

---

# ISRM Partea I: IEEE 802.11

Dragoş Niculescu  
dragos.niculescu at cs pub ro

---

## Traficul pe internet in Europa Centrala si de Est se va majora de trei ori in intervalul 2013 - 2018 - studiu Cisco



de Vlad Barza  HotNews.ro

Vineri, 27 iunie 2014, 13:42 Economie | IT

**Traficul pe internet in Europa Centrala si de Est se va majora de trei ori in intervalul 2013 - 2018, iar traficul de date mobile va creste de 12 ori in acelasi interval, arata cel mai nou studiu Cisco Visual Networking Index. In regiune sunt in prezent aproape 530 de milioane de dispozitive conectate la internet, insa in 2018 numarul va creste cu 300 de milioane, mai arata studiul companiei de retelistica.**

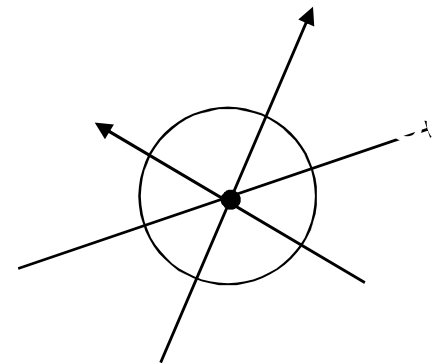
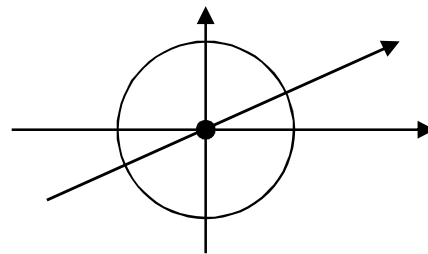
# Cuprins

---

- **generalități despre wireless**
- **Standarde 802.11**
- **nivelul fizic**
  - » Modulare, OFDM
  - » 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac
- **nivelul legatura de date**
  - » CSMA/CA, Schimbul de cadre
  - » Terminale ascunse, expuse, handover
- **multihop**
  - » modul ad-hoc

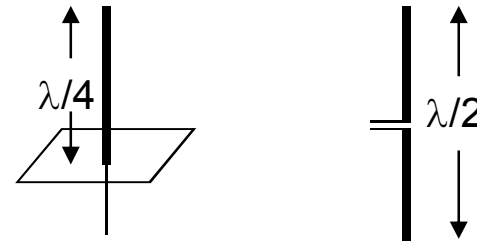
# Antennas: isotropic radiator

- **Radiation +reception of electromagnetic waves**
- **Isotropic radiator: equal radiation in all directions**
  - only a theoretical reference antenna
  - real antennas always have directive effects
- **Radiation pattern**
  - measurement of radiation around an antenna
  - comes with an antenna manual

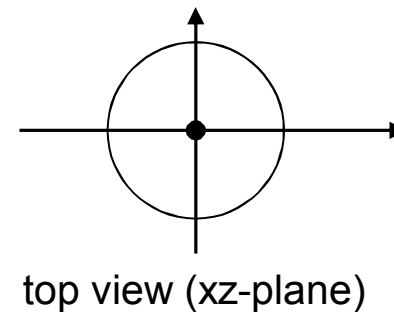
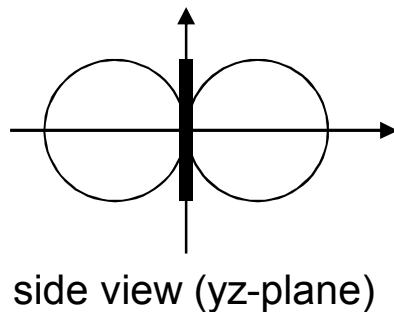
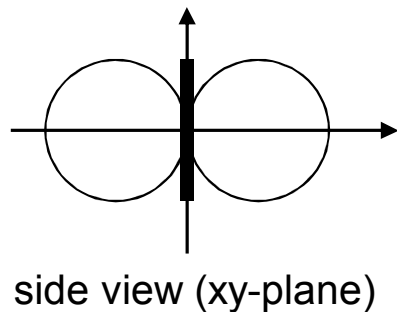


# Antennas: simple dipoles

- dipoles with lengths  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  as Hertzian dipole
  - shape of antenna proportional to wavelength



- Example: Radiation pattern of a simple Hertzian dipole

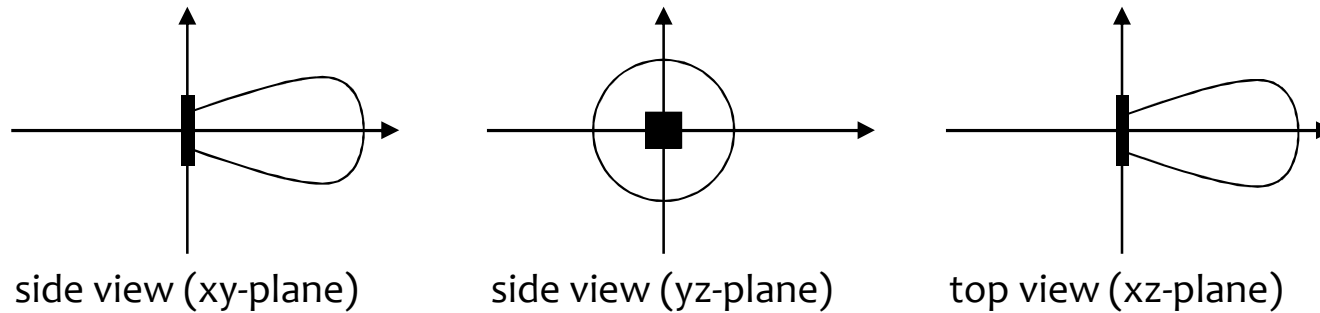


simple  
dipole

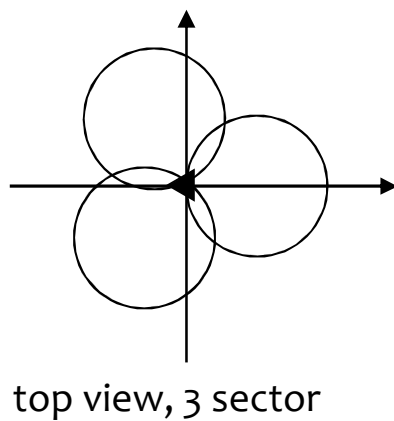
- Gain: maximum power in the direction of the main lobe compared to the power of an isotropic radiator (with the same average power)

# Antennas: directed and sectorized

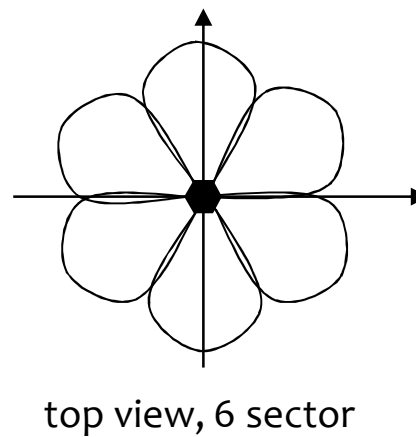
- Long distance WiFi, cellular BTS



directional  
antenna



top view, 3 sector

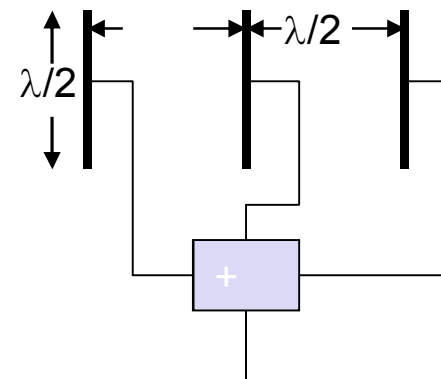
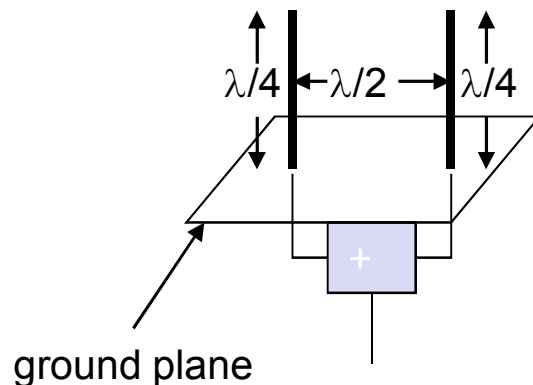


top view, 6 sector

sectorized  
antenna

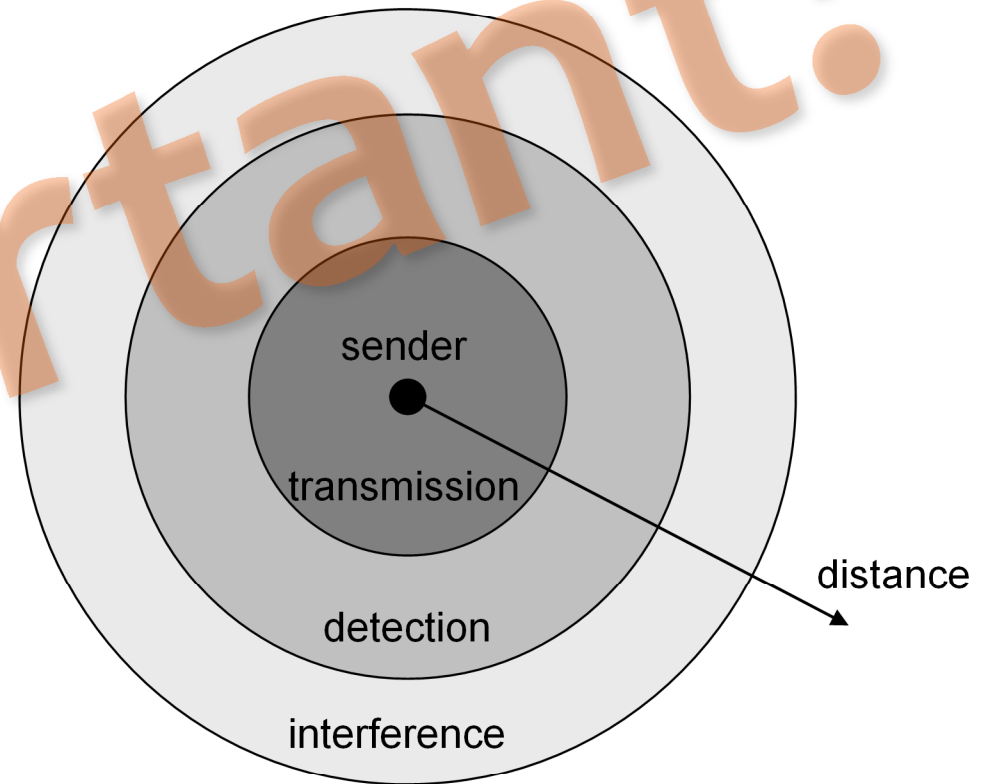
# Antennas: diversity

- **Grouping of 2 or more antennas**
  - multi-element antenna arrays
- **Antenna diversity**
  - switched diversity, selection diversity
  - receiver chooses antenna with largest output
  - diversity combining
    - **combine output power to produce gain**
    - **cophasing needed to avoid cancellation**



# Signal propagation ranges

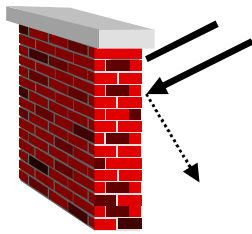
- **Transmission range**
  - communication possible
  - low error rate
- **Detection range**
  - detection of the signal possible
  - no communication possible
- **Interference range**
  - signal may not be detected
  - signal adds to the background noise
- **Warning: irregular shaped, time-varying**



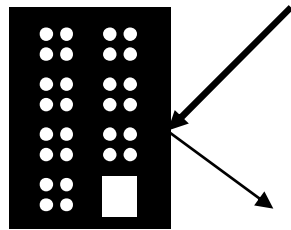


# Signal propagation

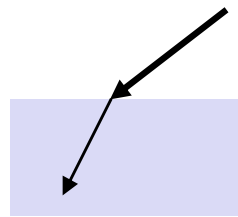
- Propagation in free space always like light (straight line)
- Receiving power proportional to  $1/d^2$  in vacuum – much more in real environments, e.g.,  $d^{3.5} \dots d^4$
- Receiving power additionally influenced by
  - fading (frequency dependent)
  - shadowing
  - reflection at large obstacles
  - refraction depending on the density of a medium
  - scattering at small obstacles
  - diffraction at edges



shadowing



reflection



refraction

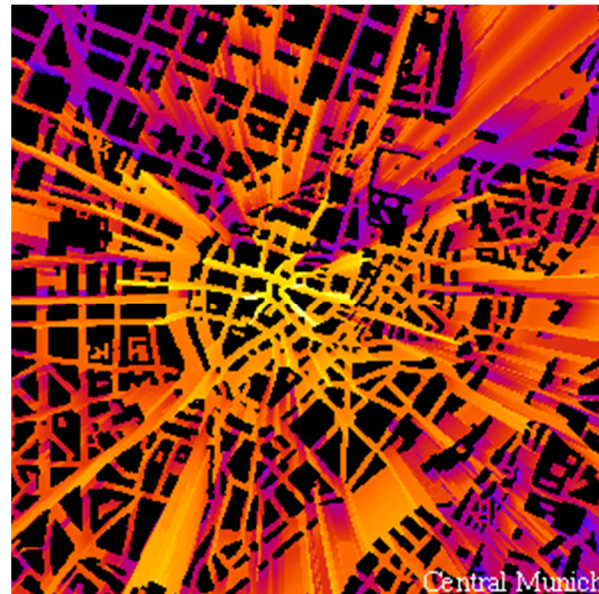
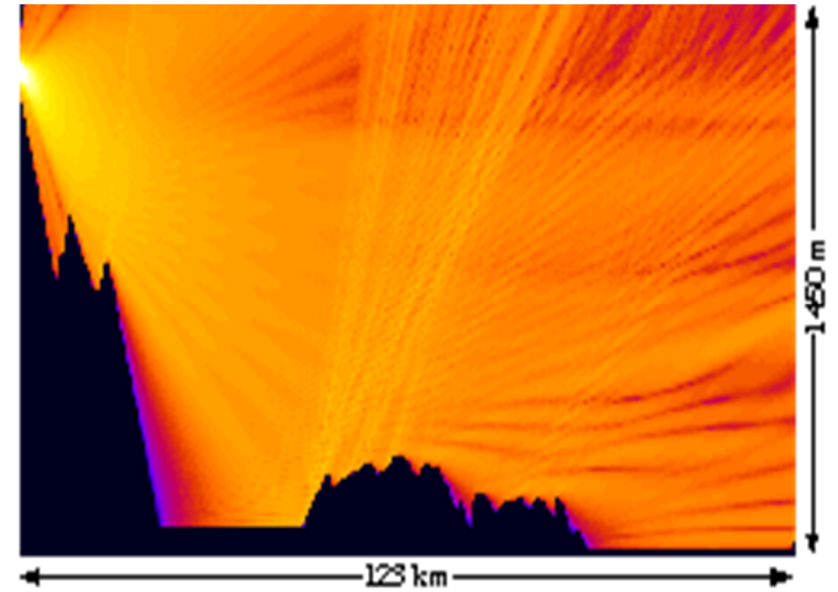
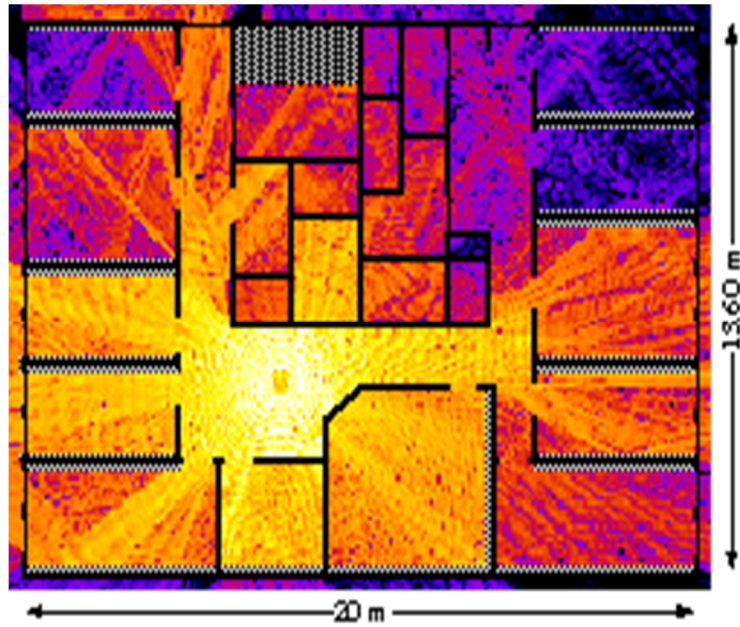


scattering



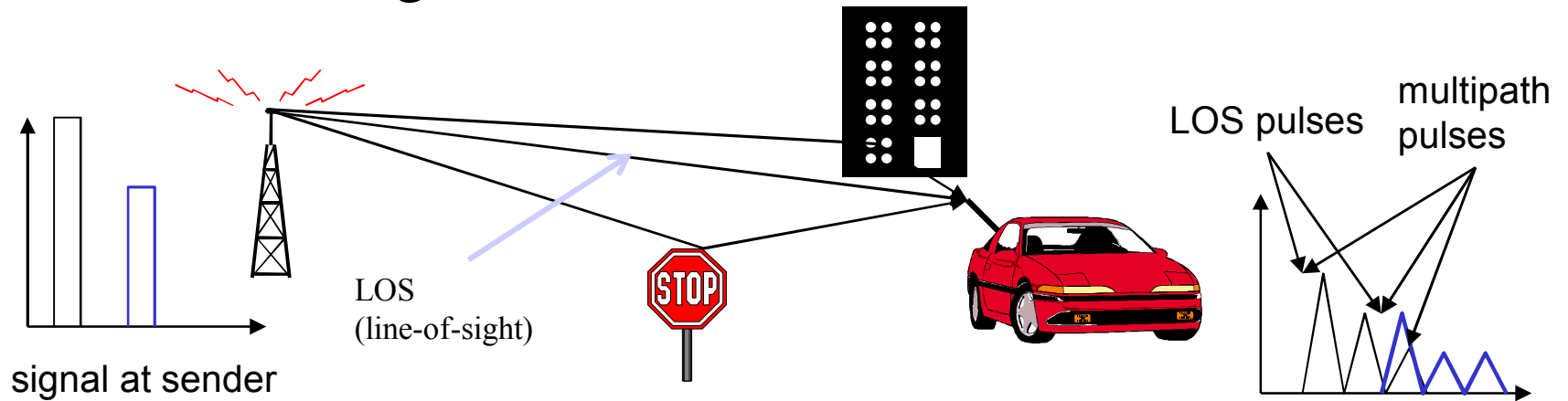
diffraction

# Real world examples



# Multipath propagation

- Signal can take many different paths between sender and receiver due to reflection, scattering, diffraction



