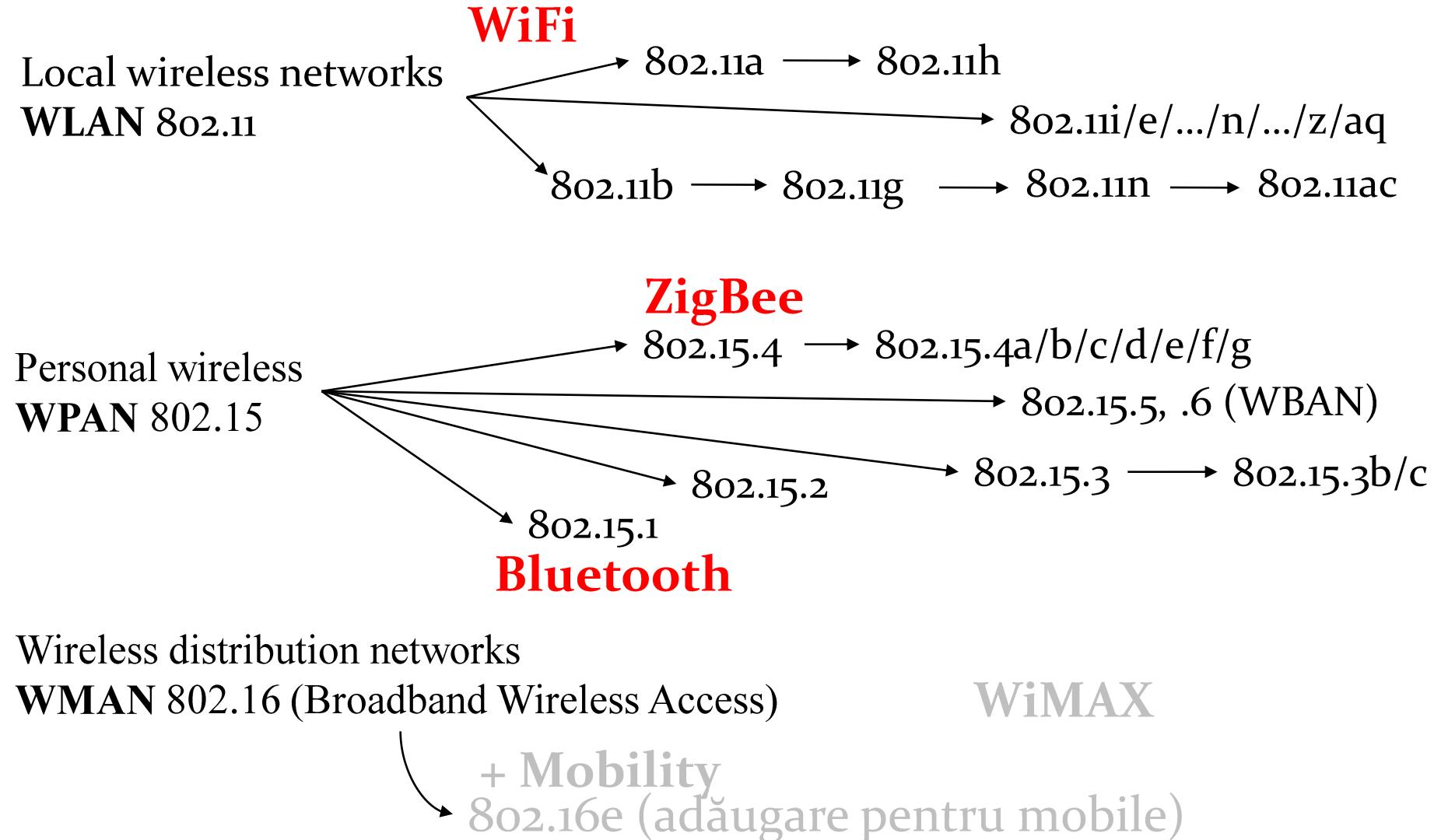


Rețele locale fără fir (Wireless LANs)

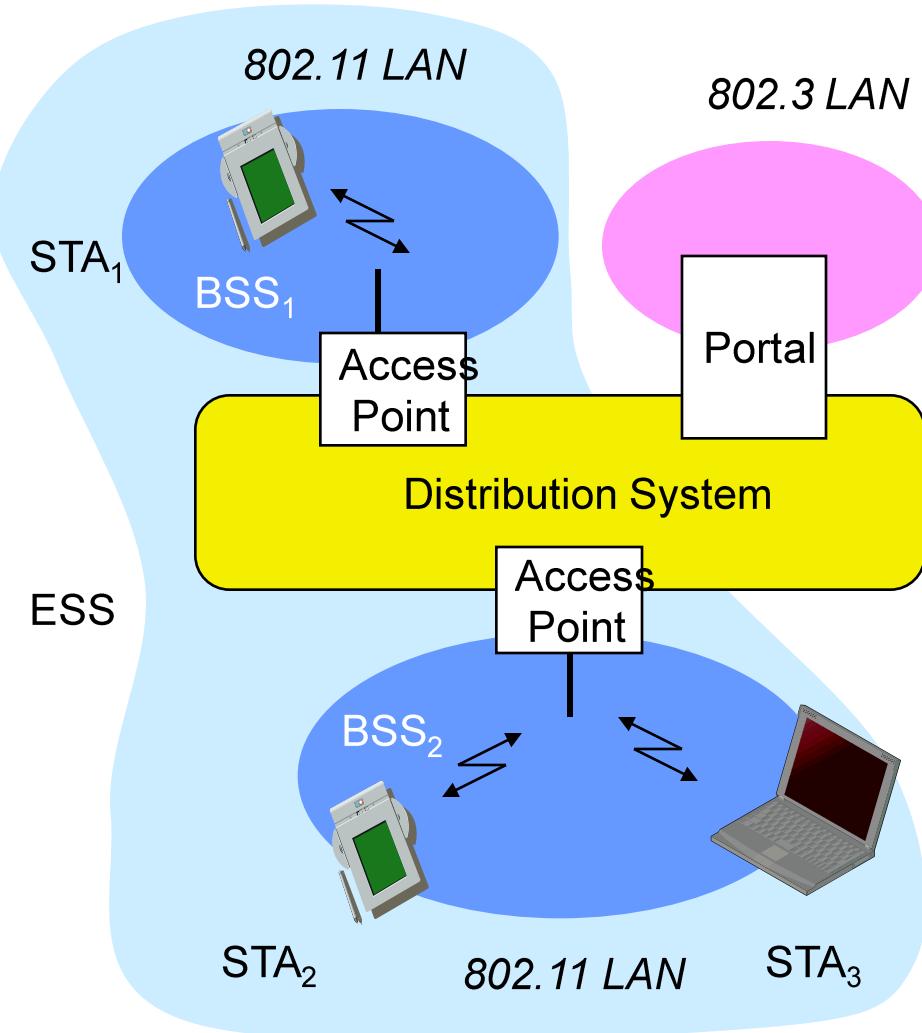
Cuprins

- organizare, standarde
- nivelul fizic
 - » 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, ac
- nivelul legatura de date
 - » CSMA/CA, Schimbul de cadre
 - » powersave, handover
- multihop
 - » modul ad-hoc

Standarde comunicării mobile IEEE

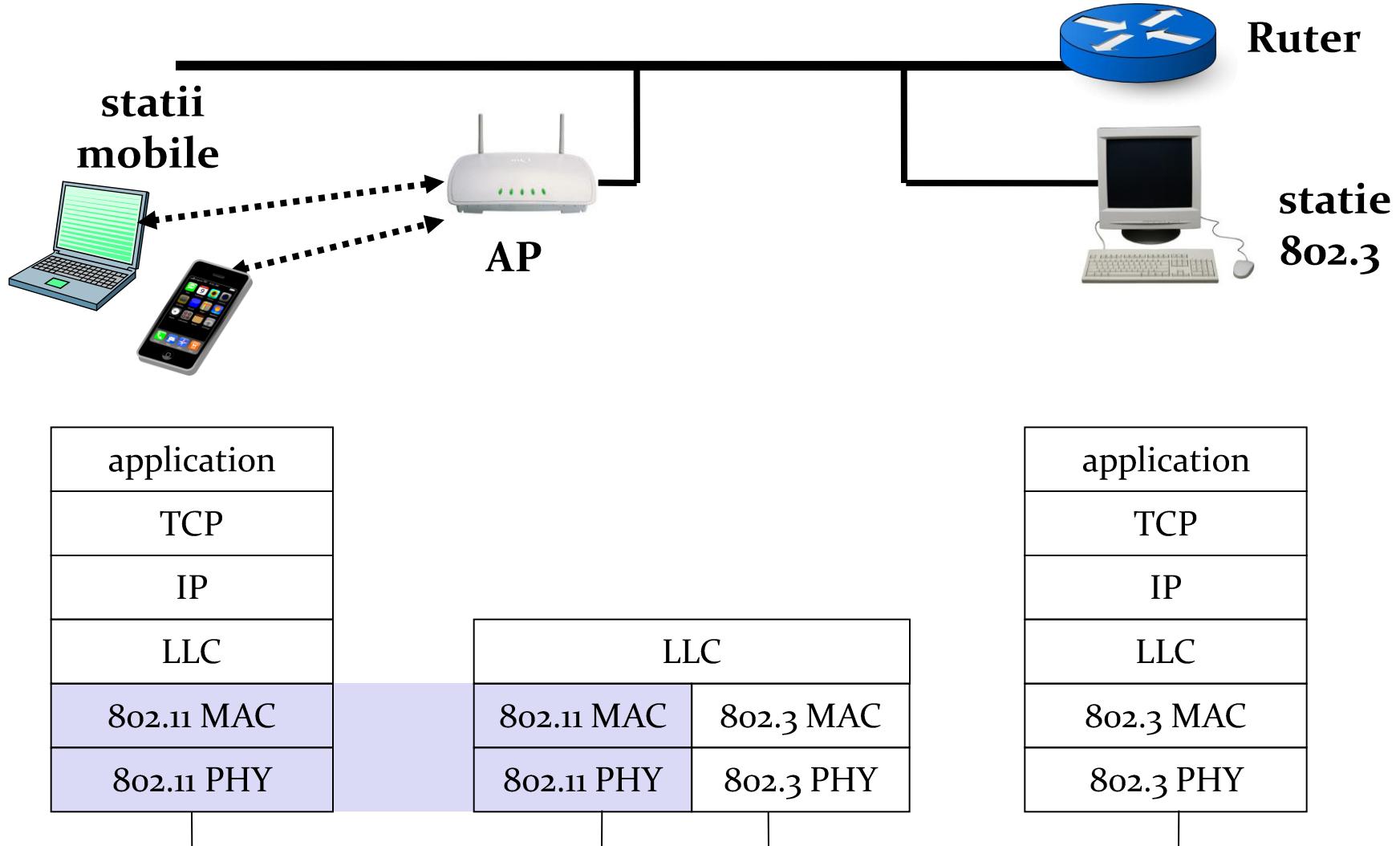


802.11 - infrastructure network



- **Station (STA)**
 - terminal with access mechanisms to the wireless medium and radio contact to the access point
- **Basic Service Set (BSS)**
 - group of stations using the same radio frequency
- **Access Point**
 - station integrated into the wireless LAN and the distribution system
- **Portal**
 - bridge to other (wired) networks
- **Distribution System**
 - interconnection network to form one logical network (ESS: Extended Service Set) based on several BSS

exemplu 802.11 + 802.3



802.11 nivele, funcții

- MAC
 - access la mediu
 - fragmentare, criptare
 - gestiune putere (power save mode)
- MAC management
 - sincronizare, handover, asociere, autentificare
- PLCP (PHY layer convergence protocol)
 - incapsulare pachete MAC
 - carrier sense
- PMD (PHY medium dependent)
 - codare, modulare BPSK, QPSK, QAM
 - Dependent de DSSS, FHSS, sau OFDM
- management PHY
 - alegerea canalului

Organizare 802.11

Familia de standarde IEEE 802.11

- Specifică PHY(L1) și MAC(L2) pentru rețelele locale wireless (WLAN)
- MAC: bazat pe CSMA/CA
- PHY: infraroșu, radio 2.4GHz, 5GHz
- IEEE 802.11b (Wi-Fi) - 1999
 - 11 Mbps în banda 2.4GHz, folosește DSSS, CCK
- IEEE 802.11a - 1999
 - 54 Mbps în banda 5 GHz ,
 - OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)
- IEEE 802.11g - 2003
 - 54 Mbps în banda 2.4 GHz, OFDM
- IEEE 802.11n - 2009
 - 150Mbps/canal în banda 2.4 GHz OFDM, MIMO (max 600Mbps)
- IEEE 802.11ac - 2014
 - 24+5GHz SISO@80Mhz = 433Mbps, 2x2MIMO@160MHz = 1.69Gbps

nivelul fizic (L1)

