utilizare MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output) – 2,4,8 antene de emisie / recepție
 - multiplexare spațială
 - codare spațio-temporală
 - formarea spotului (beam forming)
- Extindere bandă canal

Nivel MAC

- Agregarea cadrelor cu una sau mai multe destinații;
- Agregarea datelor
- Blocare ACK
- Management de putere



Retele radio locale (WLAN)



- (a) --- The station finds AP1, it will authenticate and associate.
- (b) --- As the station moves, it may pre-authenticate with AP2.
- (c) --- When the association with AP1 is no longer desirable, it may reassociate with AP2.
- (d) --- AP2 notify AP1 of the new location of the station, terminates the previous association with AP1.
- (e) --- At some point, AP2 may be taken out of service. AP2 would disassociate the associated stations.
- (f) --- The station find another access point and authenticate and associate.

WLAN

Performanțe IEEE802.11n cu tehnici de nivel fizic

- Cu un flux radio (SISO)

Modulație	Rată Codare	Nr. Purtătoare date	Rata binară Mbps (GI=800ns)	Rata binară Mbps (GI=400ns)
BPSK	1/2	52/108	6.5/13.5	7.22/15
QPSK	1/2	52/108	13/27	14.44/30
QPSK	3/4	52/108	19.5/40.5	21.66/45
16QAM	1/2	52/108	26/54	28.88/60
16QAM	3/4	52/108	39/81	43.33/90
64QAM	2/3	52/108	52/108	57.66/120
64QAM	3/4	52/108	58.5/121.5	65/135
64QAM	5/6	52/108	65/135	72.22/150

WLAN

Performanțe IEEE802.11n cu tehnici de nivel fizic

- Cu două fluxuri radio MIMO 2x2

Modulație	Rată Codare	Nr. Purtătoare date	Rata binară Mbps (GI=800ns)	Rata binară Mbps (GI=400ns)
BPSK	1/2	52/108	13/27	14.44/30
QPSK	1/2	52/108	26/54	28.88/60
QPSK	3/4	52/108	39/81	43.32/90
16QAM	1/2	52/108	52/108	57.76/120
16QAM	3/4	52/108	78/162	86.66/180
64QAM	2/3	52/108	104/216	115.32/240
64QAM	3/4	52/108	117/243	130/270
64QAM	5/6	52/108	130/270	144.44/300

WLAN

Performanțe IEEE802.11n cu tehnici de nivel fizic

- Cu 4 fluxuri radio MIMO 4x4

Modulație	Rată Codare	Nr. Purtătoare date	Rata binară Mbps (GI=800ns)	Rata binară Mbps (GI=400ns)
BPSK	1/2	52/108	26/54	28.88/60
QPSK	1/2	52/108	52/108	57.76/120
QPSK	3/4	52/108	78/162	86.64/180
16QAM	1/2	52/108	104/216	115.52/240
16QAM	3/4	52/108	156/324	173.32/360
64QAM	2/3	52/108	208/432	230.64/480
64QAM	3/4	52/108	234/486	260/540
64QAM	5/6	52/108	260/540	288.88/600