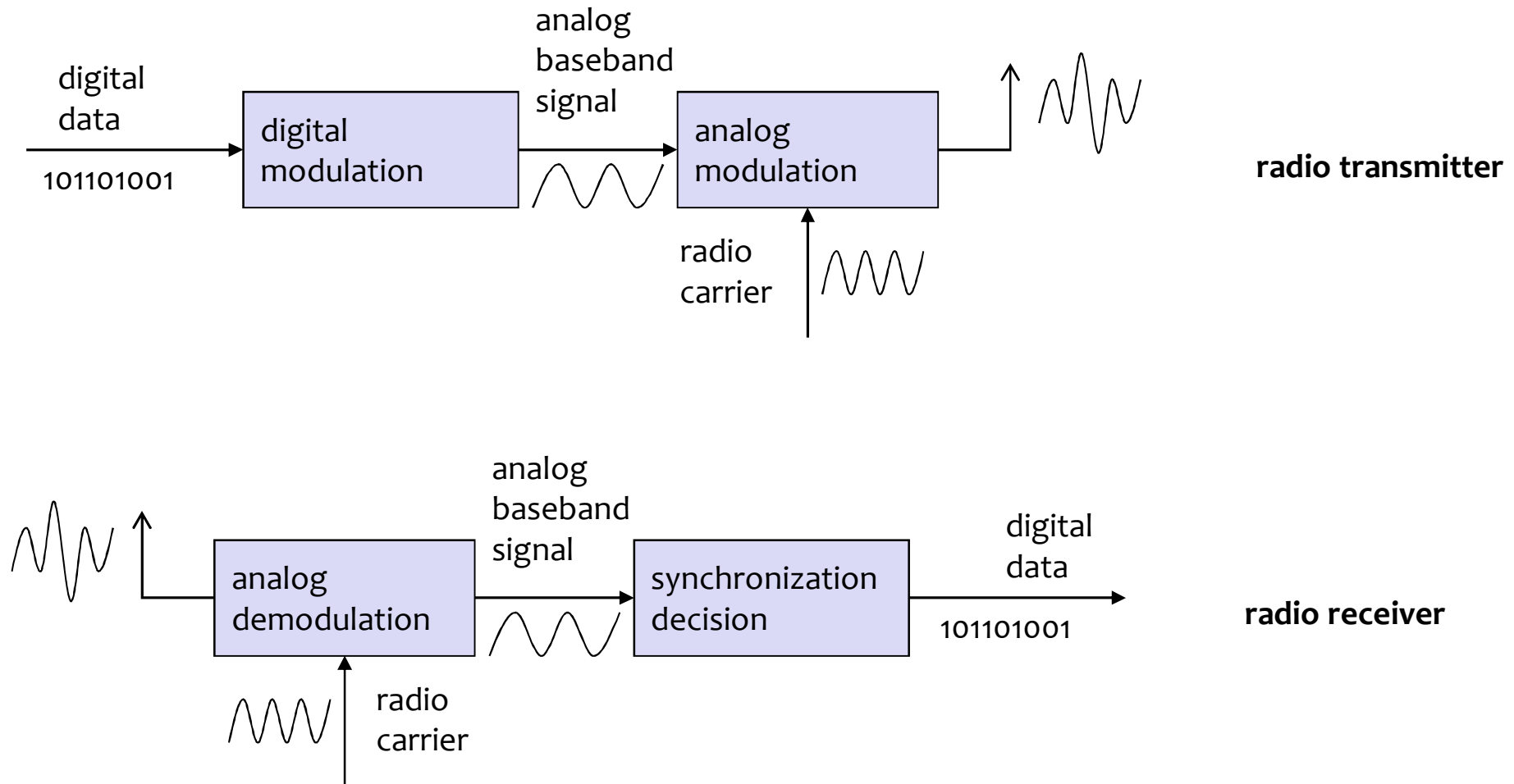
- Time dispersion: signal is dispersed over time
  - Inter Symbol Interference (ISI)
- The signal reaches a receiver directly and phase shifted
  - distorted signal depending on the phases of the different parts

# Modulation & Coding

Schiller  
2.6

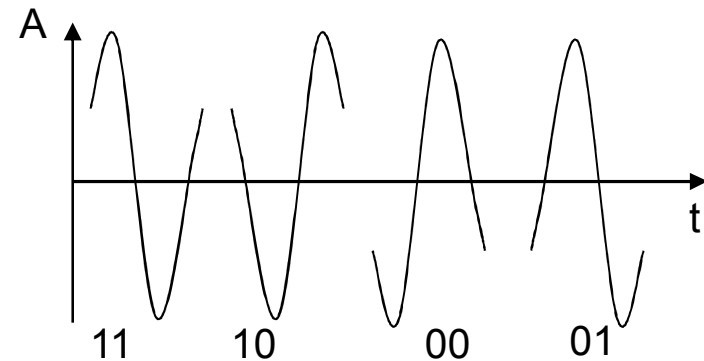
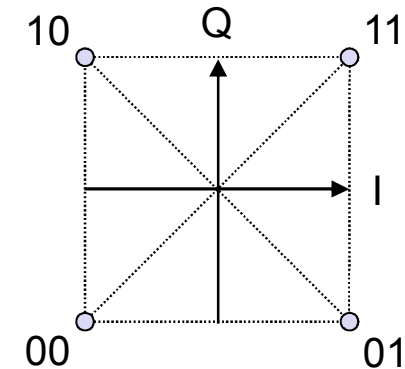
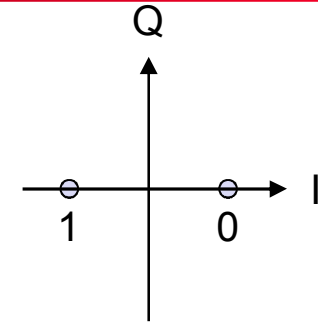
- **Digital modulation**
  - digital data is translated into an analog signal (baseband)
  - PSK (Phase Shift Keying)
- **Coding**
  - Digital data recast for “optimal” transmission
- **WiFi**
  - MCS = modulation and coding scheme
  - MCS -> fixed data rate -> choose from a fixed “menu”

# Modulation and demodulation



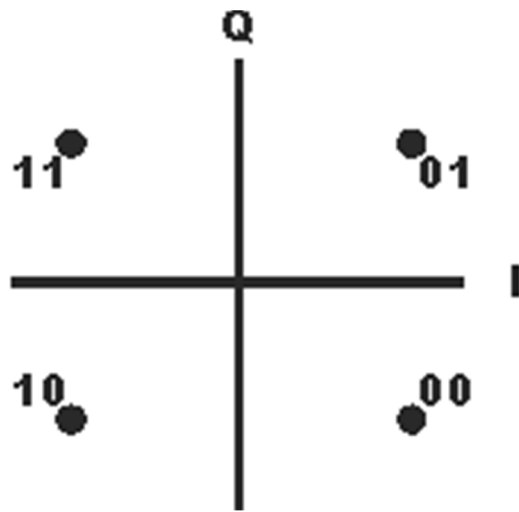
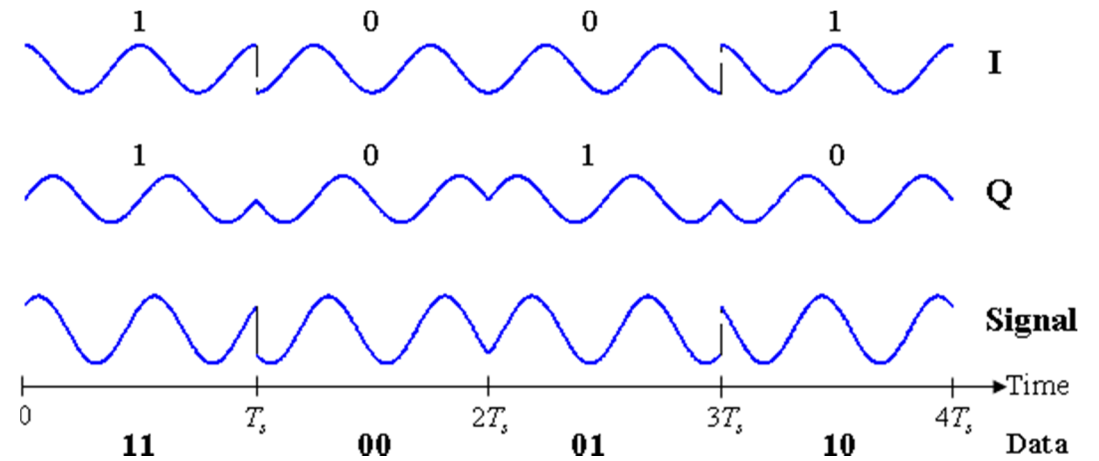
# Phase Shift Keying

- **BPSK (Binary PSK):**
  - bit value 0: sine wave
  - bit value 1: inverted sine wave
  - very simple PSK
  - low spectral efficiency
  - robust
- **QPSK (Quadrature PSK):**
  - 2 bits coded as one symbol
  - symbol determines shift of sine wave
  - needs less bandwidth than BPSK
  - more complex

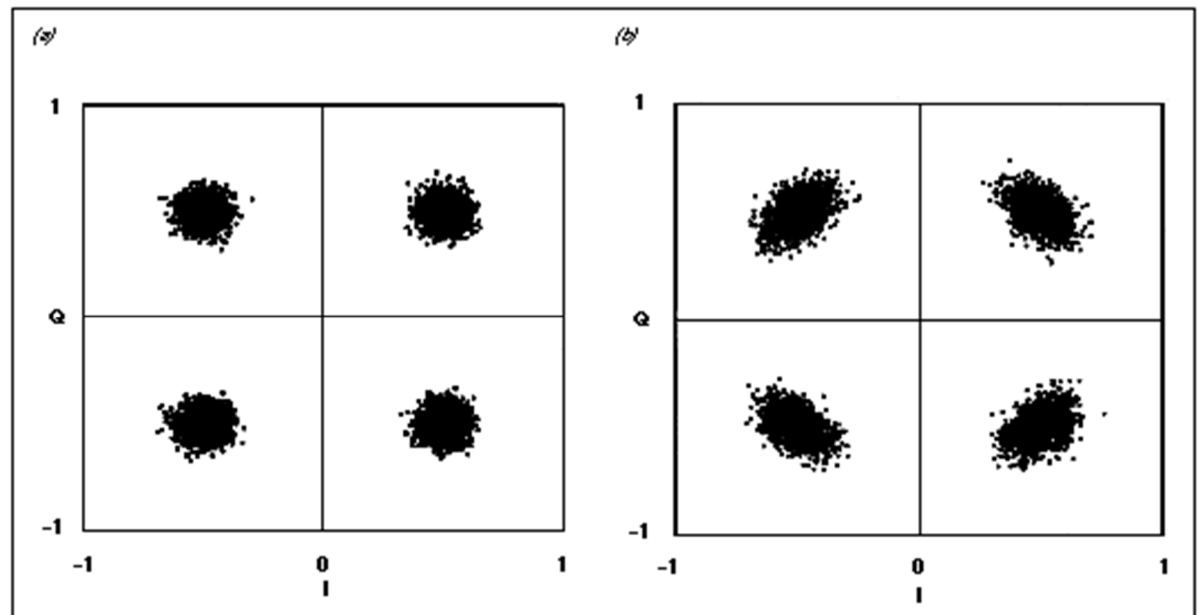


# Modulații BPSK, QPSK

- PSK = phase shift keying
- Purtătoare
  - 2 componente: I(nphase) și Q(uadrature)
  - eşantionare - simboluri



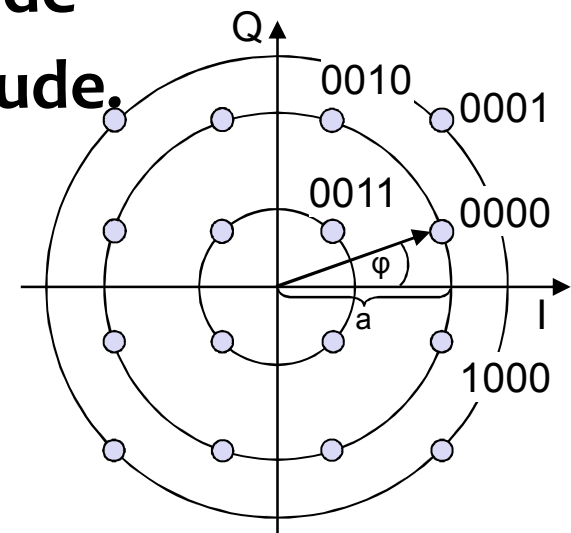
teoretic



real

# Quadrature Amplitude Modulation

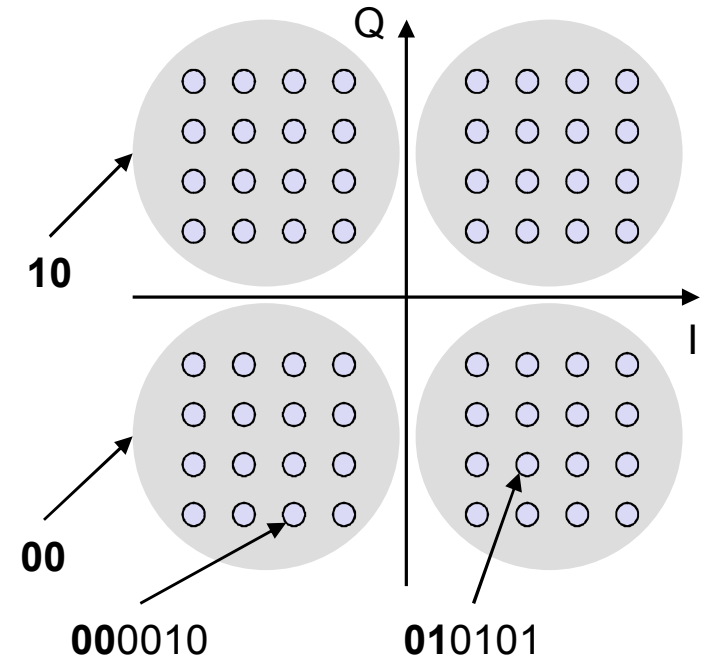
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
  - combines amplitude and phase modulation
  - it is possible to code  $n$  bits using one symbol
  - $2^n$  discrete levels,  $n=2$  identical to QPSK
- Bit error rate increases with  $n$ , but less errors compared to comparable PSK schemes
- 16-QAM (4 bits = 1 symbol)
  - 0011, 0001 same phase, different amplitude
  - 0000, 1000 different phase, same amplitude.