802.11 în 2.4GHz

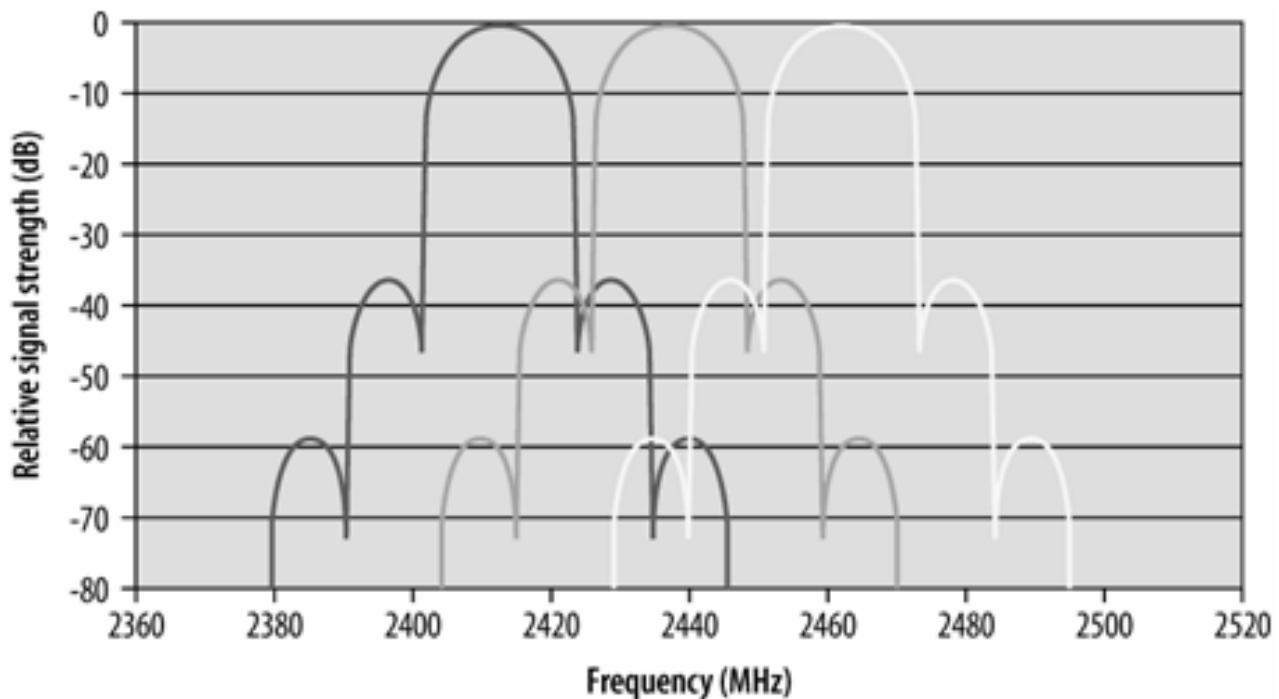
- Frecvențe fără licență ISM
(industrial științific medical)
2.4GHz

- Un canal $f_{sus} - f_{jos} = 22 \text{ MHz}$

- **3 canale independente**

canal	f_{jos}	f_{sus}
1	2.401	2.423
2	2.404	2.428
3	2.411	2.433
4	2.416	2.438
5	2.421	2.443
6	2.426	2.448
7	2.431	2.453
8	2.436	2.458
9	2.441	2.463
10	2.446	2.468
11	2.451	2.473
12		
13		

Benzile 2.4GHz (11b, 11g, 11n)



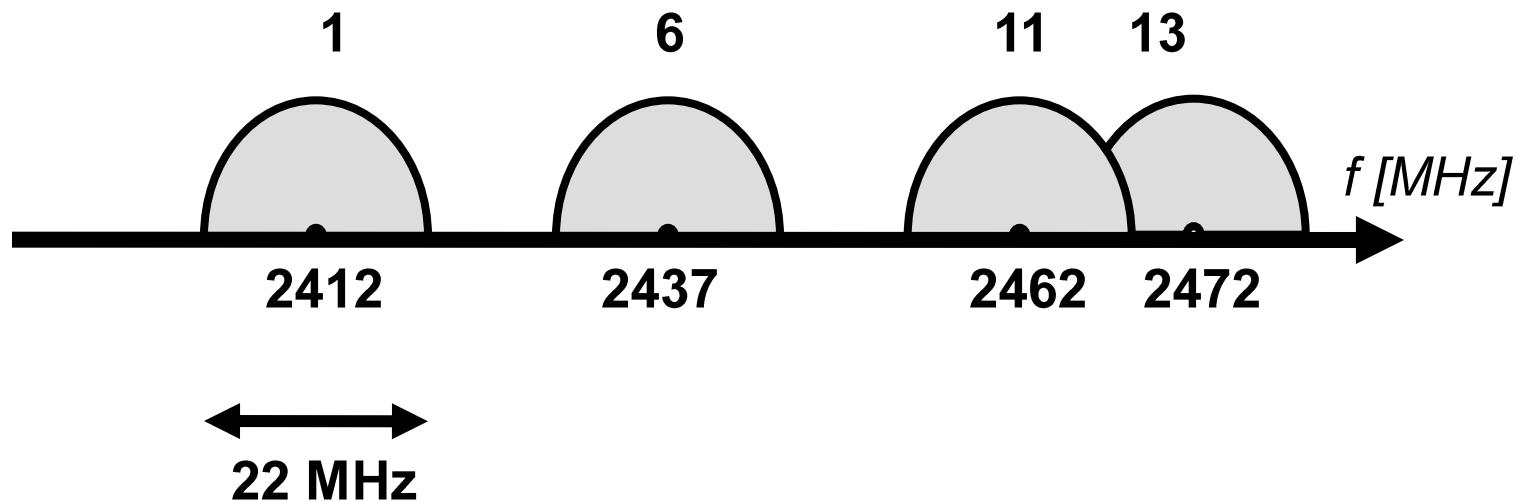
KEY

- Channel 1
- Channel 6
- Channel 11

Dispunerea canalelor în 2.4GHz

Europa: 1-13

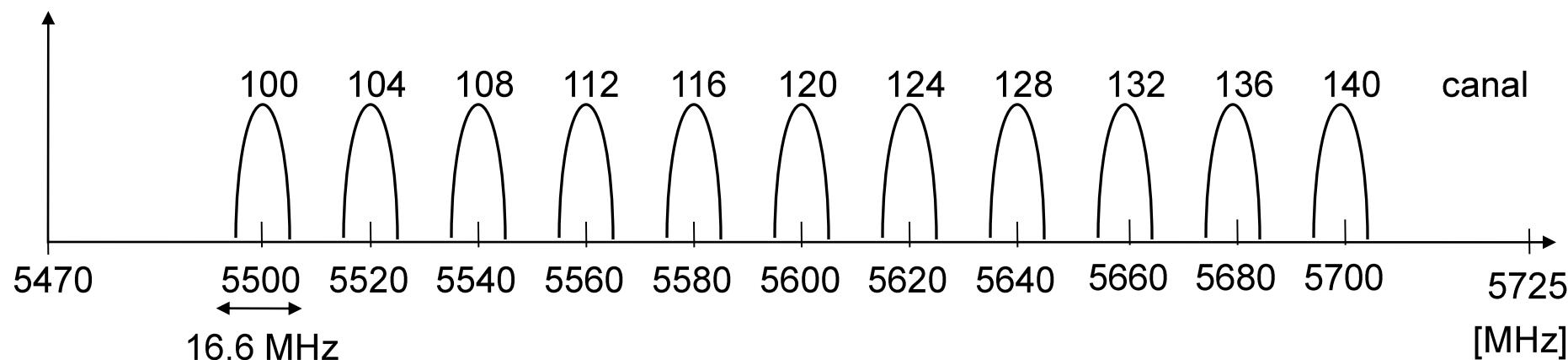
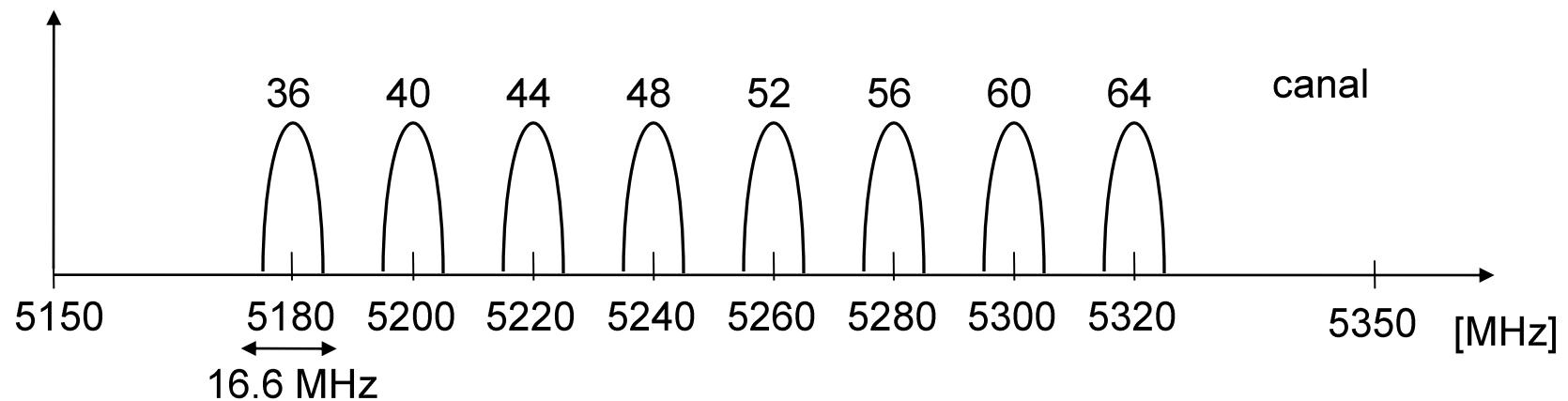
SUA/Canada 1-11



Caracteristici 802.11b

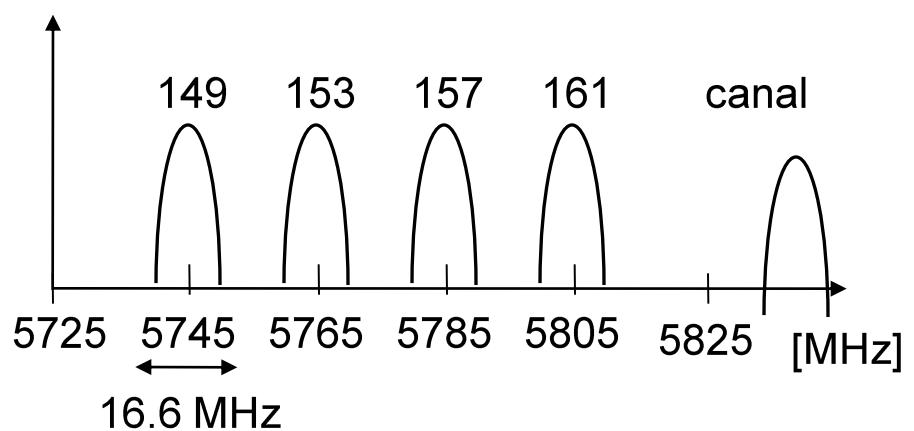
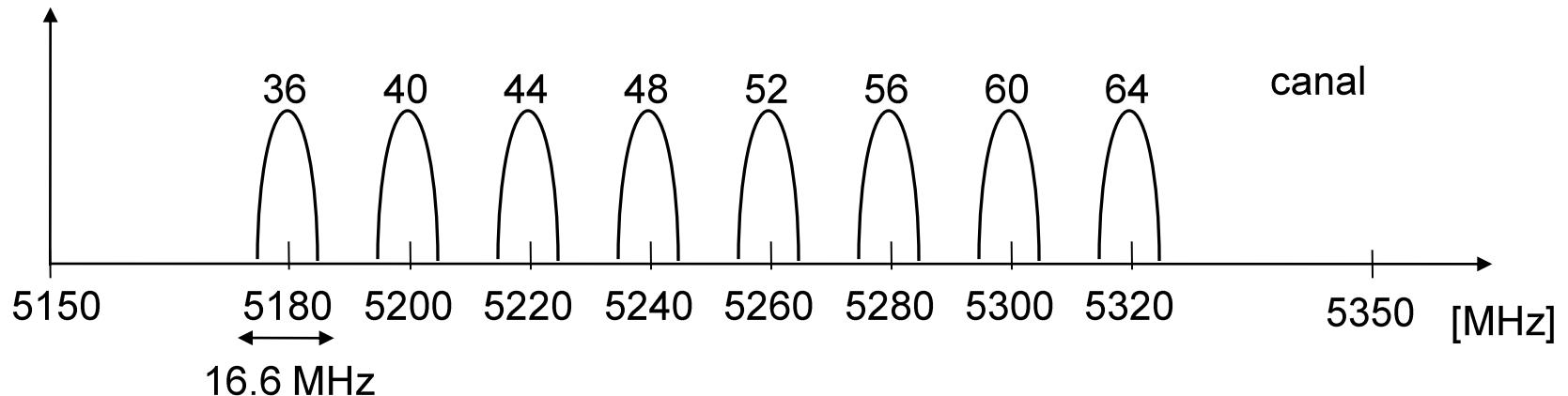
- MCS
 - » 1, 2, 5.5, 11 Mbps, depinde de SNR
 - » rata maxima la utilizator 6.3Mbps
- Aria de transmisie
 - » 150m exterior, 50m interior
- Frecventa
 - » 2.4 GHz
- Securitate
 - » limitata, WEP, SSID
- Avantaje:
 - Disponibilitate:
 - multe produse,
 - experienta tehnica,
 - frecventa fara licenta,
 - Multi producatori,
 - integrat in portabile, telefoane,
 - Preț scuzut
- Dezavantaje:
 - » Interferență
 - » QoS Inexistent,
 - » “best effort”,
 - » fără garanții
 - » viteză redusă
 - » Gestiune limitată
 - » nu există distribuție de chei,
 - » criptare simetrică

Canale 802.11a (Europa)



Frecventa centrală [MHz] =
5000 + 5 * numar canal

Canale 802.11a (SUA/Canada)



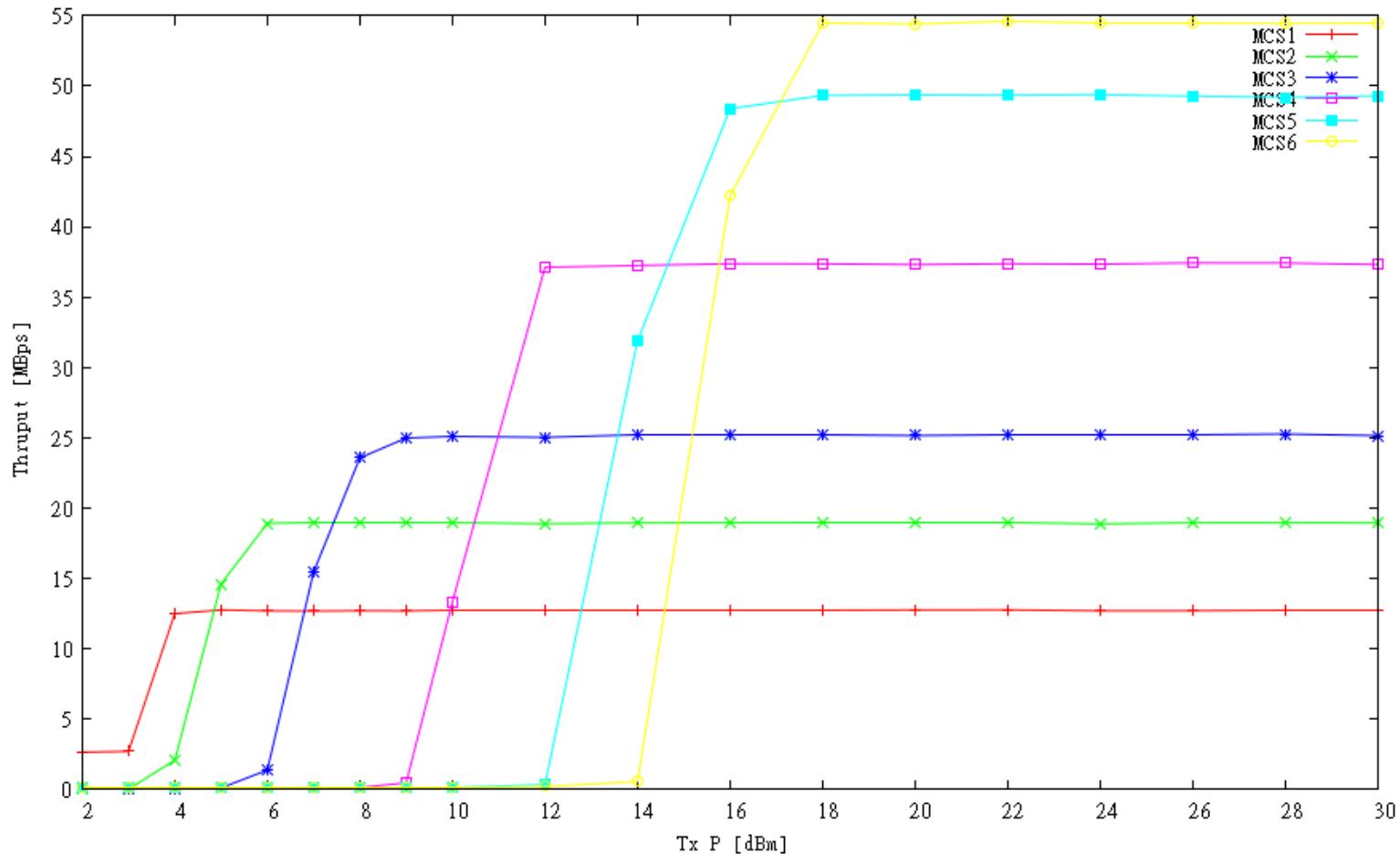
$$\text{Frecventa centrală [MHz]} = 5000 + 5 * \text{canal}$$

Caracteristici 802.11a

- MCS
 - » 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps, in functie de SNR
 - » Rata la utilizator (pachete mari): 5.3 (6), 18 (24), 24 (36), 32 (54)
 - » 6, 12, 24 Mbps obligatorii
- Aria de transmisie
 - » 100m exterior, 30m interior
- Frecvențe
 - » 5.15-5.25, 5.25-5.35, 5.725-5.825 GHz, canale: 12 (SUA), 19 (Euro)
 - » OFDM + DBPSK/DQPSK/QAM
- Security
 - » WEP, **WPA**, SSID
- Avantaje:
 - » frecvența fără licență
 - » **interferență redusă**
 - » pret scăzut
- Dezavantaje:
 - disponibilitate < 802.11 b & g
 - » propagare redusă (5GHz)
 - » QoS Inexistent,
 - » best effort
 - » fără garantii
 - » Gestiuțe limitată

MCS – puterea necesară

Măsurători în Leu corp A, 5.7GHz distanță 10m MCS=1-6:
MCS cu rată mare necesită putere mare



Propagare 802.11a

- De ce propagarea este mai slabă la 5GHz?

$$\text{Free Space Loss} = (4\pi df/c)^n$$

d = distanță

f = frecvența purtătoarei

n = exponent

mediu	n	propagare
coridoare	1.4 – 1.9	ghid undă
Camere mari, libere	2	free space loss
Camere cu mobilă	3	FSL + multicăi \ddagger $\$$
Camere încărcate	4	non LOS, difracție, împreună tiere
Între etaje	5	traversare podele, perete i

802.11g

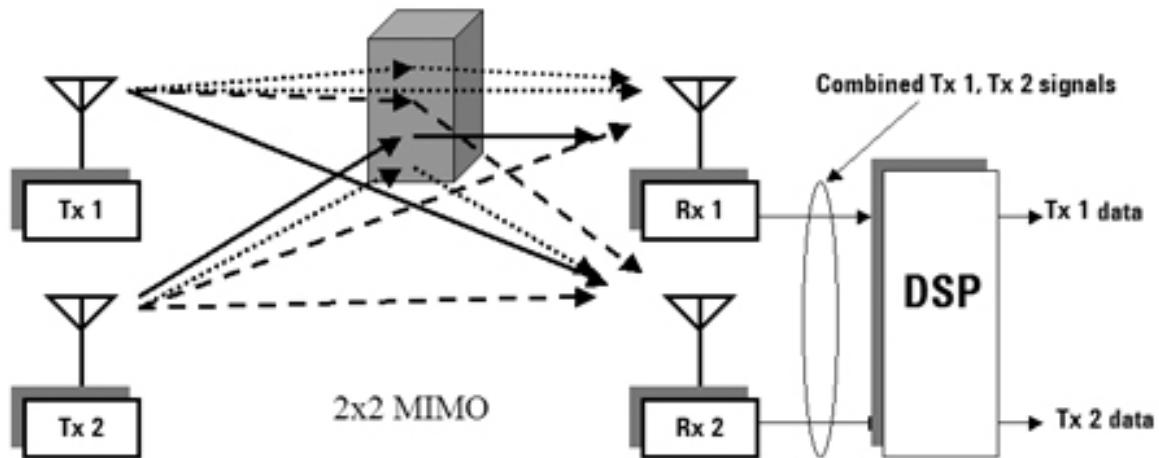
- 802.11g : Similar cu 802.11a, dar compatibil cu 802.11b
 - 2.4GHz
 - Rate(MCS) 11b – 1, 2, 5.5, 11 Mbps
 - Rate(MCS) 11g cu OFDM – 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54 Mbps

802.11n(2009)

- 2.4GHz și 5GHz, backward compatible cu a/b/g
 - Metode de coexistență cu dispozitivele vechi

- MIMO = Multiple Input Multiple Output

- max 4 antene
- Max 600Mbps



- Canale de 40Mhz
 - Ocupă 80% din spectrul 2.4GHz
- Agregare de cadre
 - Block acknowledgement
- Distanțe crescute: 70m interior

802.11n throughput

- Canal de 40MHz
 - Greenfield mode: doar în absență 11g
 - alipirea a 2 canale vecine (1+6 sau 6+11)
- Cum se obțin 600Mbps?
 - 1 stream, 20MHz = 72.2Mbps
 - 1 stream, 40MHz = 150Mbps
 - 2 stream, 20MHz = 144.4Mbps
 - ...
 - 4 stream, 40MHz = 600Mbps

802.11ac(2014)

- **Doar 5GHz**
- Compatibil cu 11a și 11n
- Obligatoriu 80MHz, optional 160MHz
- Maximum 8 fluxuri spațiale
- 1 flux, 80MHz, 64QAM => 293Mbps (obligatoriu)
- 8 fluxuri, 160MHz, 256QAM => 3.5Gbps (maximum)

802.11ac

- Bandwidth up to 160 MHz (80 MHz mandatory), up to 8x MIMO, beamforming, SDMA via MIMO
- Example home configuration:
 - 8-antenna access point, 160 MHz bandwidth, 6.77 Gbit/s
 - 4-antenna digital TV, 3.39 Gbit/s
 - 2-antenna tablet, 1.69 Gbit/s
 - Two 1-antenna smartphones, 867 Mbit/s each



Canale alipite în 802.11ac

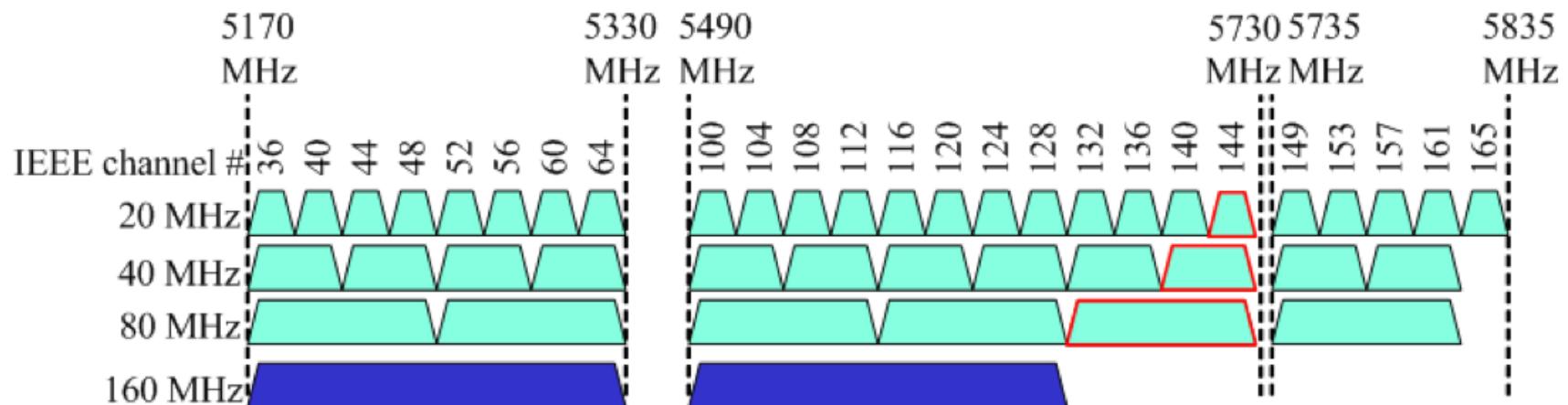


Figure 1: US and Global Operating Class Channel Allocation

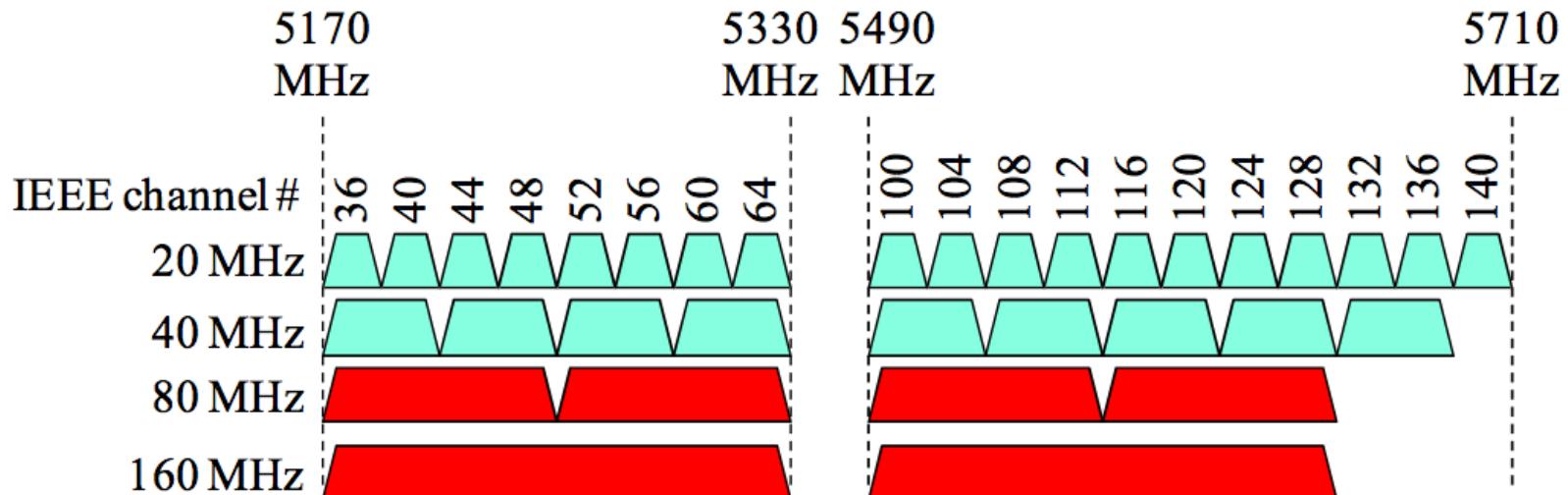


Figure 2: Europe and Japan Class Channel Allocation

Nivelul access la mediu

- Daca mediul este ocupat, se amâna transmisia
- Analogie: discuții la petrecere
- Virtual
 - » NAV = network allocation vector
 - » Fiecare stație asculta indicațiile de temporizare din toate cadrele
- Fizic
 - » Se detecteaza prezența purtătoarei unei alte stații
 - » Depinde de implementare => prag (decibeli)