# Hierarchical Modulation

- **Example: 64QAM**

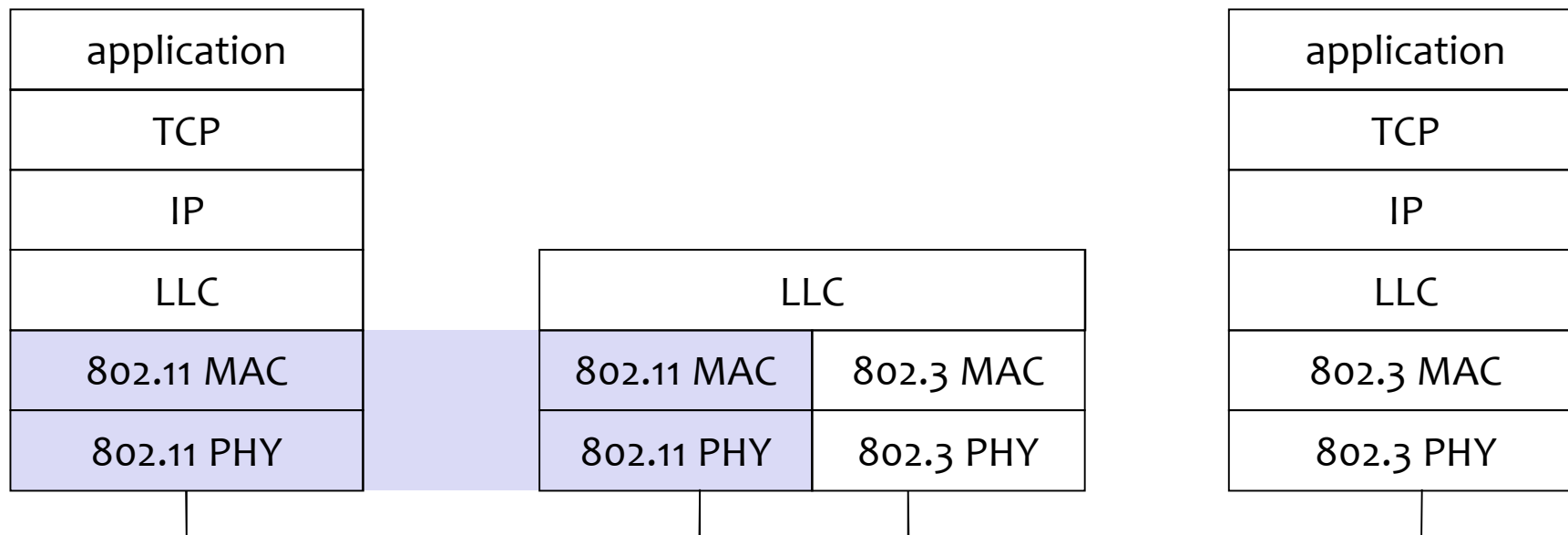
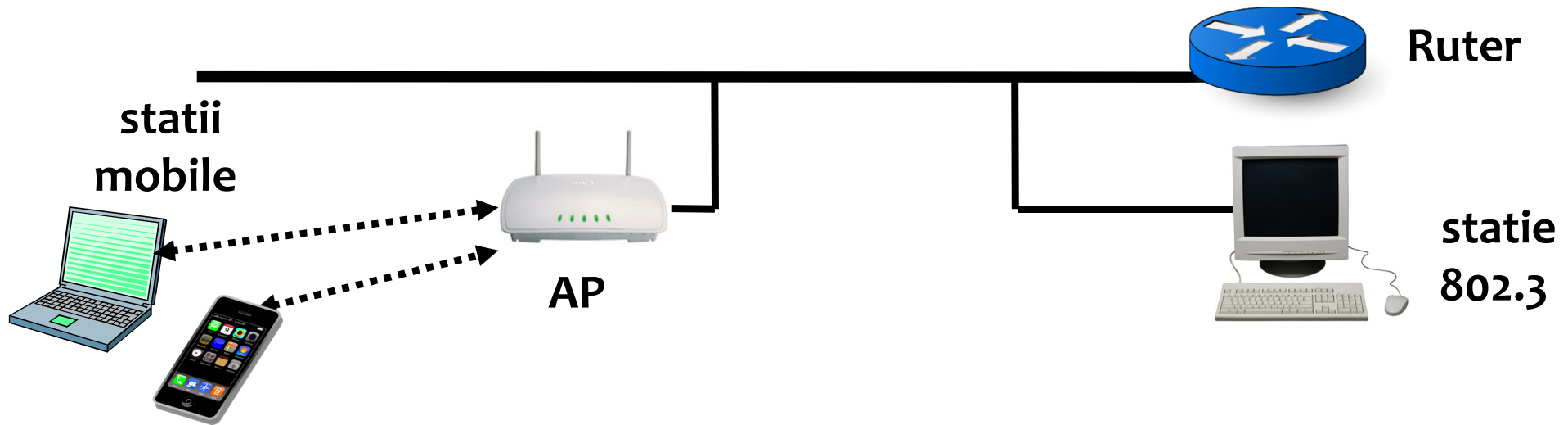


- **802.11ac uses 256QAM**
- **2015: Broadcom announced NitroQAM (1024QAM)**

---

# **Standarde 802.11**

# exemplu 802.11 + 802.3



# nivelele 802.11

<i>nivel egatura de date</i>	Subnivel MAC Medium Access Control	Gestiune MAC	gestiune statie
<i>nivel fizic</i>	Subnivel PLCP (Physical Layer convergence procedure)	gestiune PHY	
	Subnivel PMD (Physical medium Dependent)		

# 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, măsurători

# organizare 802.11

---

## Familia de standarde IEEE 802.11

- Specifică PHY(L1) și MAC(L2) pt rețele locale wireless (WLAN)
- MAC: bazat pe CSMA/CA
- PHY: infrarosu, radio 2.4GHz, 5GHz
- IEEE 802.11b (Wi-Fi) - 1999
  - 11 Mbps in banda 2.4GHz, foloseste DSSS, CCK
- IEEE 802.11a - 1999
  - 54 Mbps in banda 5 GHz ,
  - OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)
- IEEE 802.11g - 2003
  - 54 Mbps in banda 2.4 GHz, OFDM
- IEEE 802.11n - 2009
  - 72Mbps/canal/stream in 2.4 GHz OFDM, MIMO (max 600Mbps)
- IEEE 802.11ac - 2013-2105
  - 78Mbps/canal/stream in 2.4 GHz OFDM, MU-MIMO (max 1.7Gbps)

---

---

**nivelul fizic (L1)**

*Gast*  
*10 (DS PHY), 11*

# 802.11 PHY

---

Tipuri de radio:

Spread Spectrum

Diffused Infrared

Secvențe de împrăștiere (spread spectrum)

Frequency hopping (FH)

Direct sequence (DS)

Interfața radio folosește banda de 2.4GHz/5GHz fără licență în SUA, Europa, Japonia.

*1 Mbps & 2Mbps folosește FH – standard vechi*

1, 2, 5.5, & 11Mbps folosesc DSSS

6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, folosesc OFDM



# 802.11b

- Frecvențe fara licenta ISM (industrial științific medical) **2.4GHz**

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

- DSSS în fiecare canal

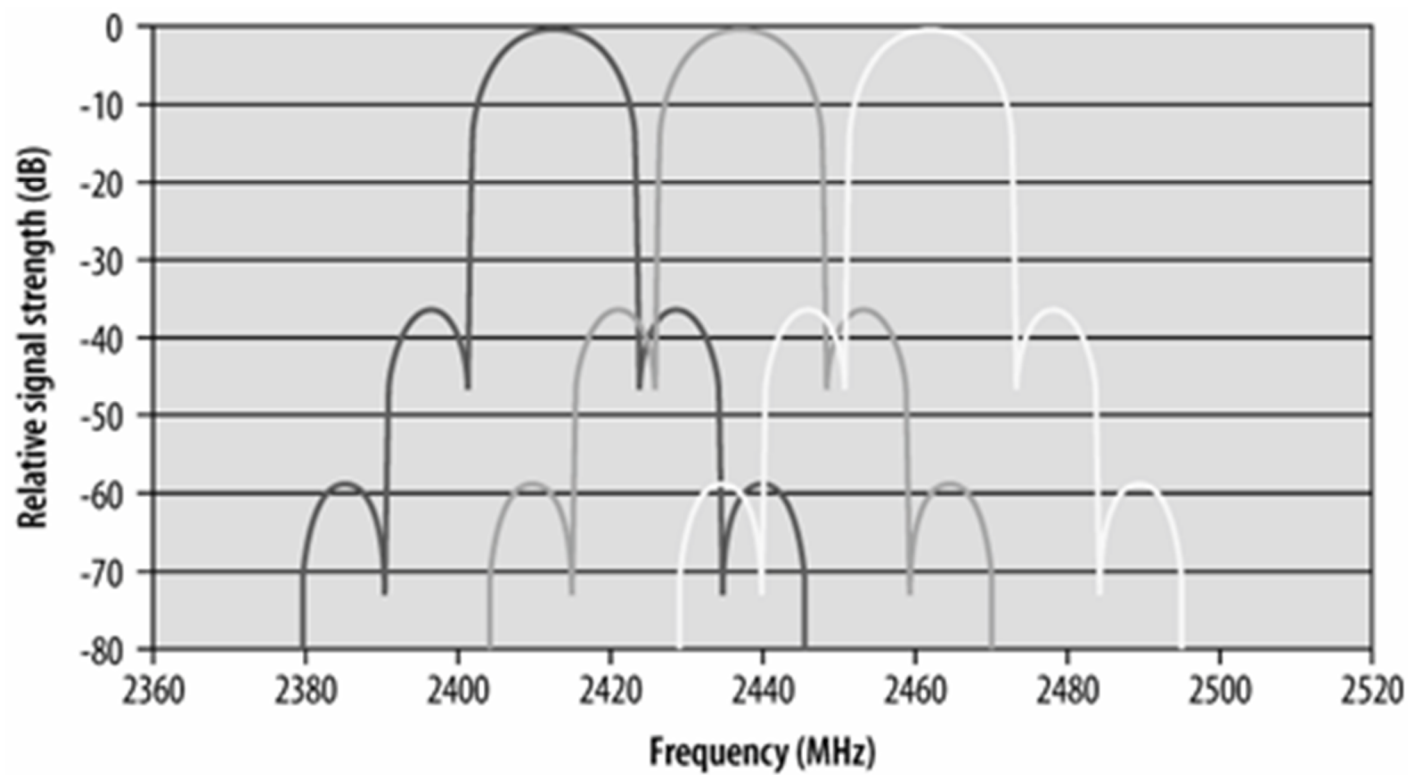
- **3 canale independente**

canal	$f_{\text{jos}}$	$f_{\text{sus}}$
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		

# IEEE 802.11b - caracteristici

- rate
  - » 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, DSSS, CCK
- Securitate
  - » limitata, WEP, SSID
- Avantaje:
  - Disponibilitate:
    - multe produse,
    - experienta tehnica,
  - frecventa fara licenta,
  - Multi producatori,
    - integrat in portabile, telefoane,
    - Preț scazut
- Dezavantaje:
  - » Interferență
  - » QoS Inexistent,
    - » “best effort”,
    - » fără garanții (PCF neimplementat)
  - » viteză redusă
  - » Gestiune limitată
    - » nu există distribuție de chei,
    - » criptare simetrică

# Canalele în 2.4GHz



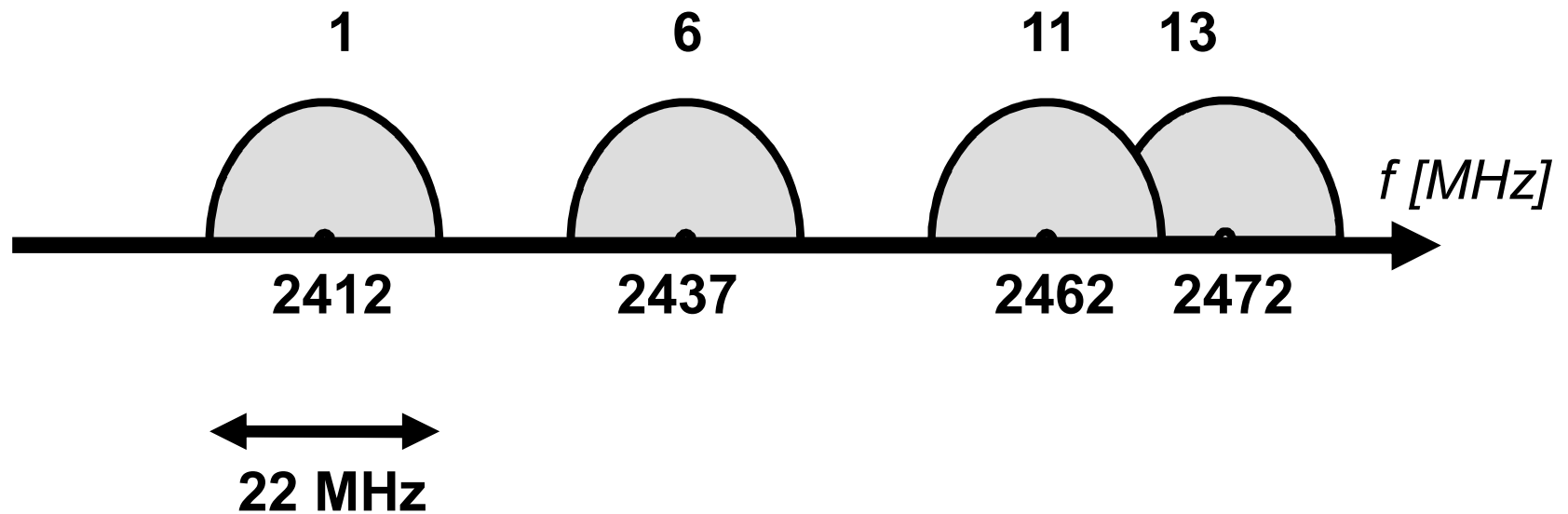
## KEY

- |   |           |   |            |
|---|-----------|---|------------|
| — | Channel 1 | — | Channel 11 |
| — | Channel 6 |   |            |

# dispunerea canalelor 2.4GHz

Europa: 1-13

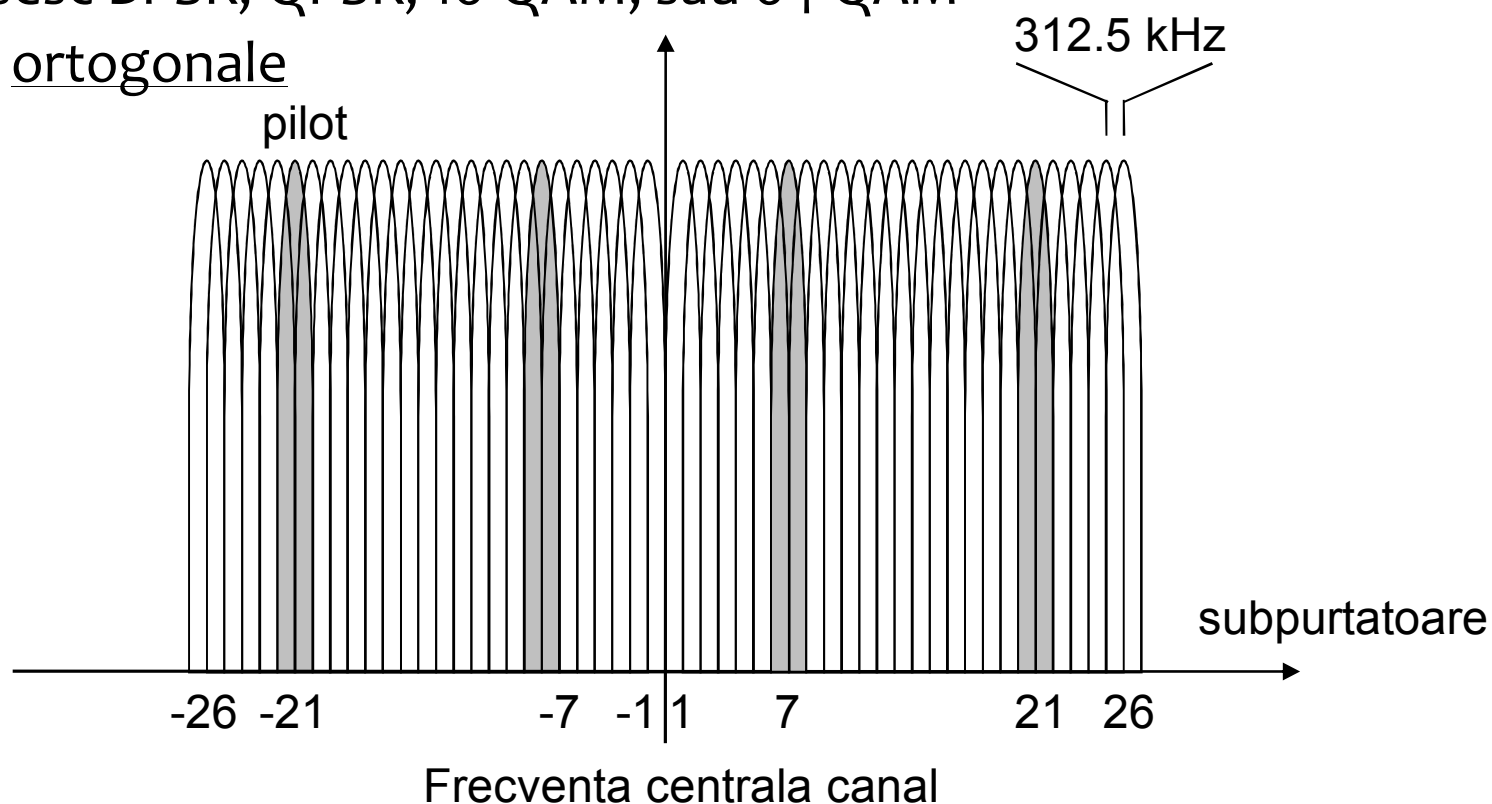
SUA/Canada 1-11



# OFDM in 802.11a,g,n,ac

- OFDM cu 52 subpurtatoare (64 in total)

- » 48 data + 4 pilot
- » Spatiere 312.5 kHz
- » Subpurtatoarele
  - folosesc BPSK, QPSK, 16-QAM, sau 64-QAM
  - sunt ortogonale



# Comparație BPSK/QPSK/QAM

Exemplu performanțe card EDUP b/g USB adapter

## 802.11b

1, 2 Mbps (BPSK, QPSK): -96dBm

11 Mbps (CCK): -91dBm

(Typically @PER < 8% packet size 1024 and @25°C)

## 802.11g

54Mbps (64QAM): -76dbm

48Mbps (64QAM): -71dbm

36Mbps (16QAM): -78dbm

24Mbps (16QAM): -80dbm

18Mbps (QPSK): -81dbm

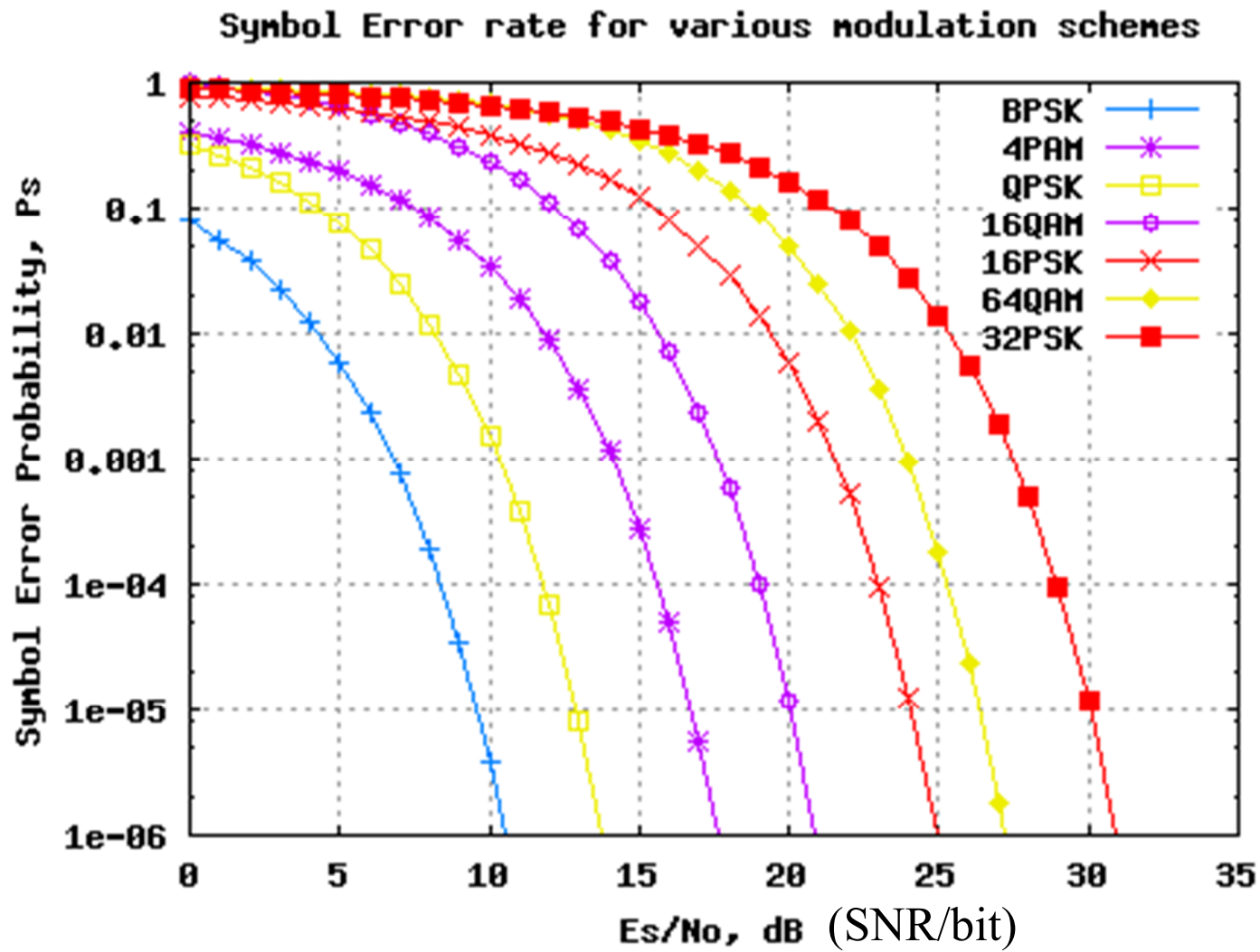
12Mbps (QPSK): -82dbm

9Mbps (BPSK): -85dbm

6Mbps (BPSK): -91dbm

(typically @PER < 10% packet size  
1024 and @25°C)

**Constelațiile mai bogate necesită putere mai mare!**



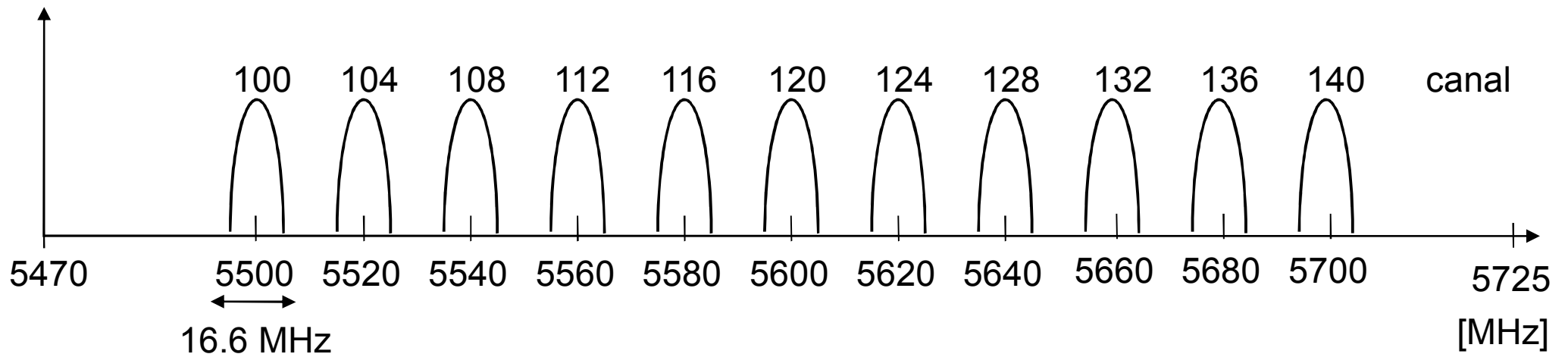
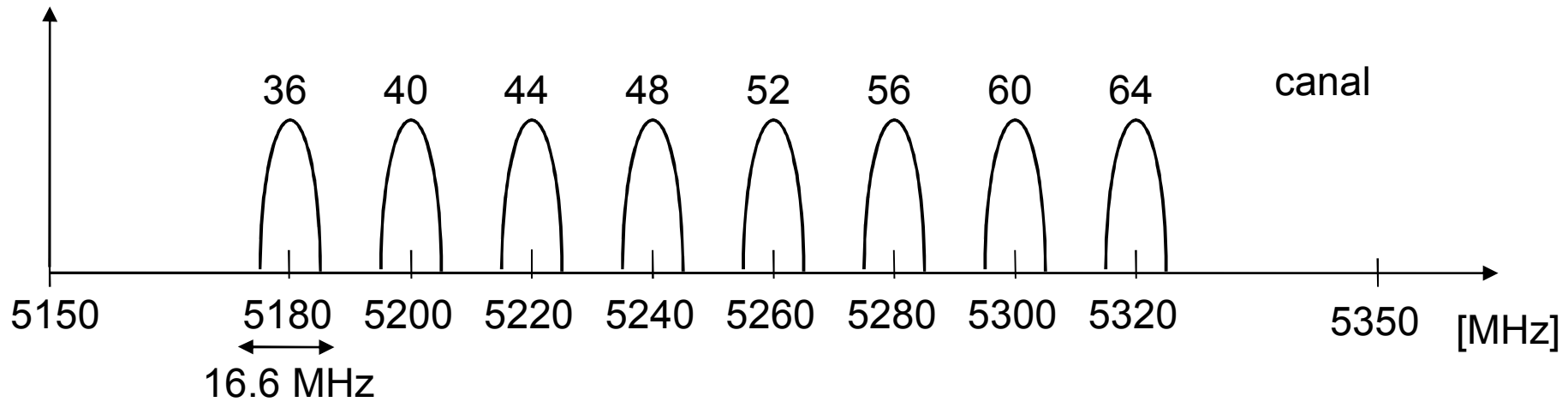
Constelațiile mai bogate necesită putere mai mare

# IEEE 802.11a - caracteristici

- rate
  - » 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
- Frecvente
  - » 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:
  - » frecventa fara licenta
  - » interferenta redusa
  - » pret scazut
- Dezavantaje:
  - Disponibilitate
    - Mai redusa decat 802.11 b & g
  - » propagare redusa (5GHz)
  - » QoS Inexistent,
    - » best effort
    - » fara garantii
    - » (PCF neimplementat)
  - » Gestiune limitata

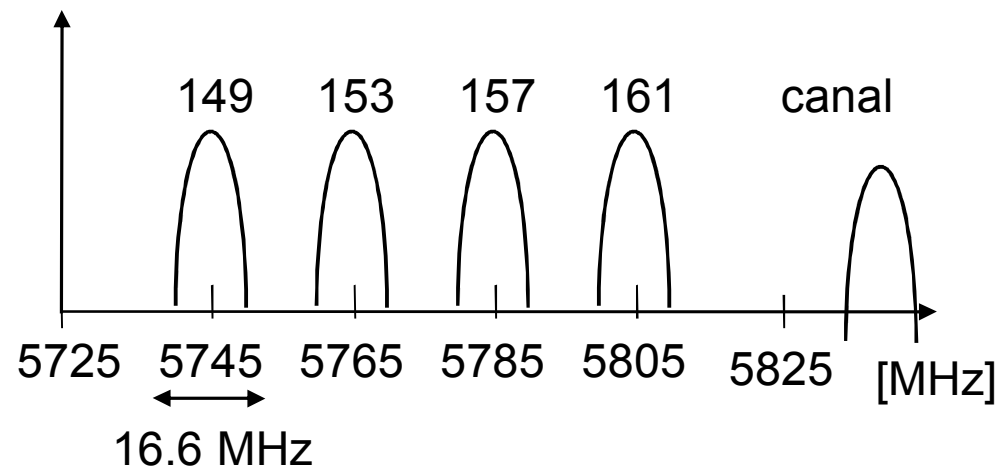
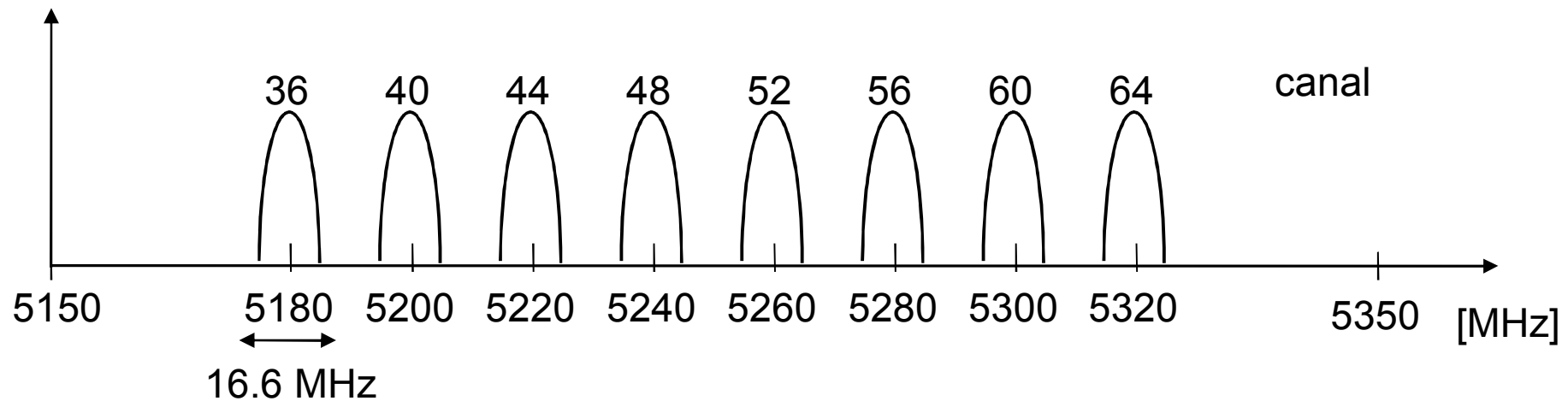


# Canale 802.11a (Europa)



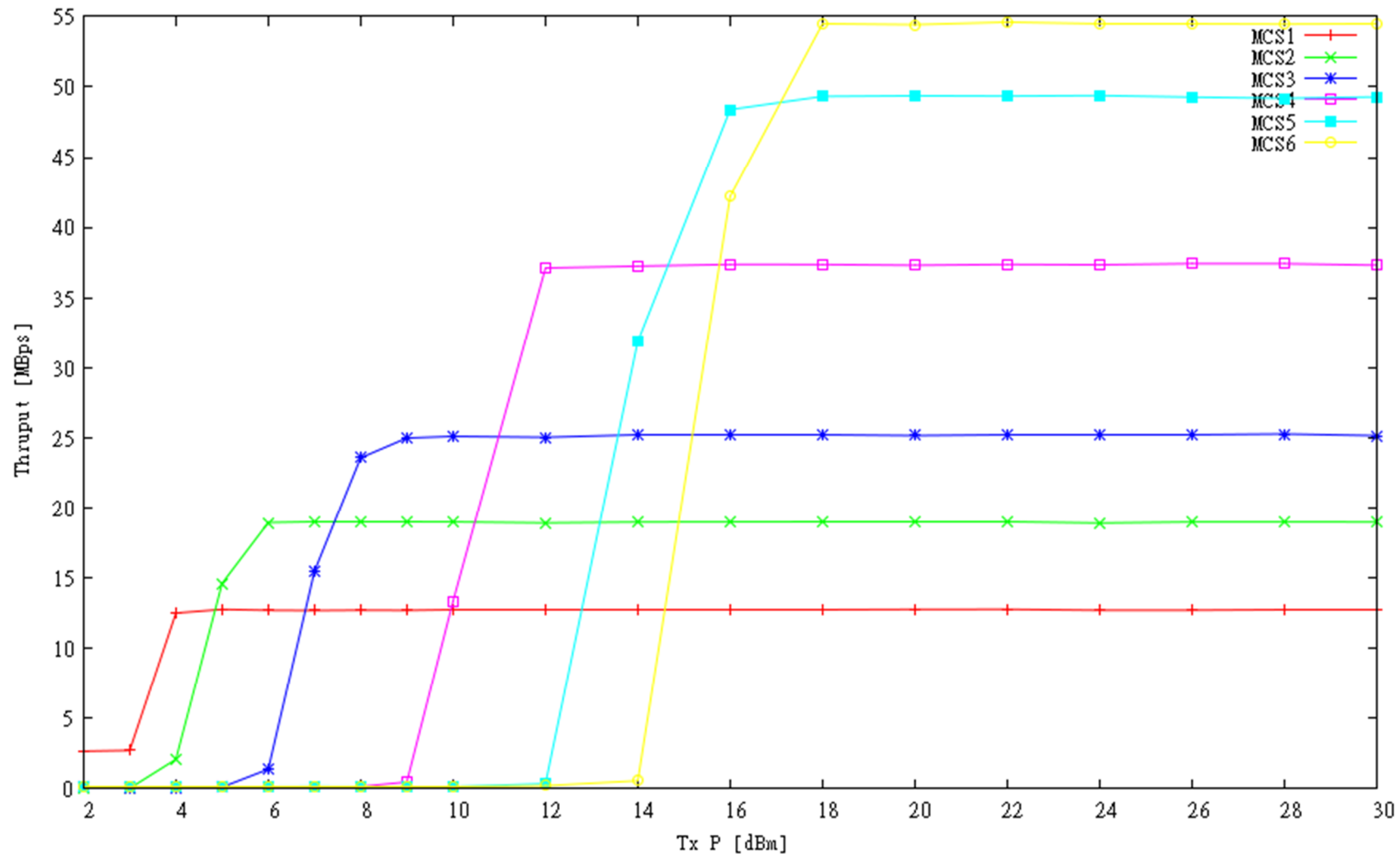
Frecventa centrala [MHz] =  
 $5000 + 5 \cdot \text{numar canal}$

# Canale 802.11a (SUA/Canada)



$$\text{Frecventa centrala [MHz]} = 5000 + 5 \cdot \text{canal}$$

Măsurători în Leu corp A, 5.7GHz distanța 10m MCS=1-6:  
La creșterea puterii la emisie, constelațiile bogate devin eficiente



# Propagare 802.11a

- De ce propagarea este mai slabă la 5GHz?