802.11 MAC

● Acronime

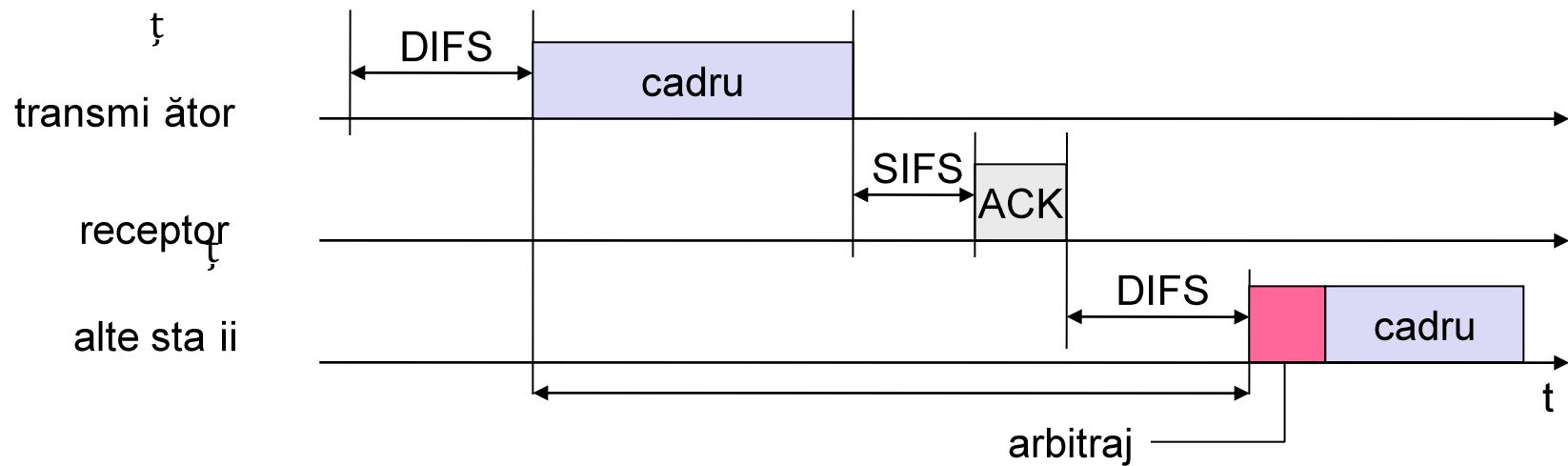
- » DCF (Distributed Coordination Function) - acces asincron
- » PCF (Point Coordination Function) - acces sincron
- » CSMA/CA - carrier sense multiple access, collision avoidance

● Metode de acces

- » DCF + CSMA/CA (obligatoriu)
 - politica de tip “best-effort”
 - broadcast and multicast
 - Evitarea coliziunilor (CA) prin „back-off“ randomizat
 - Distanta minima intre pachete consecutive
 - ACK
- » DCF + RTS/CTS (optional, dar implementat)
 - minimizeaza terminalele ascunse

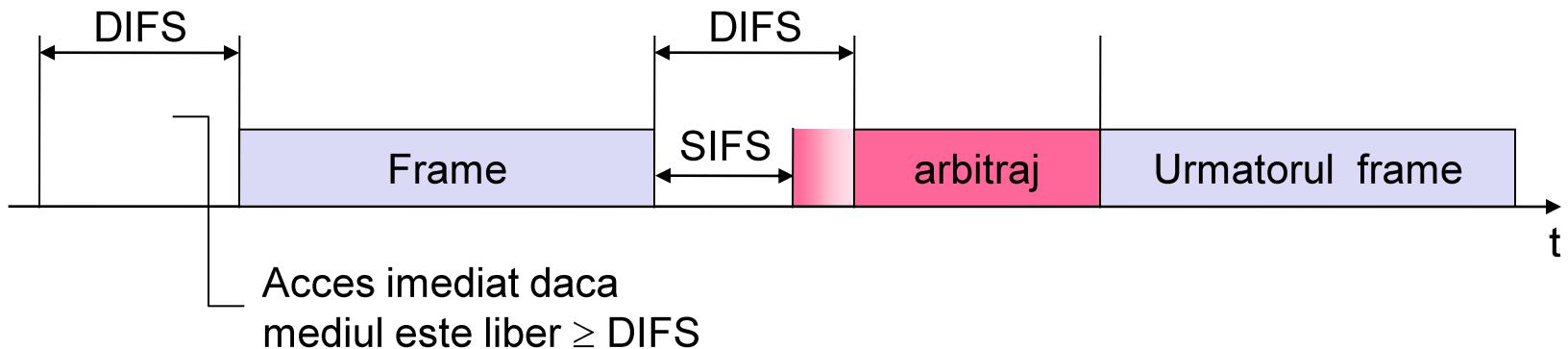
802.11 date unicast

- » transmitatorul asteapta DIFS inainte de transmisie
- » receptorul asteapta SIFS, trimite ACK pentru cadre corecte (CRC)
- » retransmisie automată a frame-urilor care nu primesc ACK

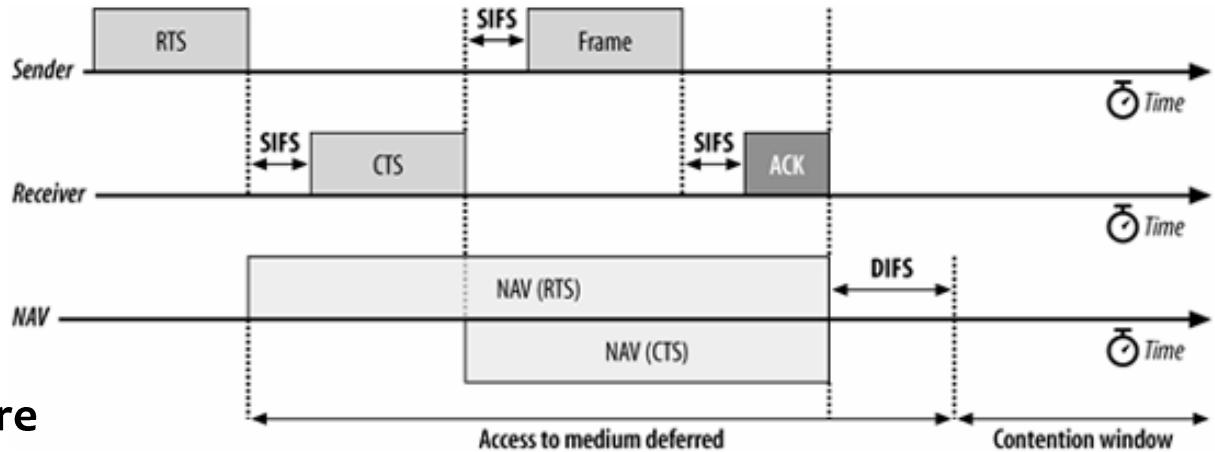


802.11 date unicast

- IFS - inter frame space
- Prioritati
 - » definite prin folosirea IFS diferite
 - » nu sunt garantate
 - » SIFS (Short IFS) = 10us pt 11b
 - prioritate mare: ACK, CTS, raspuns polling response
 - » DIFS (DCF IFS) = 50us pt 11b
 - prioritate redusa, pentru date



RTS/CTS, NAV



Detectia purtătoarei

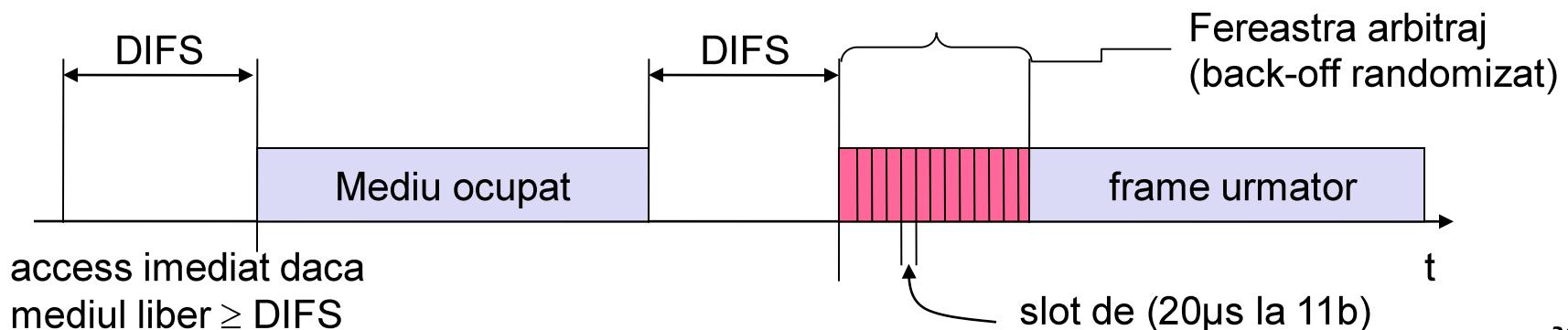
- **Fizic – nivel de putere**
- **Virtual – NAV**

NAV (network allocation vector)

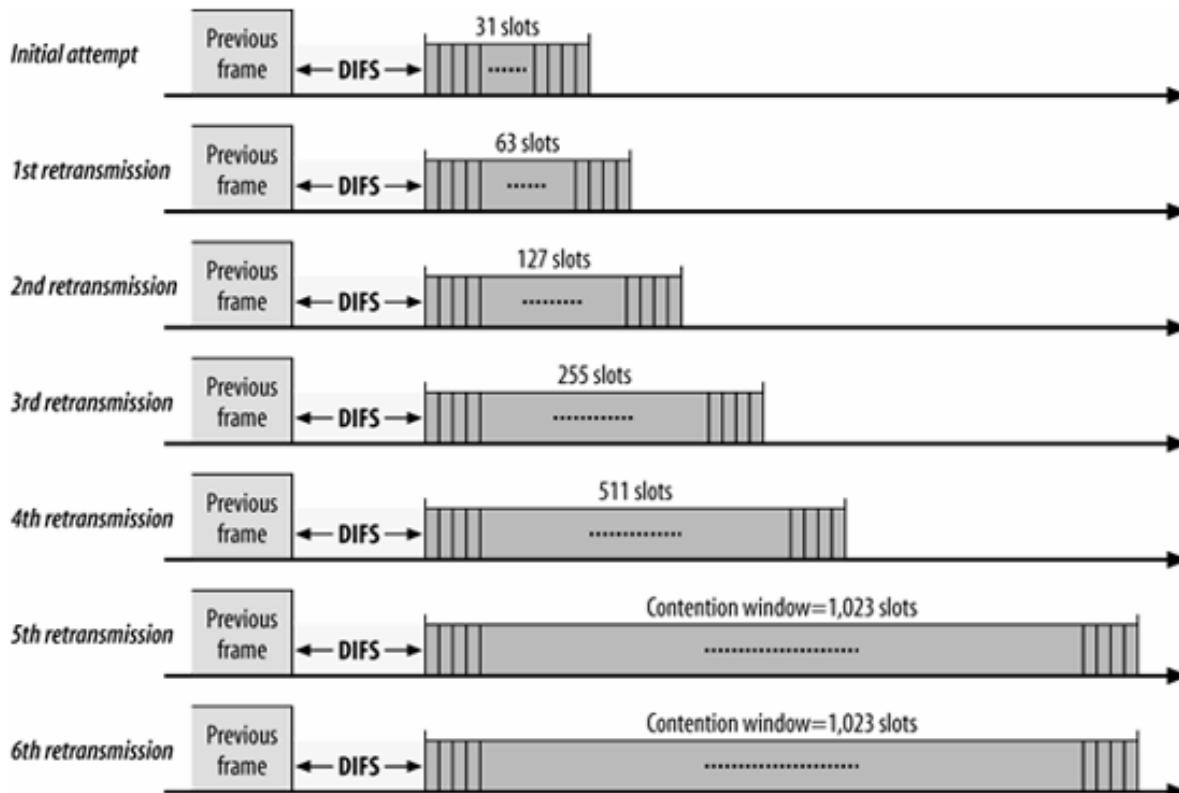
- Un timer care indică durata pentru care mediul este rezervat (ms)
- **NAV!=0 => mediul este ocupat**
- Majoritatea cadrelor 802.11 conțin un câmp ‘durată’
- Se folosește pentru operațiuni atomice (unitare)
 - RTS/CTS/Data/ACK
 - Data/ACK