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

d = distanța

f = frecvența purtătoarei

n = exponent

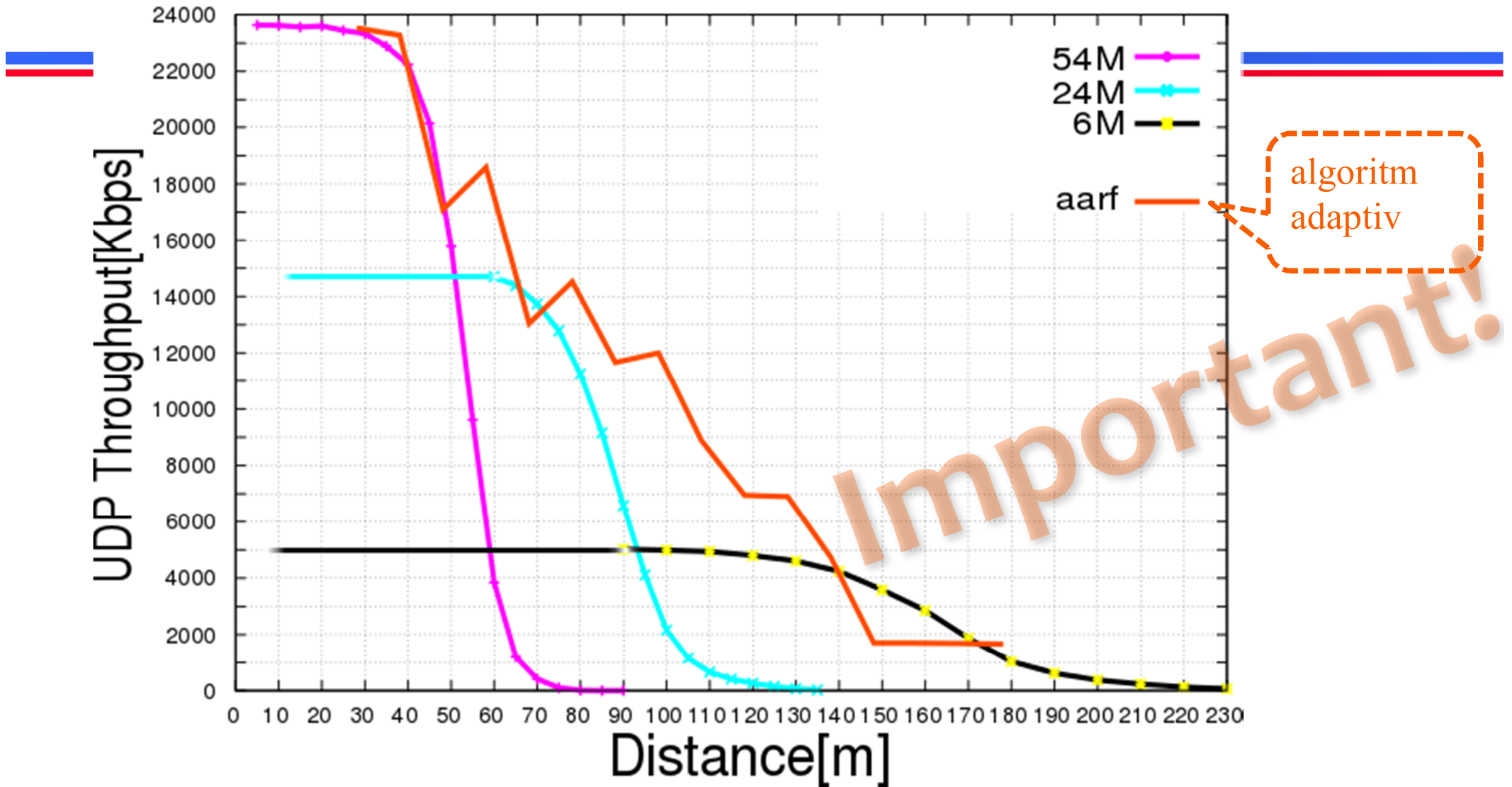
mediu	n	propagare
coridoare	1.4 – 1.9	ghid undă
Camere mari, libere	2	free space loss
Camere cu mobilă	3	FSL + multicăi
Camere încărcate	4	non LOS, difracție, împrăștiere
Între etaje	5	traversare podele, pereți

# 802.11g

---

- 802.11g : Similar cu 802.11a, dar compatibil cu 802.11b
  - 2.4GHz
  - DSSS/CCK – 1, 2, 5.5, 11 Mbps
  - OFDM – 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54 Mbps
- Coexistența cu 802.11b: CTS to self
  - activat doar dacă AP 802.11g vede stații 802.11g
  - CTS folosește DSSS pentru a putea fi decodat de 802.11b
  - conține rezervarea în timp
  - schimbul date/ACK folosește OFDM

ns-3 simulation: 802.11g, Nakagami, 3log distance



Constelațiile mai bogate necesită putere mai mare...  
... **funcționează la distanță mai mică**

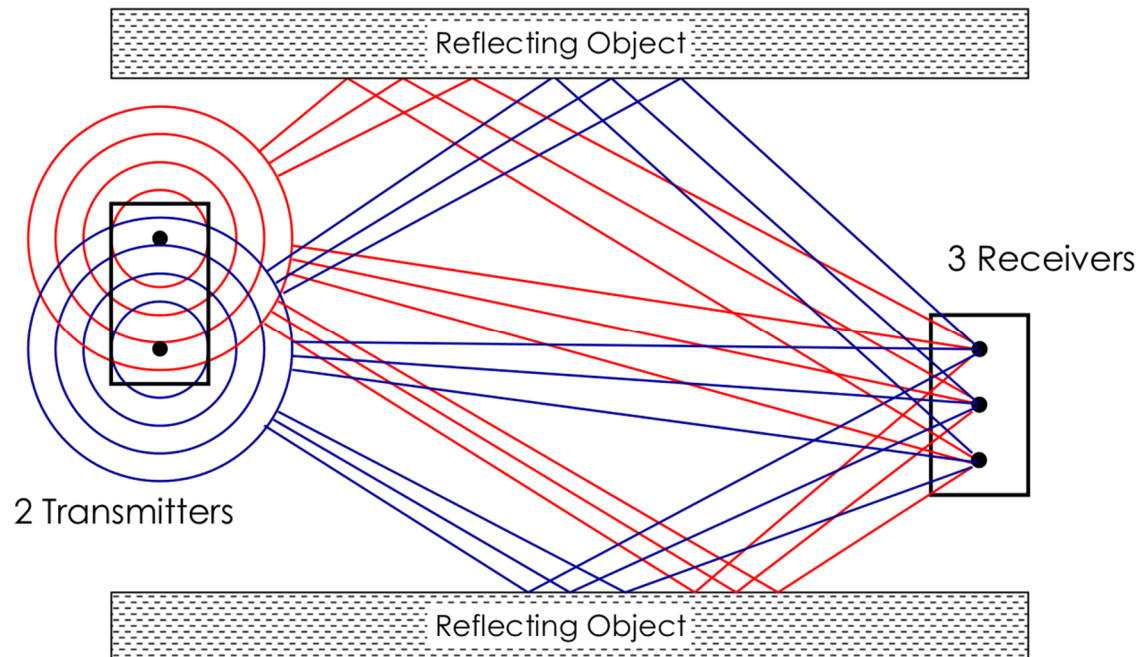
# 802.11n (2009)

---

- 2.4GHz și 5GHz, backward compatible cu a/b/g
  - Metode de coexistență cu dispozitivele vechi
- Canale de 40Mhz
  - Ocupă 80% din spectrul 2.4GHz
- Agregare de cadre
  - Block acknowledgement
- Max 600Mbps
- Distanțe crescute: 70m interior
- MIMO cu maximum 4 antene

# MIMO

- **MIMO = Multiple-Input Multiple-Output**
  - Antene multiple la emițător și la receptor
  - MCS ridicate **și** distanțe ridicate, fără putere adițională
- **Funcții**
  - **Beamforming**: emite același semnal pe toate antenele => maximizare recepție
  - **Spatial multiplexing**: fluxuri diferite pe antene diferite, **aceeași purtătoare**
  - **Diversity coding**: emite același semnal codat diferit pt a exploata diversitatea

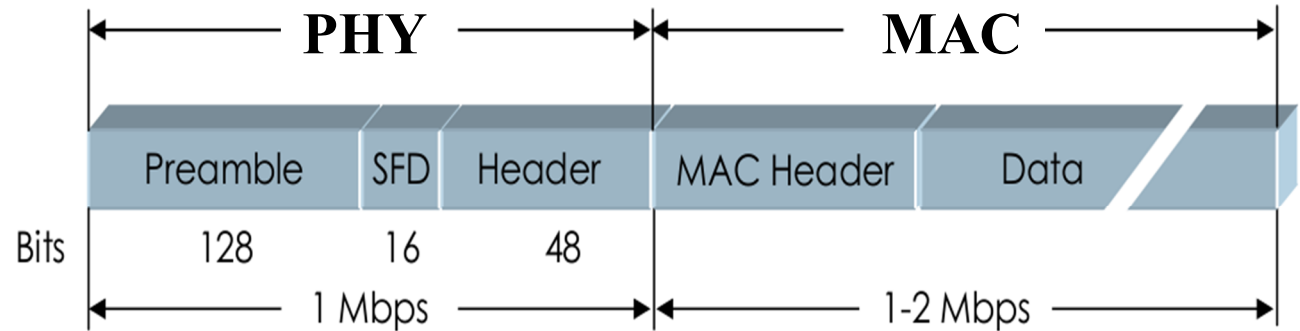




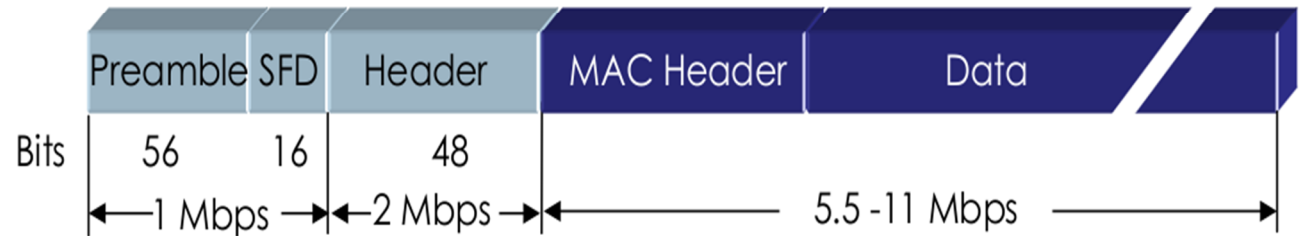
# Antete nivel fizic, 2.4GHz



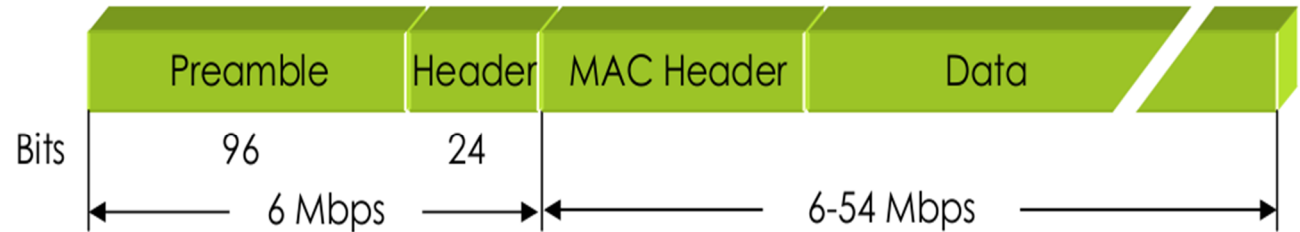
802.11 DSSS with



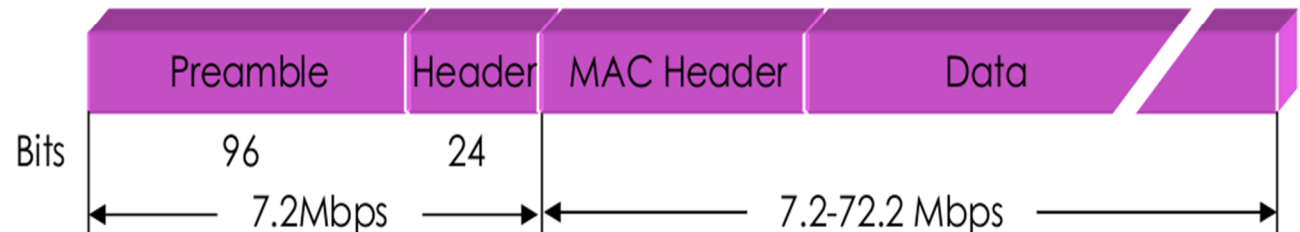
802.11b HR/DSSS with



802.11g (ERP)



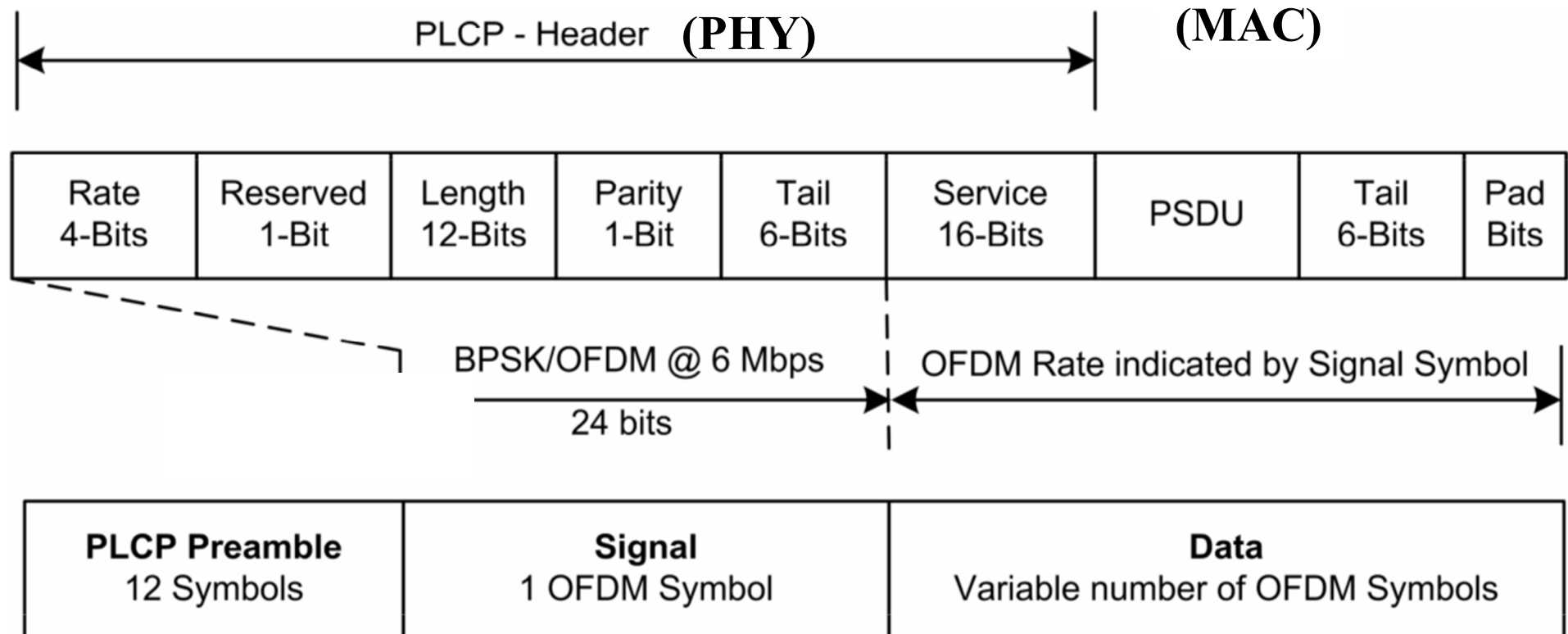
802.11n (HT)