802.11 CSMA/CA

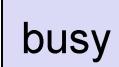
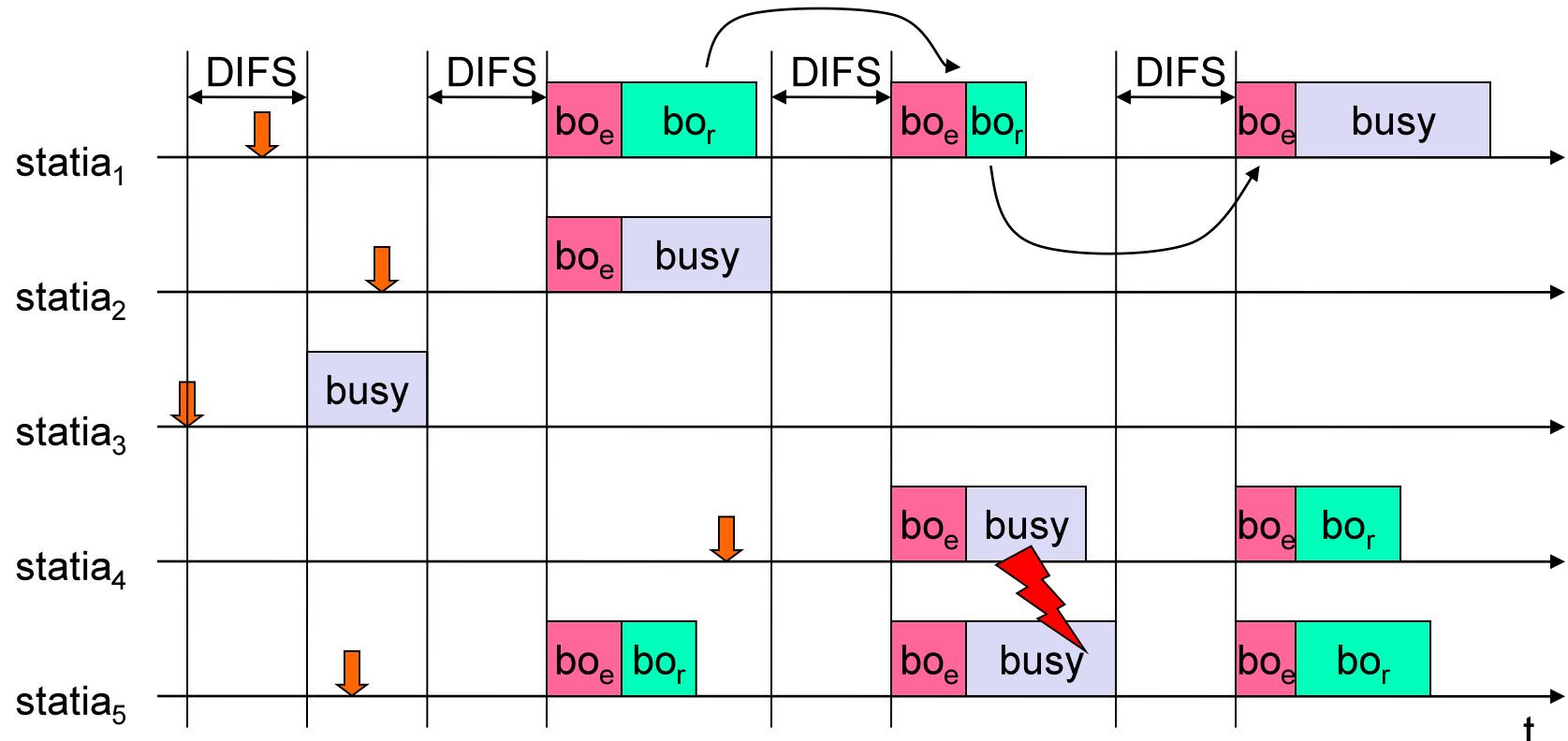
- statia evalueaza daca mediul e liber (Carrier Sense)
- mediu liber pentru DIFS => se poate transmite imediat
- mediu ocupat => statia asteaptă DIFS liber, apoi se asteaptă pentru arbitraj o perioadă randomizată în intervalul [0..CW) sloturi:
 - » dacă stația pierde arbitrajul (mediul devine ocupat) timpul ramas este memorat
 - » Transmisie + Succes (ACK) - se resetează nr sloturi = 31
 - » Transmisie + Insucces (no ACK) => nr de sloturi se dublează, max=1023



BEB (binary exponential backoff)



802.11 backoff - exemplu 5 sta ii



Mediu ocupat (frame, ack etc.)



backoff expirat

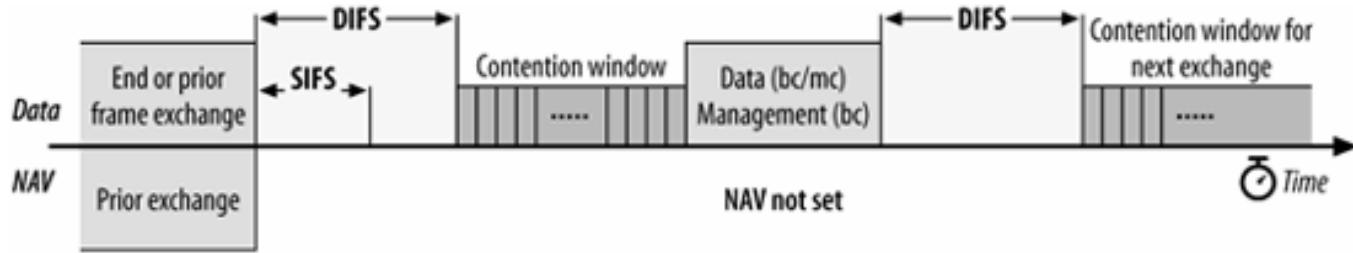


Un pachet devine disponibil



backoff rămas

802.11 date broadcast



- nu se fragmentează,
- nu se confirmă
- nu se folosește NAV

802.11 formatul cadrelor

- Tipuri de cadre
 - » control, management, data
- Fiecare cadru are număr de secvență
 - » ce se întampla dacă ACK se pierde?
- Adrese (ethernet, 6 octeți)
 - » receptor, transmitator, sursă, destinație
- Altele
 - » durată (NAV), checksum, control frame, data

bytes	2	2	6	6	6	2	6	0-23	12	4
Frame Control	Duration/ ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Data	CRC		
bits	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1
Protocol version	Type	Subtype	To DS	From DS	More Frag	Retry	Power Mgmt	More Data	Prot	Order

Tipuri de pachete, Gast tabela 3.1

Management frames (type=00)^a

- 0000 Association request
- 0001 Association response
- 0010 Reassociation request
- 0011 Reassociation response
- 0100 Probe request
- 0101 Probe response
- 1000 Beacon
- 1001 Announcement traffic indication message (ATIM)
- 1010 Disassociation
- 1011 Authentication
- 1100 Deauthentication

Control frames (type=01)

1000	Block Acknowledgment Request (QoS)
1001	Block Acknowledgment (QoS)
1010	Power Save (PS)-Poll
1011	RTS
1100	CTS
1101	Acknowledgment (ACK)
1110	Contention-Free (CF)-End
1111	CF-End+CF-Ack

Data frames (type=10)

0000	Data
0001	Data+CF-Ack
0010	Data+CF-Poll

Interpretarea bitilor ToDS și FromDS

		ToDS=0	ToDS=1
FromDS=0	mgmt, control, modul ad hoc		uplink
FromDS=1	downlink		wireless bridge

Cadre de control: ACK, RTS, CTS, PS-Poll

ACK

bytes	2	2	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	CRC

RTS

bytes	2	2	6	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	Transmitter Address	CRC

CTS

bytes	2	2	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	CRC

802.11 cadrele de date



The diagram illustrates the IEEE 802.11 frame structure, divided into two horizontal sections: bytes at the top and bits at the bottom. The bytes section shows the frame control, duration ID, three address fields (1, 2, 3), sequence control, address 4, data, and CRC fields, each with its byte count. The bits section shows the corresponding bit fields: protocol version (2 bits), type (2 bits), subtype (4 bits), To DS (1 bit), From DS (1 bit), More Frag (1 bit), Retry (1 bit), Power Mgmt (1 bit), More Data (1 bit), WEP (1 bit), and Order (1 bit). Dashed lines connect the bits in each field to their respective byte positions in the bytes section.

bytes	2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4
Frame Control	Duration/ ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Data	CRC	

bits	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1
Protocol version	Type	Subtype	To DS	From DS	More Frag	Retry	Power Mgmt	More Data	WEP	Order

De ce sunt necesare mai mult de două adrese?

Reguli orientative

- **Adresa 1: stație destinație**
- **Adresa 2: stație sursă**
- **Adresa 3: filtrare**

802.11 adrese

situatia	to DS	from DS	address 1	address 2	address 3	address 4
ad-hoc	0	0	DA	SA	BSSID	-
infrastructura, de la AP	0	1	DA	BSSID	SA	-
infrastructura, catre AP	1	0	BSSID	SA	DA	-
Infrastructura in DS	1	1	RA	TA	DA	SA

DS: Distribution System

AP: Access Point

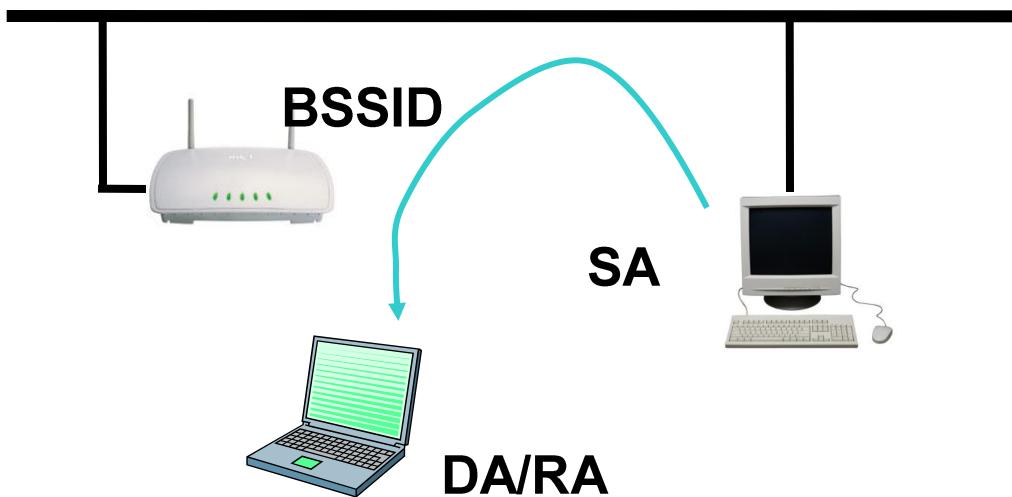
DA: Destination Address

SA: Source Address

BSSID: de fapt o adresa de AP

RA: Receiver Address

TA: Transmitter Address



cadre wireless > wired

1. Se verifică CRC
2. Uplink – se verifica adresa AP pe poziția 1
3. Se aruncă duplicatele
4. Decriptare (WEP, WPA2)
5. Reasamblare fragmente
6. Translatarea la schemă de adresare Ethernet
 1. DA (adresa 3) devine destination address
 2. SA (adresa 2) devine source address
 3. Daca exista SNAP header => tip pachet
7. CRC recalculat

cadre wired > wireless

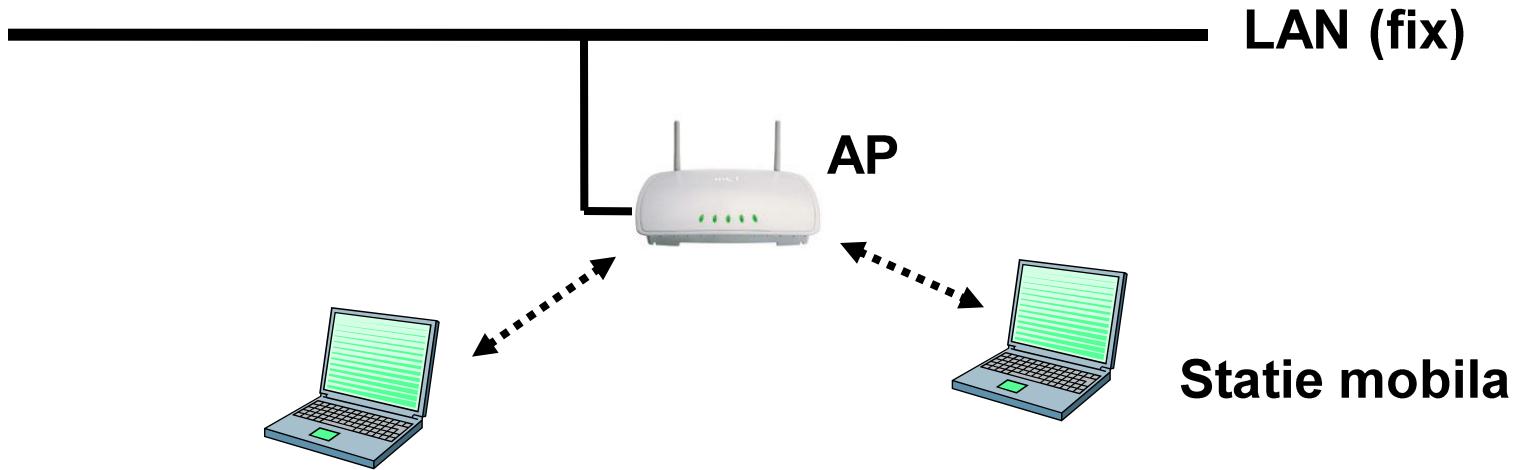
1. Validarea CRC ethernet, verificarea stației destinație, dacă este asociată
2. SNAP header dacă este cazul
3. Planificarea pt transmisie (coadă, PS mode)
4. Asignare număr de secvență, fragmentare
5. Criptare
6. Construcție header
 1. Dest address copiat în Address 1
 2. BSSID copiat în Address 2
 3. Src address copiat în Address 3
 4. Se completează câmpul 'Duration'
7. CRC recalculat

Alte câmpuri

bytes	2	2	6	6	6	2	6	0-2304	4
	Frame Control	Duration/ ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Data	CRC

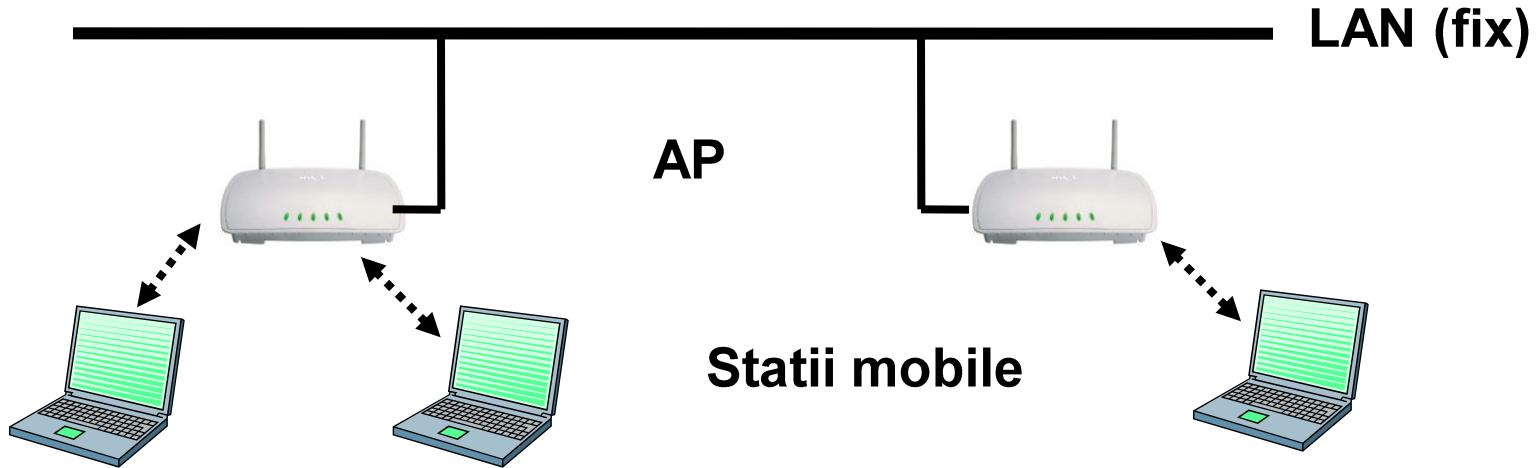
- Număr de secvență
- Date – maximum 2304 octeți
- CRC – antet + date
- Diferențe față de alte antete
 - Nu există “tip” pentru datele la nivel superior
 - Nu este necesară o lungime minimă

Modul infrastructură



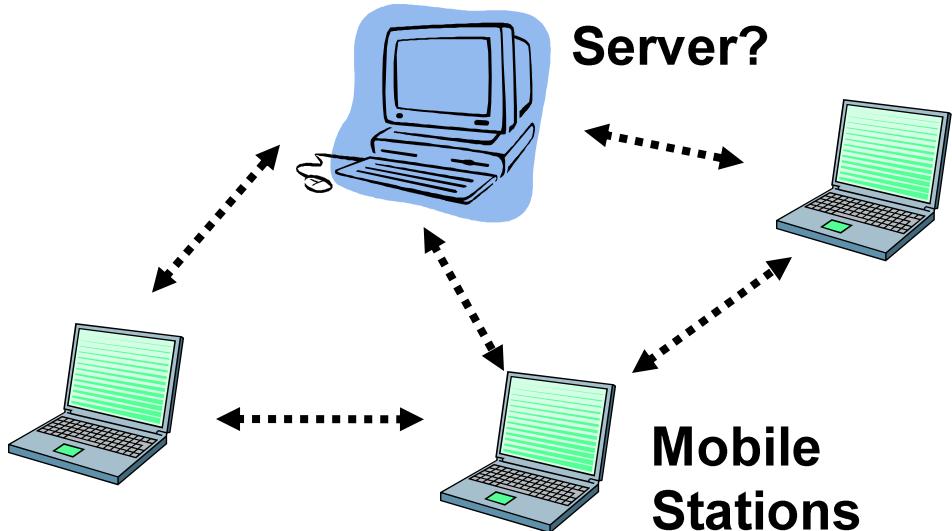
- Basic Service Set (BSS)
- AP functioneaza ca bridge
- Comunicarea intre statii se face numai prin intermediul AP
- distribution system (DS)

Modul infrastructură - extins



- Extended Service Set (ESS)
- Un set de mai multe BSS
- AP comunică între ele
 - » Frame forwarding
 - » Roaming

Modul adhoc



- Independent Basic Service Set (IBSS)
- Stațiile comunică direct
- Când contactul direct nu este posibil, stațiile intermediare pot ruta
- rutarea nu este definită de 802.11!

● Sincronizare

- » TSF = time synchronization function
- » Timere și beacon-uri TSF

● Gestiunea puterii

- » sleep-mode fără a se pierde mesaje
- » periodic sleep, acumulare de frame-uri, masuratori
- » Traffic Indication Map (TIM): lista receptorilor unicast declarata de AP

● Asociere/Reasociere

- » integrare în LAN
- » roaming - schimbare domeniu
- » Probe - cautare domeniu

Sincronizarea

Timing Synchronization Function (TSF)

Permite sincronizarea perioadelor de somn/veghe – power save

Permite trecerea de la DCF la PCF

Permite saltul in frecvente in FHSS PHY (emitorul si receptorul stationeaza acelasi interval la fiecare frecventa)

Cum se realizează TSF

Toate statiile mențin un ceas local

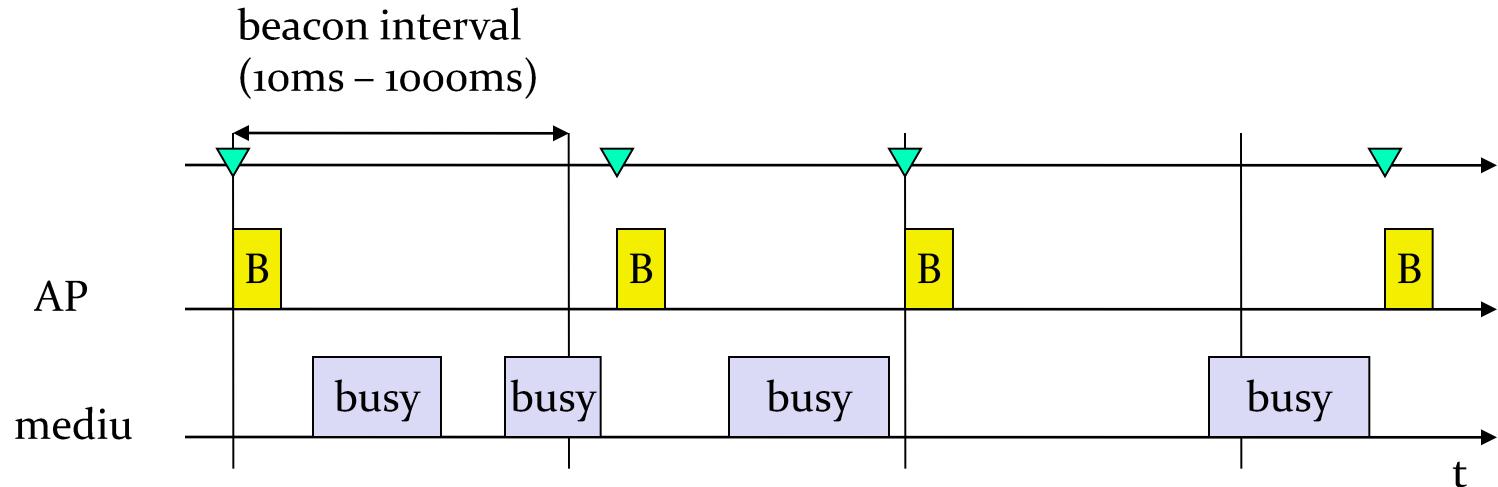
AP difuzează periodic un beacon cu timestamp, informatii de management, roaming

Nu este absolut necesar ca o statie sa primeasca fiecare beacon

Beacon sincronizeaza intregul BSS

(doar pt infrastructura, ad hoc este mai dificil)

Sincronizare cu beacon



▼ timestamp

 beacon frame

Fiecare beacon declară

- o listă de rate(MCS) acceptabile
- o listă de rate de bază (obligatorii)
 - Pentru RTS, CTS, ACK, beacon
- Non standard
 - Lista SSID-urilor dorite
 - Modelul telefonului

Gestiune powersave

Oprește transceiver când nu e necesar

Starea stației: sleep / awake

Timing Synchronization Function (TSF)

Stațiile devin active la același moment

Modul infrastructura

Traffic Indication Map (TIM)

lista receptorilor unicast declarata de AP

Delivery Traffic Indication Map (DTIM)

lista receptorilor broadcast/multicast declarata AP

APSD (Automatic Power Save Delivery)

metoda mai nouă (802.11e) care înlocuiește TIM, DTIM, ATIM

Gestiune powersave

- AP
 - Menține AID pt fiecare stație
 - stochează cadre pentru stațiile în PS
 - beacon: Traffic Indication Map (TIM)
 - TIM=hartă de 2007 biți (bit per AID)
 - Folosește bitul *MoreData* în downlink
- Stațiile
 - Folosesc bitul PS în uplink
 - se trezesc la *ListenInterval* beacon-uri
 - Contract între AP și stație
 - Cere un cadru stocat folosind PS-Poll
 - PS-Poll successive sunt ignoreate