# Exemplu antete PHY 802.11g

vezi  
Laborator 3

## ERP-OFDM PPDU (802.11a/g)



---

# Nivelul access la mediu

*Gast  
Ch 3*

# wired == wireless?

---

- Asemănări cu Ethernet:

- » wireless e un mediu partajat
- » interferența între transmițători
- » CSMA (carrier sense multiple access)
  - stația emițătoare detectează prezența altor stații
  - “ascultă înainte de a transmite”
- » de dorit:
  - o singură stație transmite la un moment dat
  - eficiență, echitate

- Diferențe:

- » CD (detectia coliziunilor) dificilă:
  - O singura antenă, comunicare simplex
- » Canale de calitate slabă: BER, variabilitate în spațiu/timp
- » Terminal ascuns, terminal expus

# Carrier Sense

---

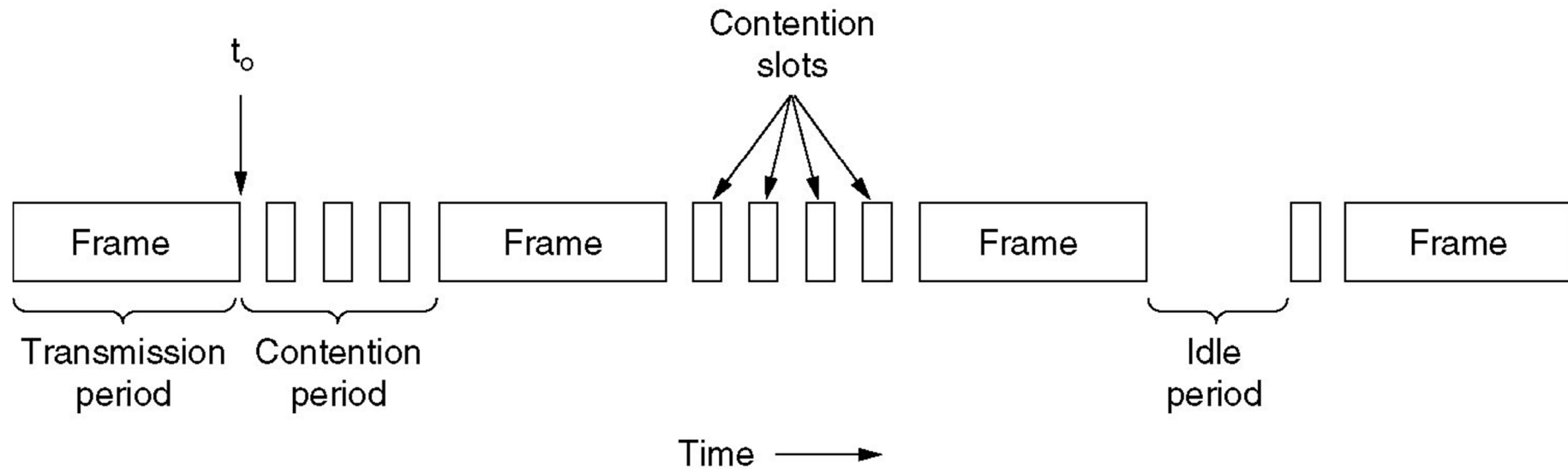
- Daca mediul este ocupat, se amână transmisia
- Analogie: discuții la petrecere
- Virtual
  - » NAV = network allocation vector
  - » Fiecare stație asculta indicațiile de temporizare din toate cadrele
- Fizic
  - » Se detectează prezența purtătoarei unei alte stații
  - » Depinde de implementare =>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

# Recapitulare Ethernet

---

CSMA/CD = carrier sense multiple access with collision detection

# Ethernet - CSMA/CD

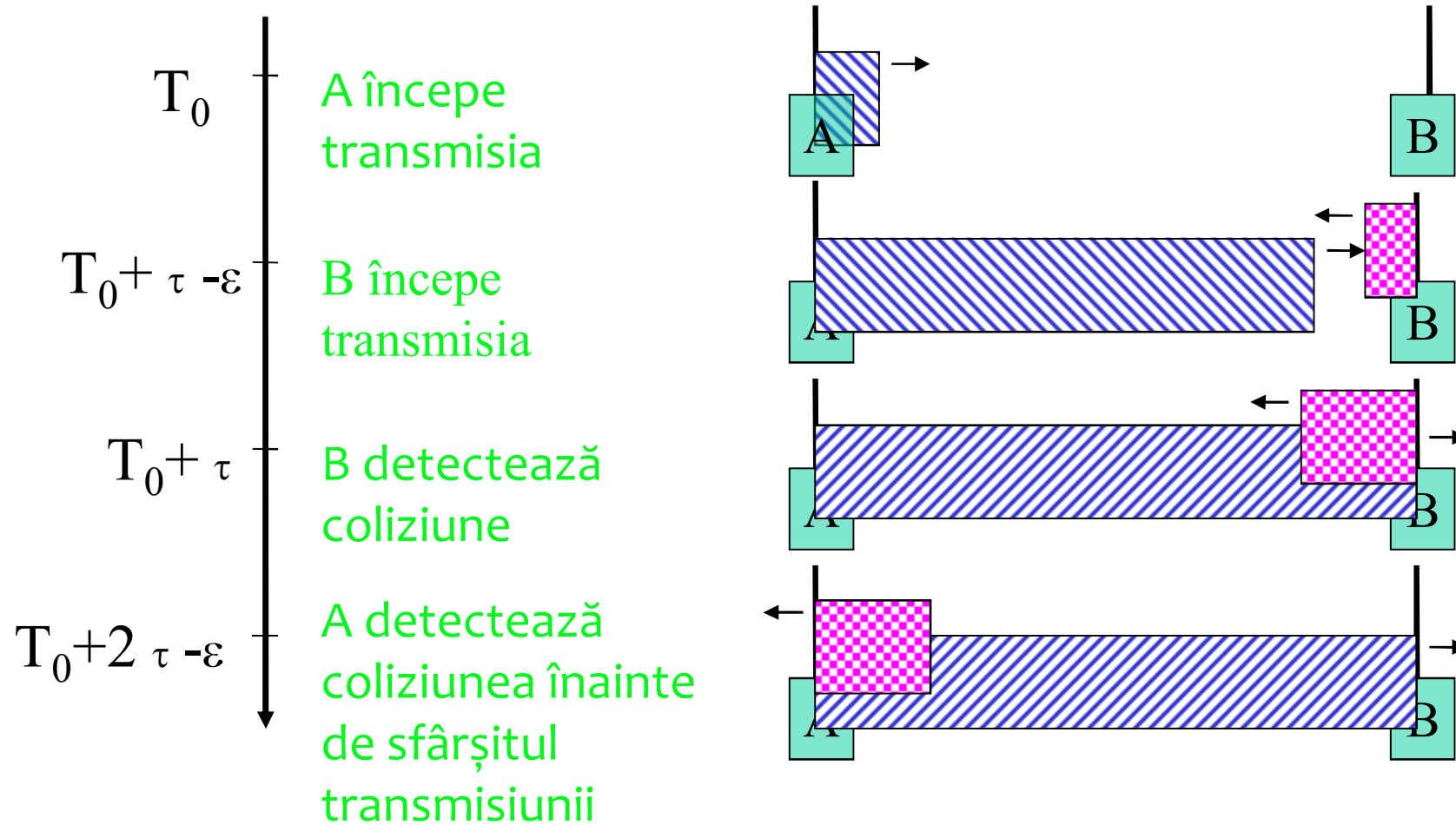


Cât durează detecția coliziunii?

- Depinde de timpul de propagare între stații  $\tau$
- Rezultă că după  $\tau$ , canalul este ocupat de o stație transmițătoare?

NU, de fapt e nevoie de RTT  $\Rightarrow 2\tau$

# Ethernet:CSMA/CD: exemplu detecție





# Ethernet: CSMA/CD

---

De ce este nevoie de lungime minimă de 64 octeți la cadrul Ethernet?

- Pt LAN 10Mbps, 2500m, 4 repeatoare  $2^7 = 50^7$ s
  - 1bit = 100ns => sunt necesari 500biți pentru cadrul cel mai scurt
- Ce se întâmplă când crește banda?
  - Este nevoie de cadre minime mai lungi, sau
  - Lungime cablu redusă

Lungime minimă 512 octeți pentru Giga Ethernet 802.3z (1998)

- Cadrul este extins după câmpul Checksum
- Doar pentru half-duplex. De ce?

# Ethernet: regresie binară exponențială

---

- Un slot este de 512biți (51.2us pt 10Mbps)

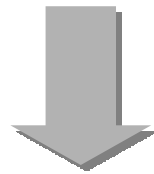
## ALGORITM

- După coliziunea  $k$ , se așteaptă aleator între 0 și  $2^k - 1$  sloturi
- După 10 coliziuni, intervalul maxim de așteptare rămâne 1023 sloturi
- După 16 coliziuni, se raportează pierderea nivelului superior
  
- Scop: adaptarea dinamică la numărul de stații
- Neajuns: CSMA/CD nu oferă confirmări (ACK), deși ar fi posibil

# Două observatii despre CSMA/CD

---

1. Transmițătorul poate trimite/asculta simultan  
if (trimis - primit == 0) then succes
2. Semnalul este aproape identic la Tx si Rx



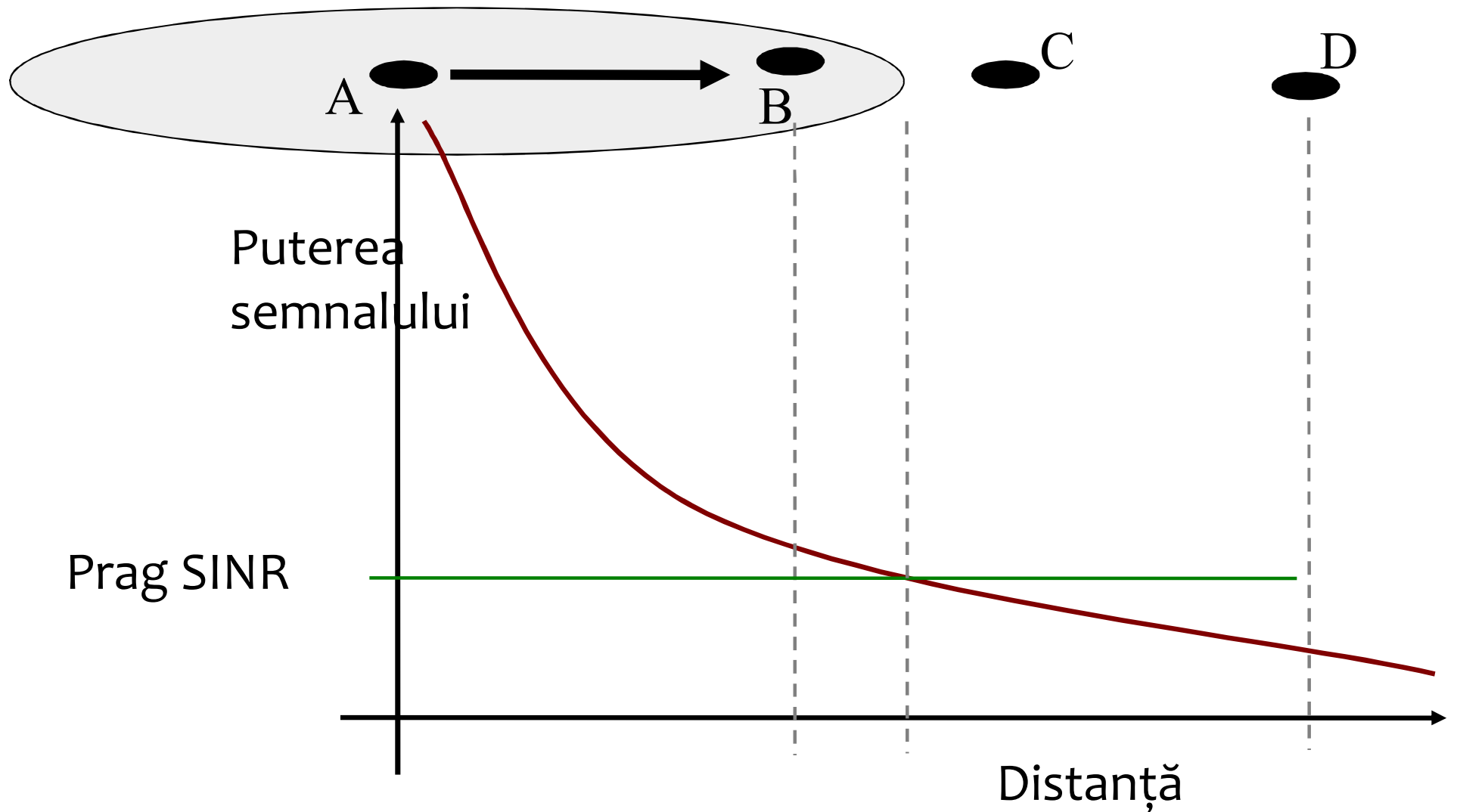
**TRANSMIȚĂTORUL** poate detecta dacă și când se produce coliziunea

# Din nefericire...

---

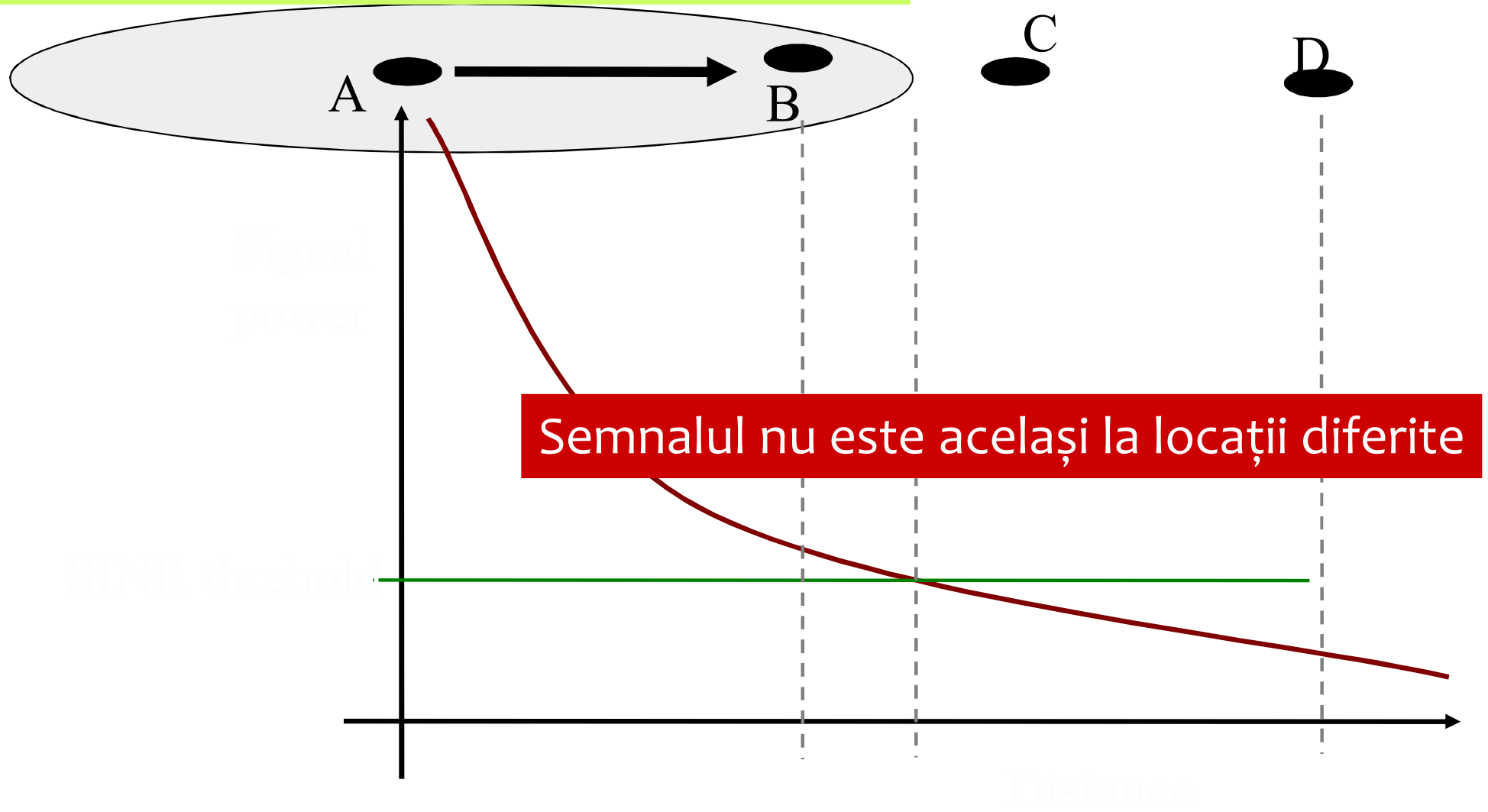
Nici una din cele două observații nu este valabilă în wireless, deoarece...