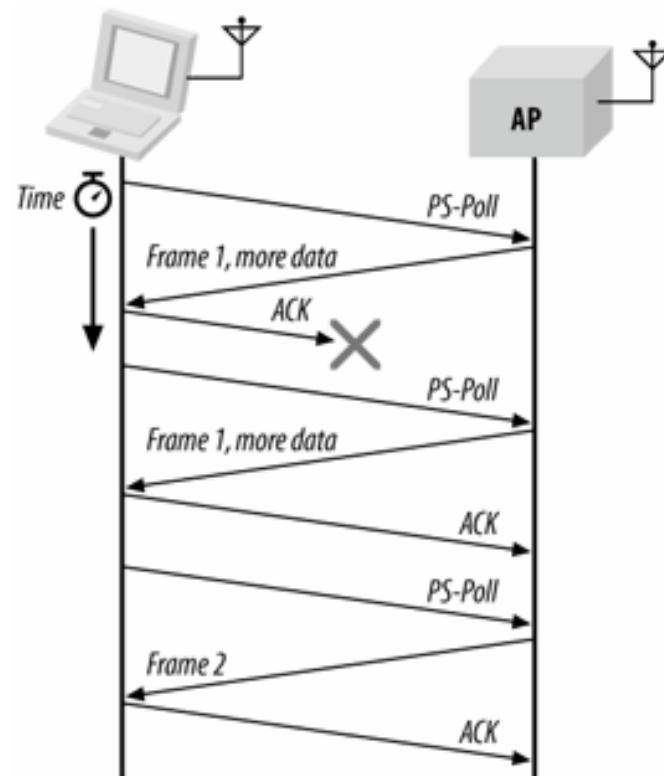
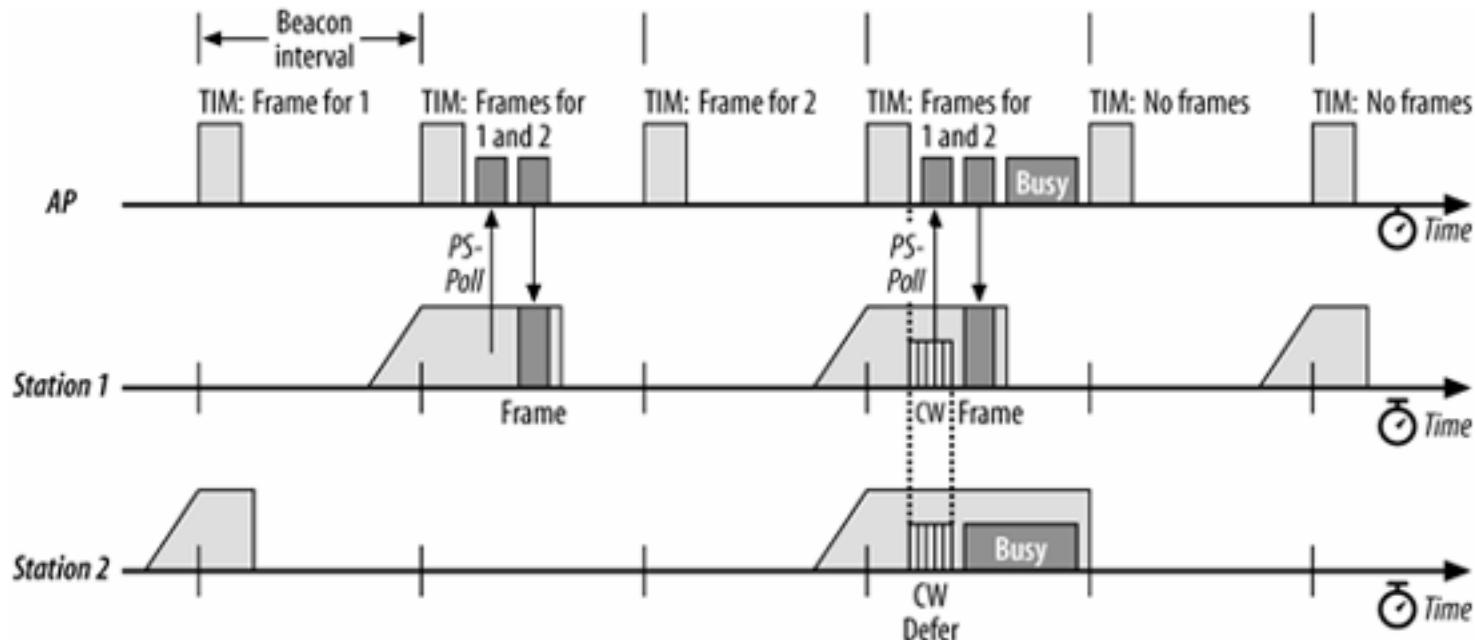
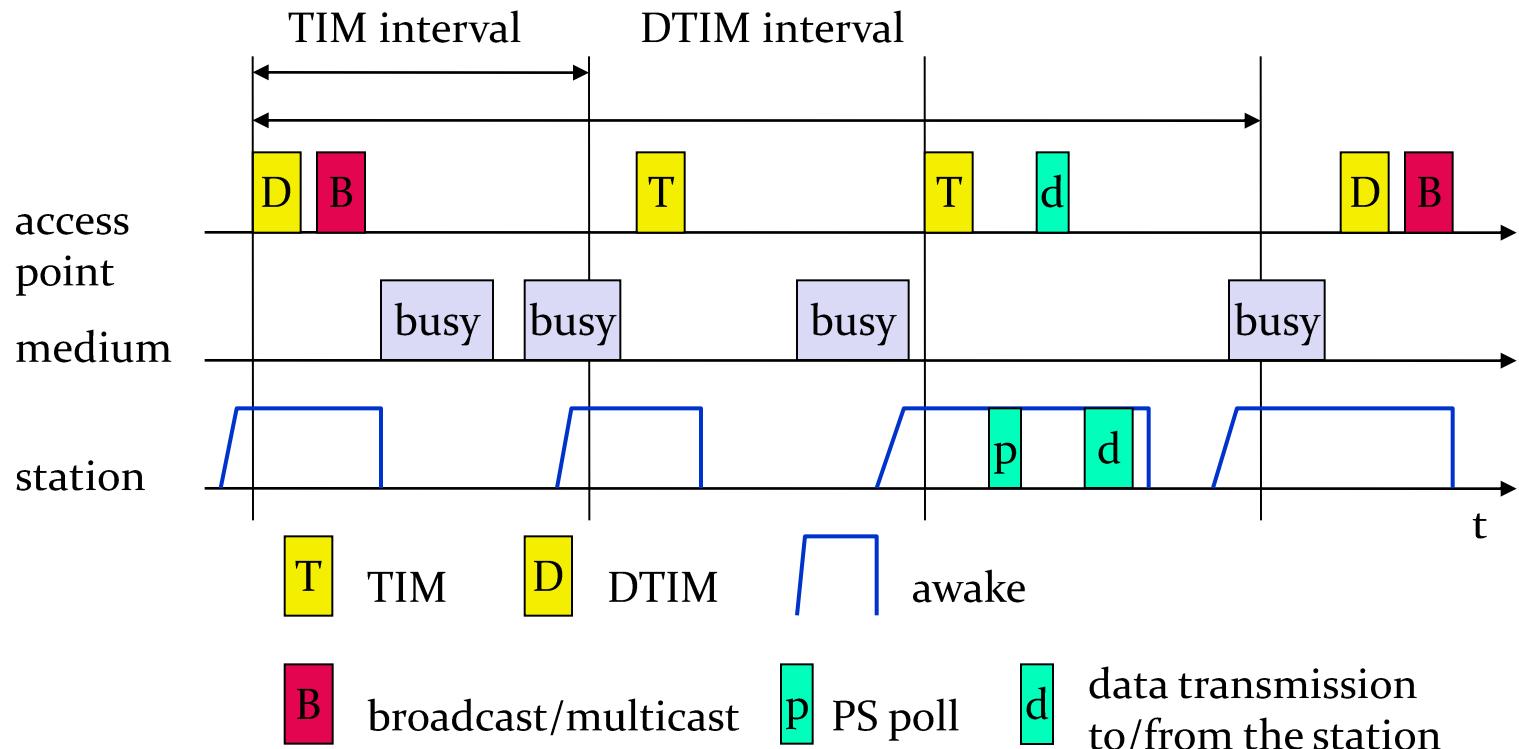


Figure 8-13. Buffered frame retrieval process



- Beacon 1: există cadre pentru stația 1
 - Stația 2 se întoarce în PS-mode
- Beacon 2: stația 1 cere cadrele, trece în PS-mode
- Beacon 3: ambele stații doresc PS-Poll
- Beacon 5: mediul este ocupat de o stație invizibilă
- Beacon 6: cadrul pentru stația 2 a fost aruncat

Gestiune powersave



Gestiune powersave

- Default TIM=100ms, DTIM = 300ms
 - problematic pentru VoIP
- APSD
 - Stația intră în sleep mode
 - După ce trimite cadru uplink, este gata să primească cadrele stocate la AP
 - Consumă doar 1/6 din putere

802.11 handover

Ce se întâmplă când cade conexiunea?

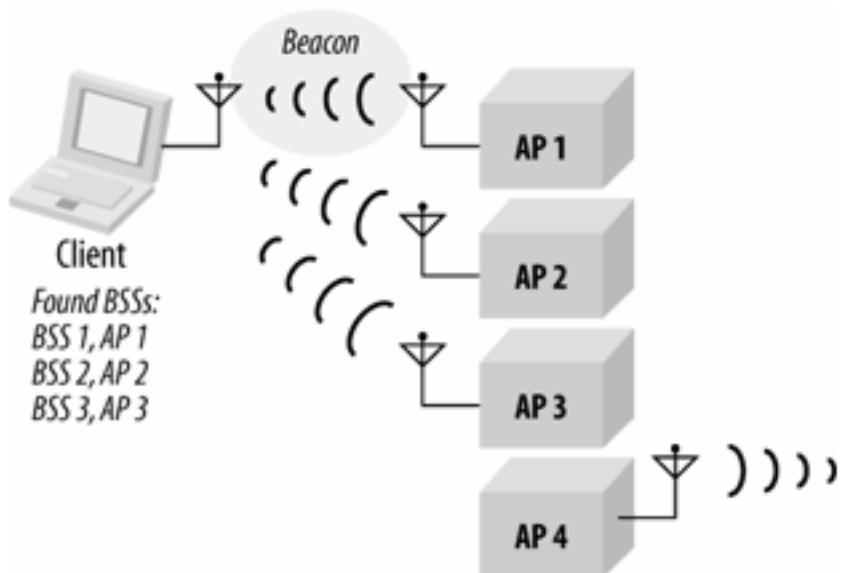
- Scanare
 - Passive Scanning
 - Reactive Scanning
 - se trimit pachete de probă pentru a găsi cel mai bun AP
- Reasociere – cerere
 - stacia trimite cererea la unul sau mai multe AP
- Reasociere - Raspuns
 - succes: AP raspunde, stacia e primită
 - insucces: continua scanarea
- AP acceptă Reasocierea
 - Anunță noua stație în DS (distribution system)
 - DS actualizează baza de date (locatii statii)
 - DS anunță vechiul AP
- roaming rapid – 802.11r
 - e.g. pentru rețele vehiculare

Scanare pasivă

Cea mai economică energetic

- doar se ascultă beacon-uri
- se baleiază toate canalele

Figure 8-2. Passive scanning

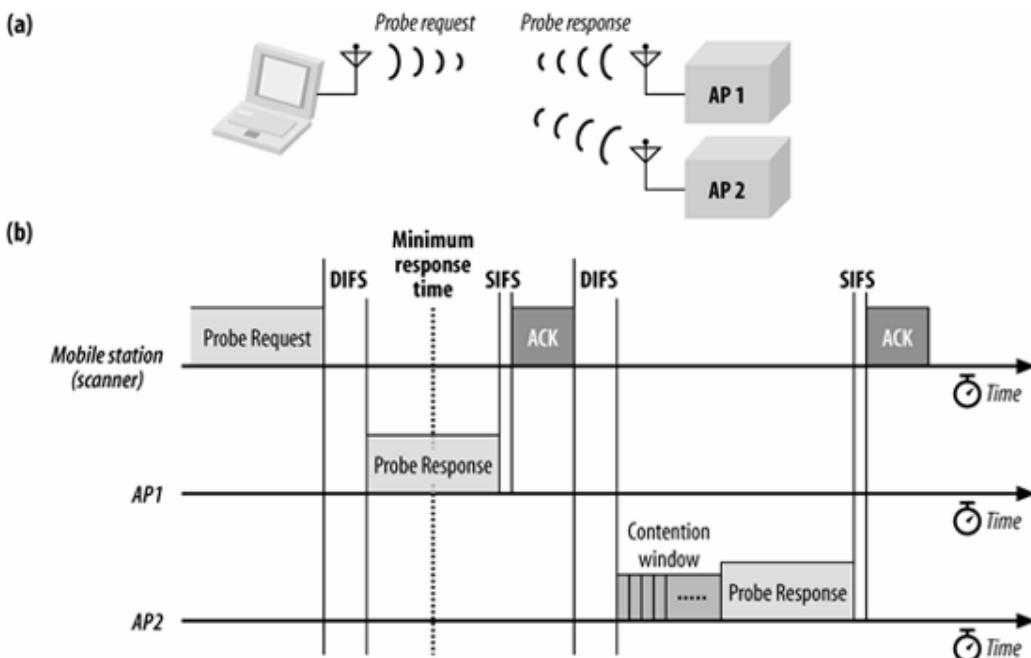


Scanare activă

Pe fiecare canal disponibil:

- Se transmite *ProbeRequest*, folosind DCF
- Se așteaptă *ProbeResponse* un timp maxim
- Se procesează răspunsurile: Beacon interval, DTIM period, basic rates

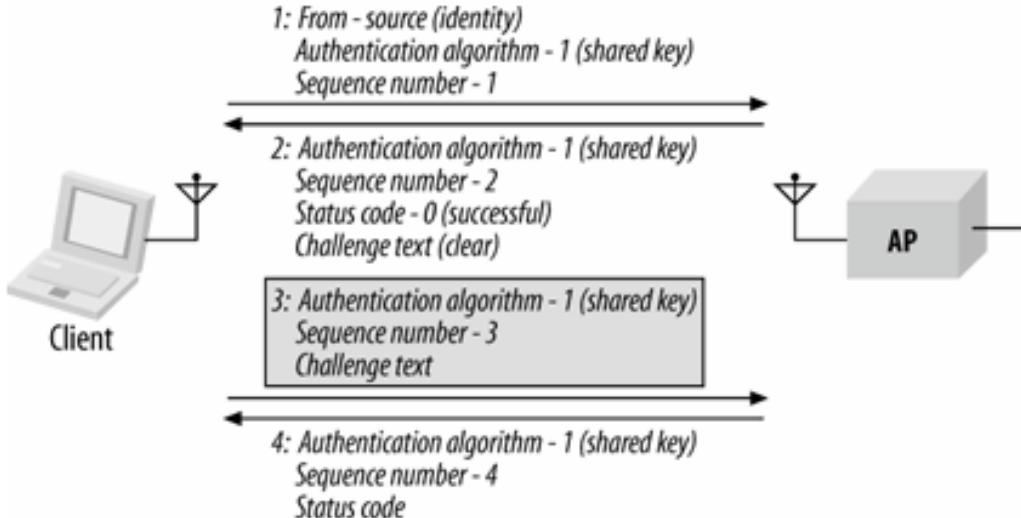
Figure 8-3. Active scanning procedure and medium access



Autentificare

- Open Authentication – de fapt doar o cerere răspuns, obligatorie
- MAC based authentication – nestandard, securitate minimă
- Shared-key
- Preautentificare – pentru a accelera procesul de roaming

Figure 8-5. Shared-key authentication exchange

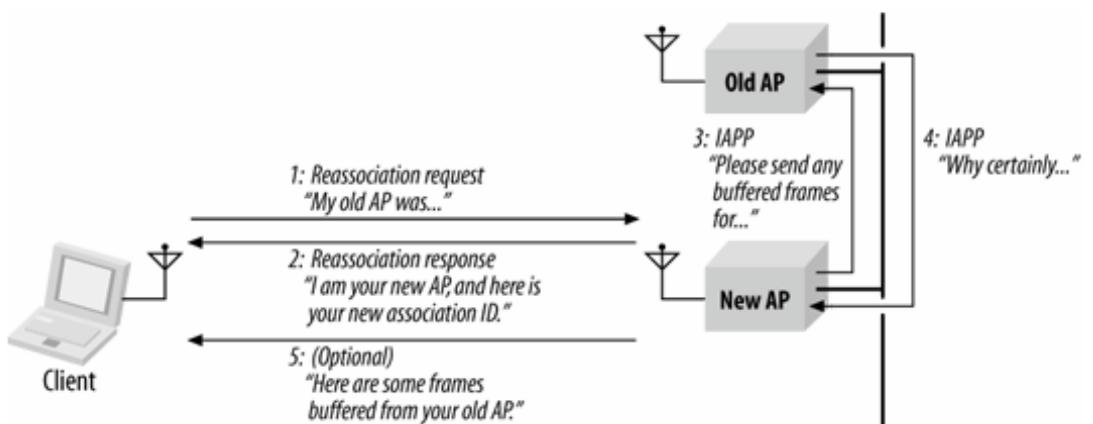


Asociere

Scopuri:

- permite sistemului de distribuție (DS) să știe locația unei stații
- locația trebuie să fie vizibilă și în Ethernet – cum?
 - ARP gratuit pentru a popula porturile din switch-uri
- Întrebare, răspuns cu AID (assoc ID)
- Asociere, reasociere

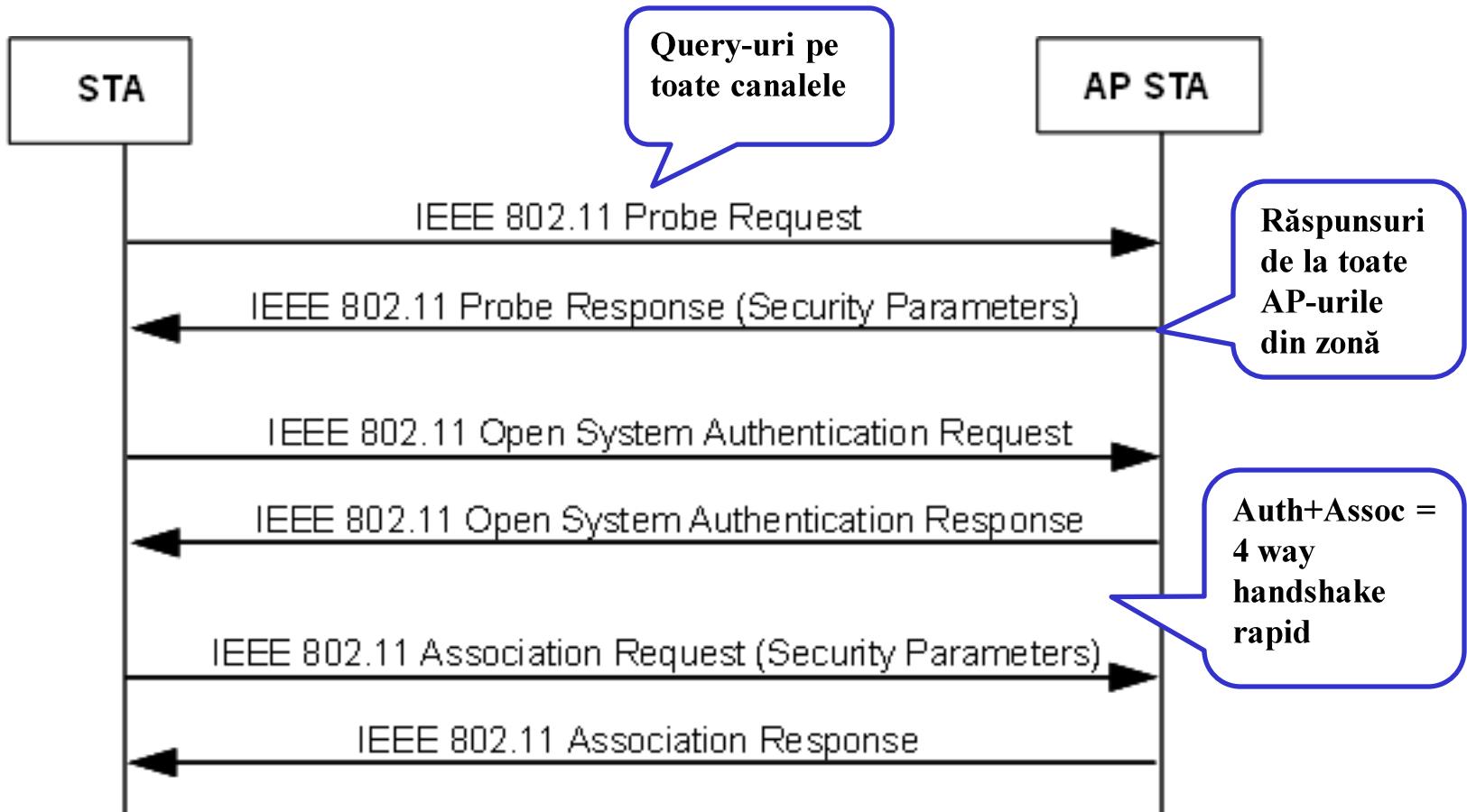
Figure 8-10. Reassociation procedure



Confidențialitate (privacy)

- Hidden SSID?
- MAC based ACL?
- Implicit mesajele sunt necriptate (in clar)
 - » WEP optional, dar implementat pe scara larga
 - criptare slabă!
 - » WPA, WPA₂
 - » foloseste proceduri implementate în hardware
 - » schimba periodic cheile
 - » WPA₂
 - » PSK = personal shared key (parolă)
 - » Enterprise = EAP + 802.1X + RADIUS (user + parolă)

Autentificare + Asociere la AP



Sumar cadre de management

Beacon

**Timestamp, Beacon Interval, Capabilities, ESSID,
Supported Rates, parameters**

Traffic Indication Map

Probe

ESSID, Capabilities, Supported Rates

Probe Response

**Timestamp, Beacon Interval, Capabilities, ESSID,
Supported Rates, parameters**

same for Beacon except for TIM

Association Request

Capability, Listen Interval, ESSID, Supported Rates

Association Response

Capability, Status Code, Station ID, Supported Rates

Sumar cadre de management



Reassociation Request

Capability, Listen Interval, ESSID, Supported Rates, Current AP Address

Reassociation Response

Capability, Status Code, Station ID, Supported Rates

Disassociation

Reason code

Authentication

Algorithm, Sequence, Status, Challenge Text

Deauthentication Reason

Probleme în rețele WiFi mari

- Radio survey
 - Factori de interferență externă
 - Propagare specifică clădirii, mobilei
- Capacitate vs acoperire
 - Densitate dispozitive
 - Locuri cu semnal slab
- Configurare
 - IP, VLAN, parametri 802.11
 - Canal, putere
 - Alocarea canalelor: problemă de colorare
- Gestiunea securității:
 - utilizatori, chei de acces
 - Software updates
- Handoff dificil de optimizat

Arhitectură enterprise WiFi

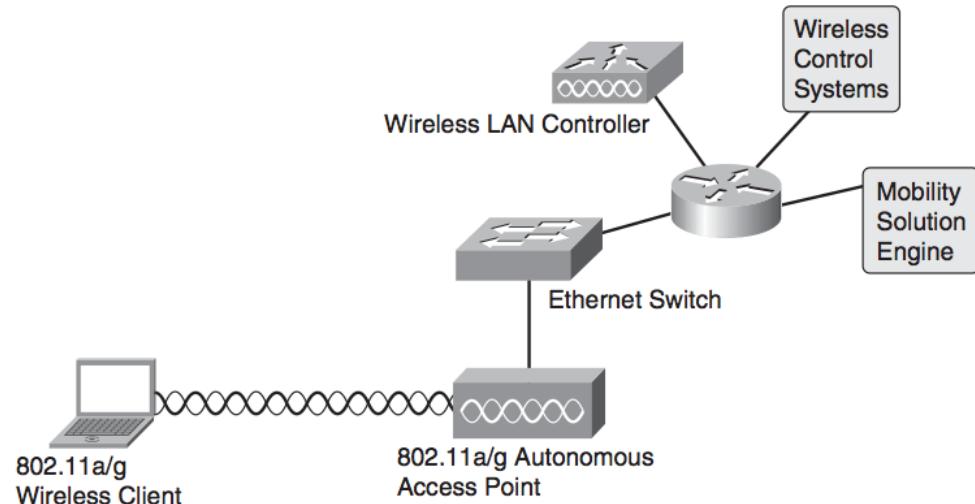
Model Centralizat - pentru deployment controlat

1. WLAN Controller

- securitate
- management
- transport

2. Thin AP (cel clasic e ‘fat’)

- doar acces



- Nu se modifică standardul pentru clienti
- AP devin ‘plug & play’

Avantaje arhitectură centralizată

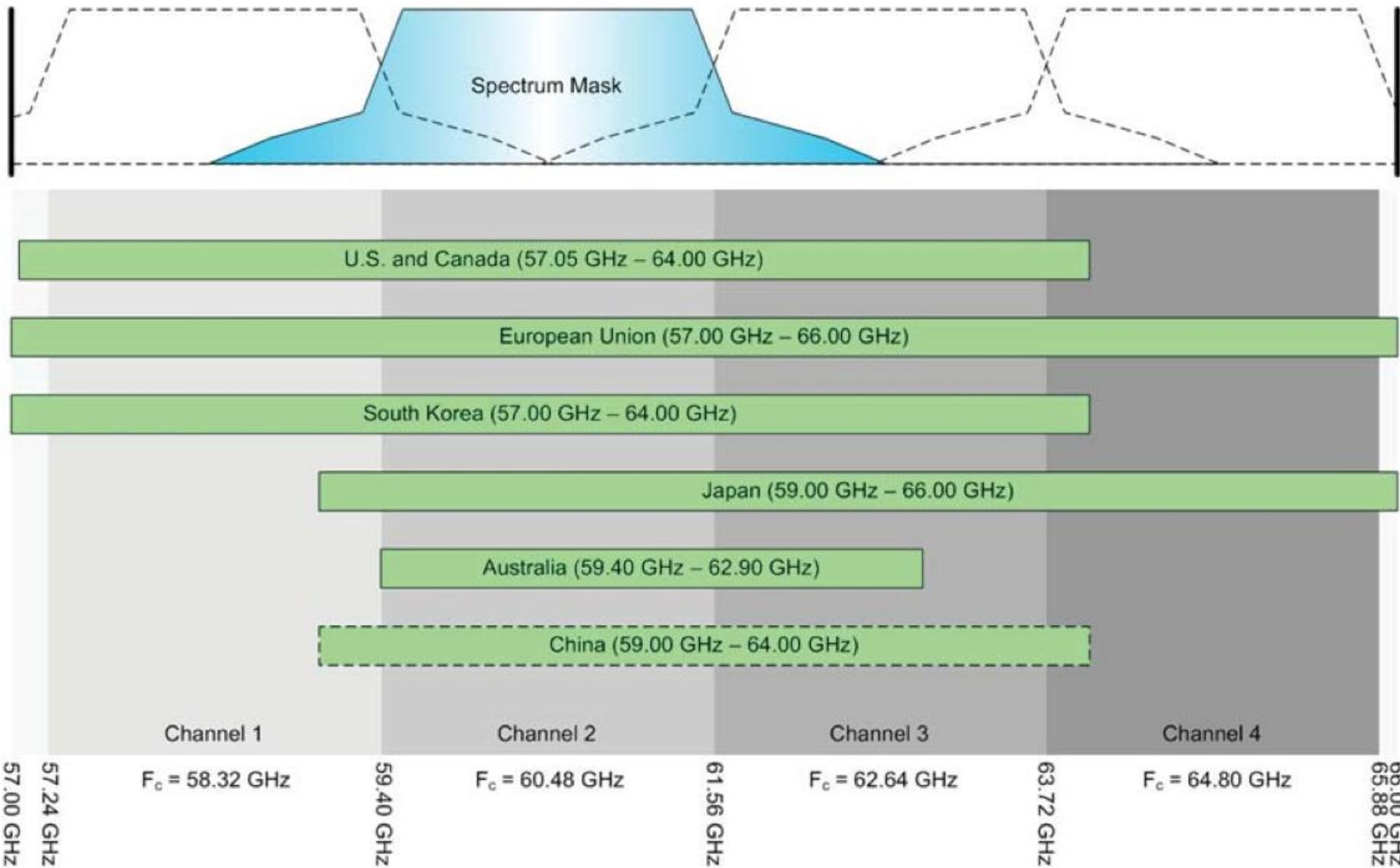
- reducerea costului de operare prin management centralizat
- securitate integrată la toate nivelele în WLAN
 - Wireless IDS
- îmbunătățire handoff
- reducerea expertizei și efortului pentru configurare și management radio
- mecanism centralizat pentru transport și control
- ajustare automată - capacitate, acoperire
- configurare consistentă
- scalabilitate la rețele mari

802.11 – ce urmează?

802.11ad (WiGig)

- **60GHz**, beamforming, < 10m LOS?
 - loss over 1 m at 60 GHz is 68 dB
 - avantaj și dezavantaj
- Max 7Gbps :-D
- Power consumption: 6W :-(
• WiGig Display Extension

Canale la 60GHz



802.11 standardizarea continuă

- 802.11e – suport pentru QoS
- 802.11h – management frecvente 5GHz
- 802.11i – securitate WPA2, 802.1x
- **802.11-2007** = cumulativ 802.11, a, b, d, e, g, h, i, j
- 802.11f – comunicare intre puncte de access
- 802.11k – management resursa radio
- 802.11r – fast handoff
- 802.11n -- capacitate sporită
- 802.11p – pt vehicule – viteza 200km/h
- 802.11s – mesh, capabilitati multihop
- 802.11t – predictia performantei
- ... toate literele pana la z, si mai departe!

802.11-2012 = cumulativ 802.11-2007, 802.11n-2009, k, r, y, n, w, p, z, v, u, s

802.11-2016 = 802.11-2012 + aa, ac, ad, ae, af

Acknowledgments

- This presentation uses materials borrowed from
 - M. Gast, 802.11 Wireless Networks 2nd ed.
 - R.R.Choudhury@duke, online lectures
 - B.Awerbuch@johns hopkins, online lectures
 - Wireless LAN at 60 GHz - IEEE 802.11ad Explained Agilent Application Note
 - 802.11ac Technology Introduction, Rode&Schwartz white paper