# Wireless MAC

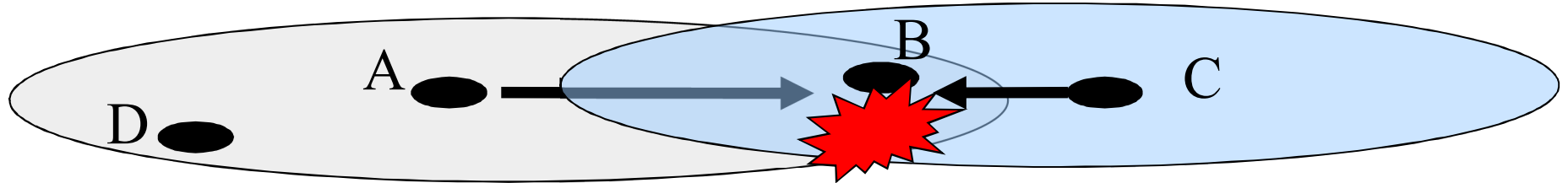


# Mediul wireless dispersează energia

A nu poate trimite și recepționa simultan



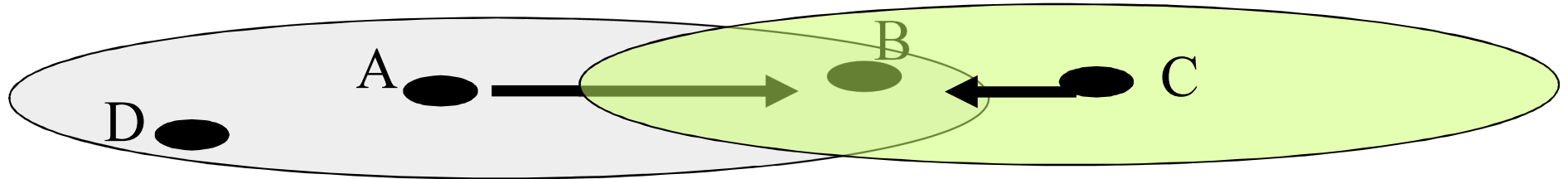
# Detecția coliziunilor dificilă



## Recepția semnalelor bazată pe SINR

- Transmițătorul se aude doar pe sine
- Nu poate estima calitatea semnalului la receptor

# Calculul SINR



$$SINR = \frac{\text{Semnal}(S)}{\text{Interferenta}(I) + \text{Zgomot}(N)}$$

$$S_B^A = \frac{P_{\text{transmit}}^A}{d_{AB}^\alpha}$$

$$I_B^C = \frac{P_{\text{transmit}}^C}{d_{CB}^\alpha}$$

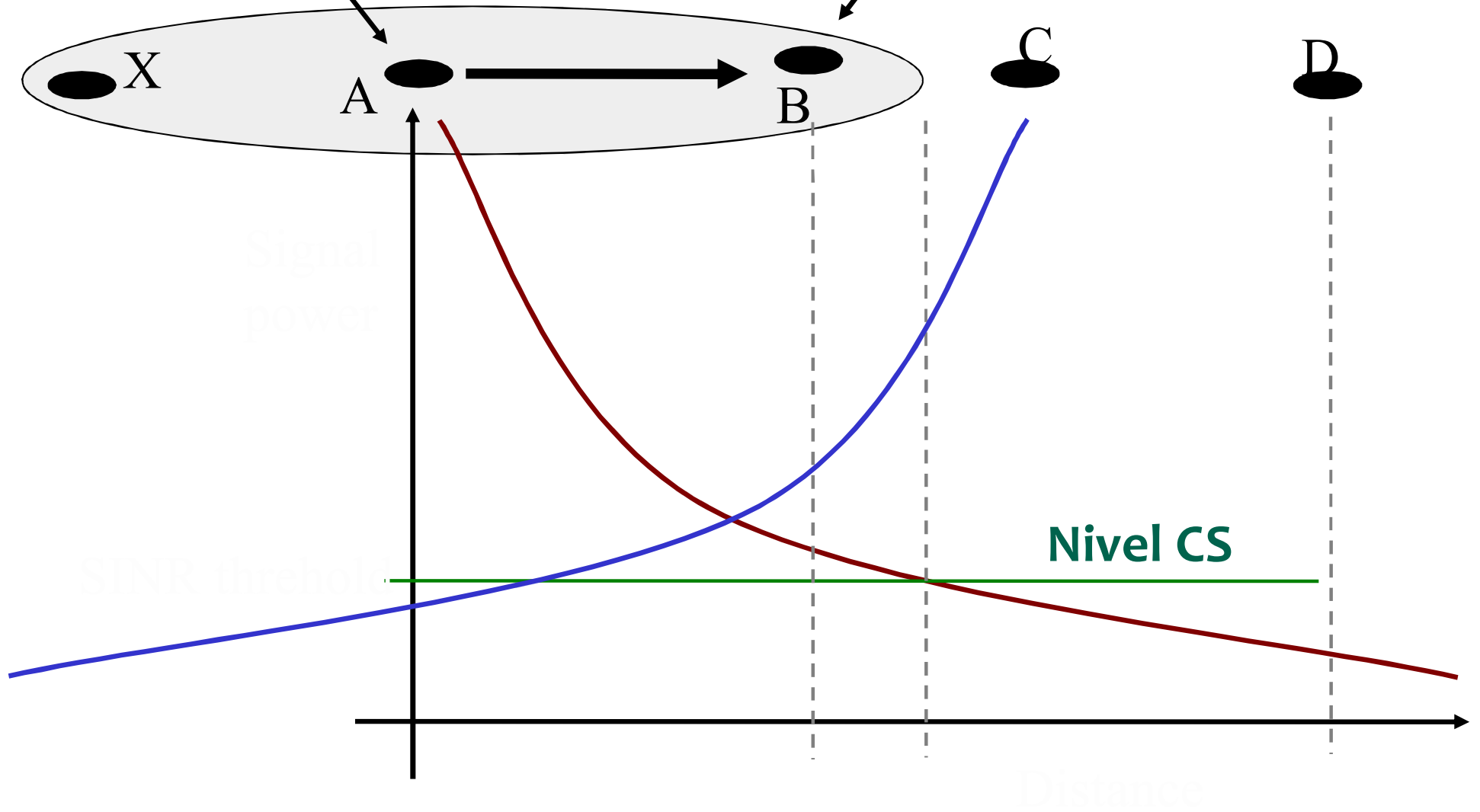


$$SINR_B^A = \frac{\frac{P_{\text{transmit}}^A}{d_{AB}^\alpha}}{N + \frac{P_{\text{transmit}}^C}{d_{CB}^\alpha}}$$



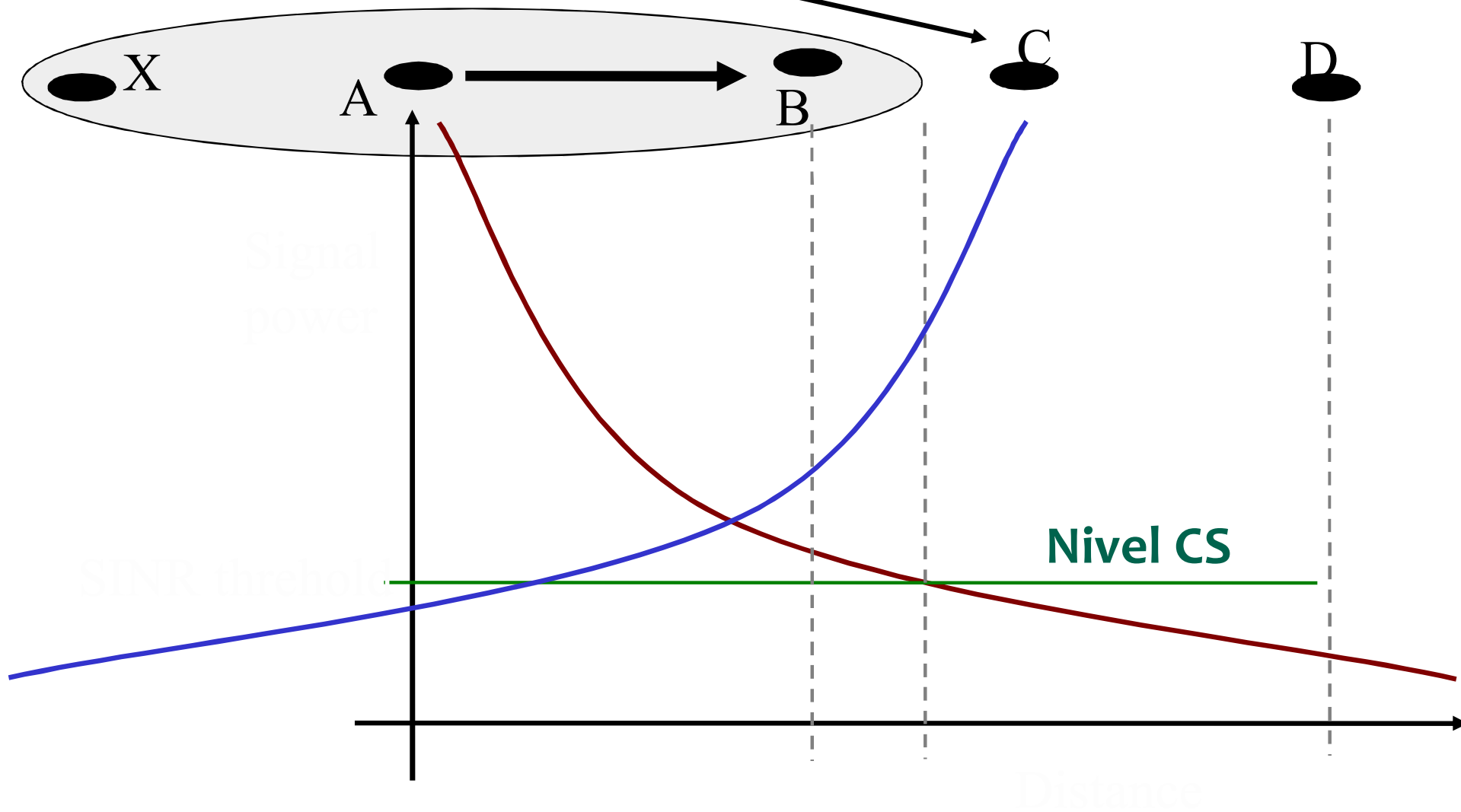
Roşu  $\gg$  albastru

Roşu  $<$  albastru = coliziune



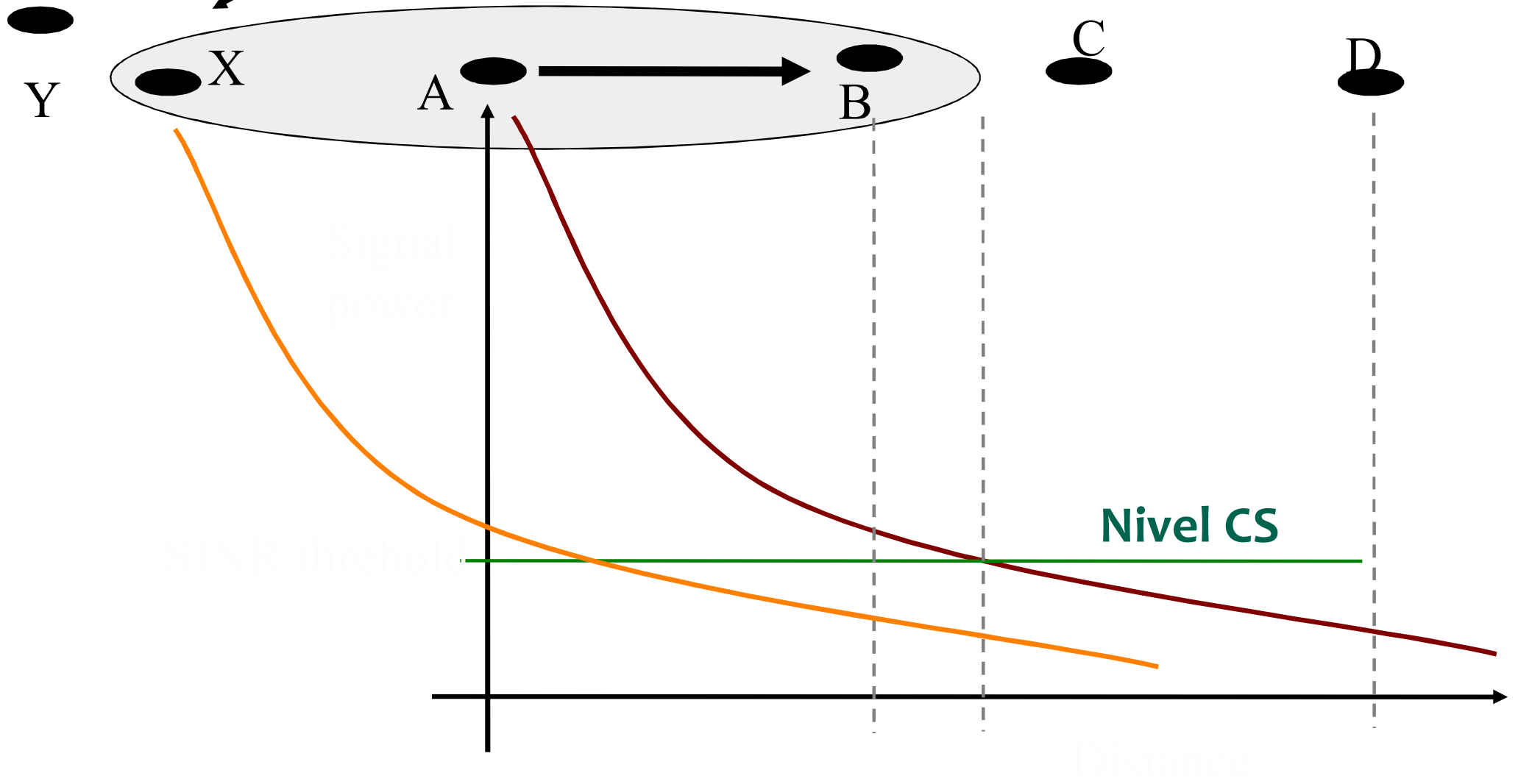
Important: C nu-l aude pe A, produce interferenta la B

C este terminal ascuns pt A



Important: X îl aude pe A, dar nu trebuie să cedeze accesul (catre Y)

X este terminal expus pentru A

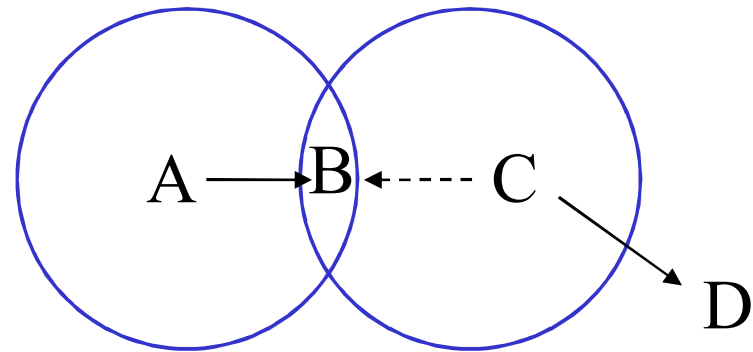


# Sumar terminale ascunse, expuse

---

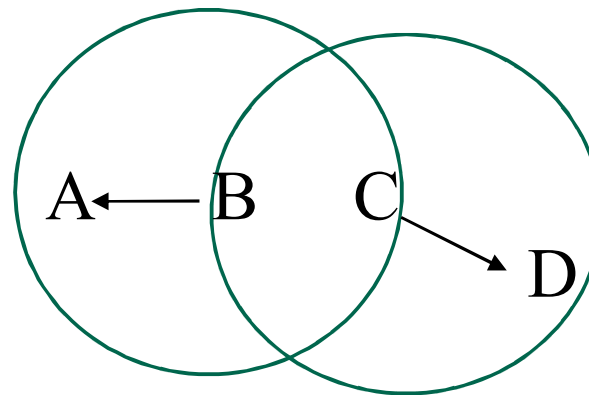
- Terminal ascuns

- » A si C pot transmite in acelaasi timp



- Terminal expus

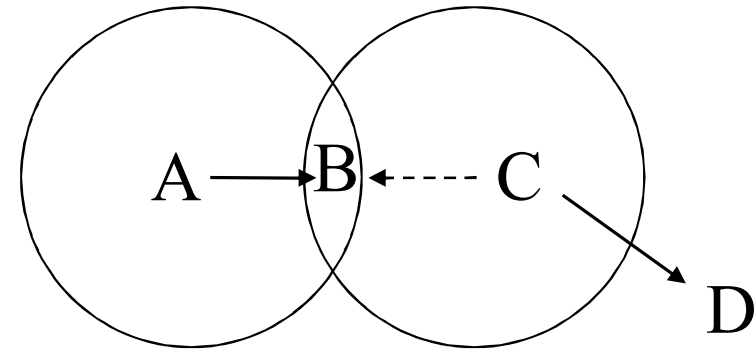
- » B si C nu pot transmite in acelaasi timp



# terminale ascunse, expuse

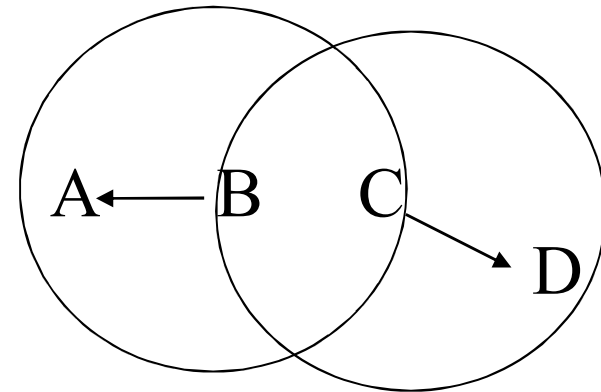
- Situațiile reale sunt rareori doar TA sau doar TE

- canale asimetrice
- hardware diferit
- Combinații de TA, TE



- Captura: TA, dar la B  $P_A > P_C + 10\text{dB}$

- TE asimetric: doar B aude pe C => lipsa de echitate între debitele BA și CD



# 802.11 - MAC

---

- **Acronime**

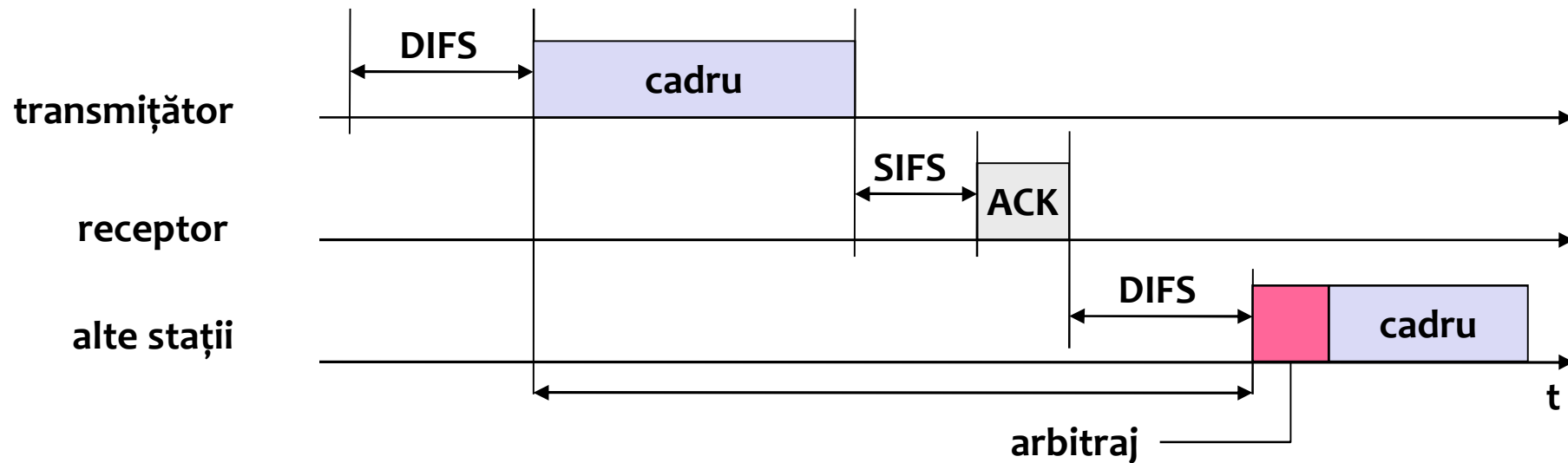
- » DCF (Distributed Coordination Function) - acces asincron
- » PCF (Point Coordination Function) - acces sincron
- » CSMA/CA - carrier sense multiple access, collision avoidance

- **Metode de acces**

- » DCF + CSMA/CA (obligatoriu)
  - politica de tip “best-effort”
  - broadcast and multicast
  - Evitarea coliziunilor (CA) prin „back-off” randomizat
  - Distanța minimă între pachete consecutive
  - ACK
- » DCF + RTS/CTS (optional, dar implementat)
  - minimizează terminalele ascunse
- » *PCF (optional)*
  - AP oferă accesul pe baza unei liste

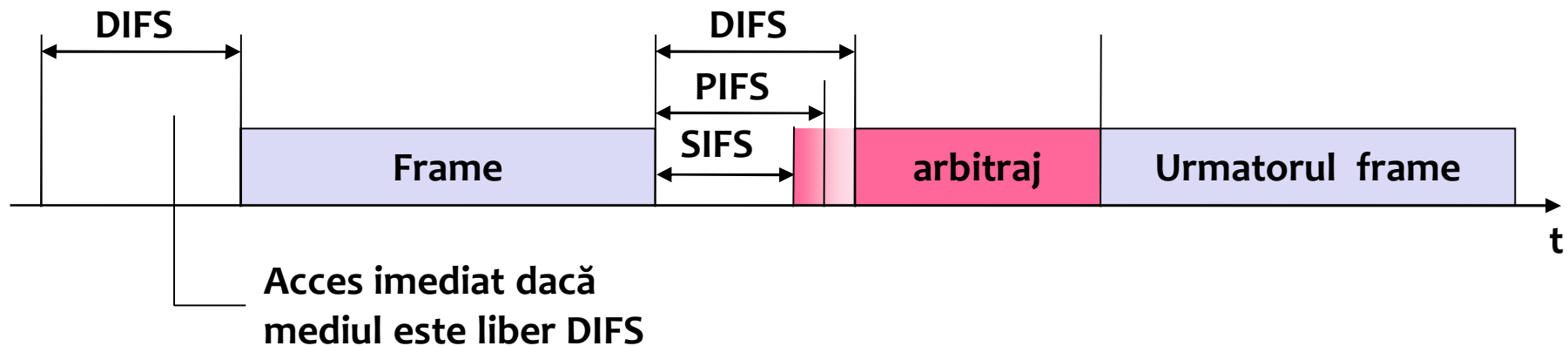
# 802.11 Date unicast

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



# 802.11 - MAC

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

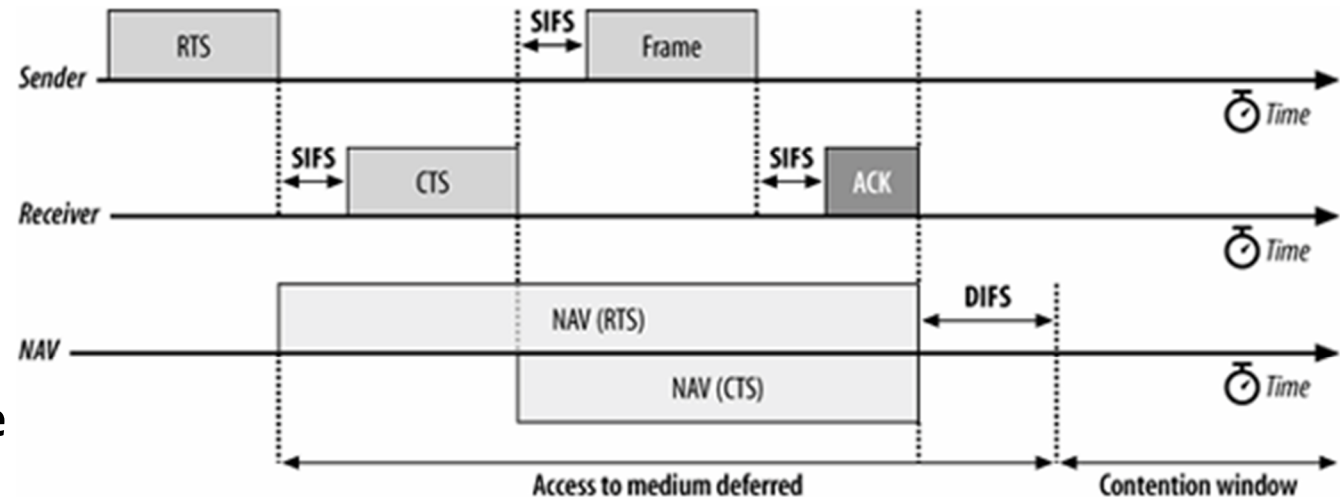




# Carrier sense (detecția purtătoarei)

## Detecția purtătoarei

- Fizic – nivel de putere
- Virtual – NAV

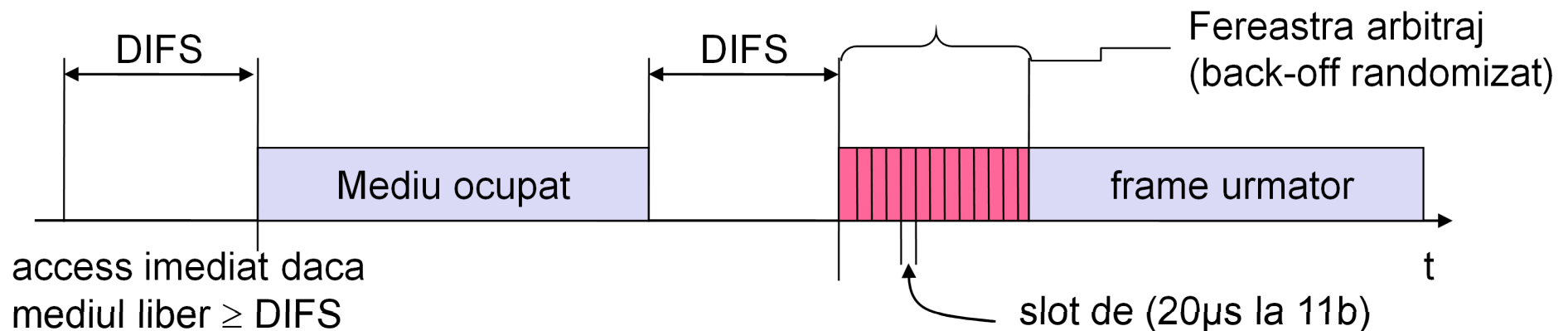


## NAV (network allocation vector)

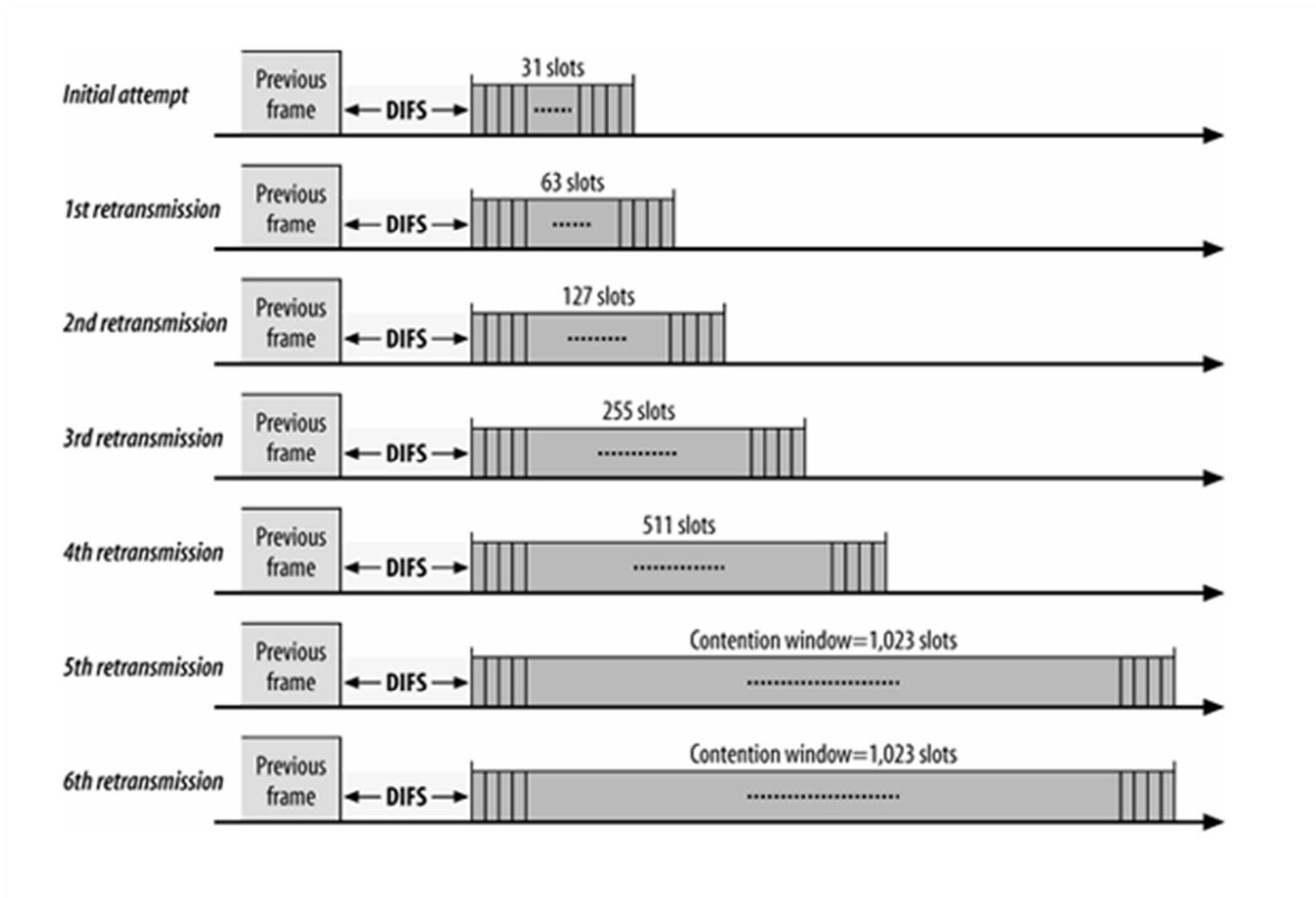
- Un timer care indică durata pentru care mediul este rezervat (ms)
- $NAV \neq 0 \Rightarrow$  mediul este ocupat
- Majoritatea cadrelor 802.11 conțin un câmp 'durată'
- Se folosește pentru operațiuni atomice (unitare)
  - RTS/CTS/Data/ACK
  - Data/ACK

# 802.11 - CSMA/CA

- stația evaluează dacă mediul e liber (Carrier Sense)
- mediu liber pentru DIFS => se poate transmite imediat
- mediu ocupat => stația așteaptă DIFS liber, apoi se așteaptă pentru arbitraj o perioadă randomizată în intervalul [0..CW) sloturi:
  - » dacă stația pierde arbitrajul (mediul devine ocupat) timpul rămas 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)



Standard	Slot [ $\mu s$ ]	SIFS [ $\mu s$ ]	DIFS [ $\mu s$ ]	CW
11b	20	10	50	31-1023
11a	9	16	34	15-1023
11g	9	10	28	15-1023
11n/2.4GHz	9	10	28	15-1023
11n/5GHz	9	16	34	15-1023
11ac	9	16	34	15-1023

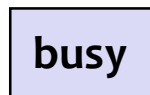
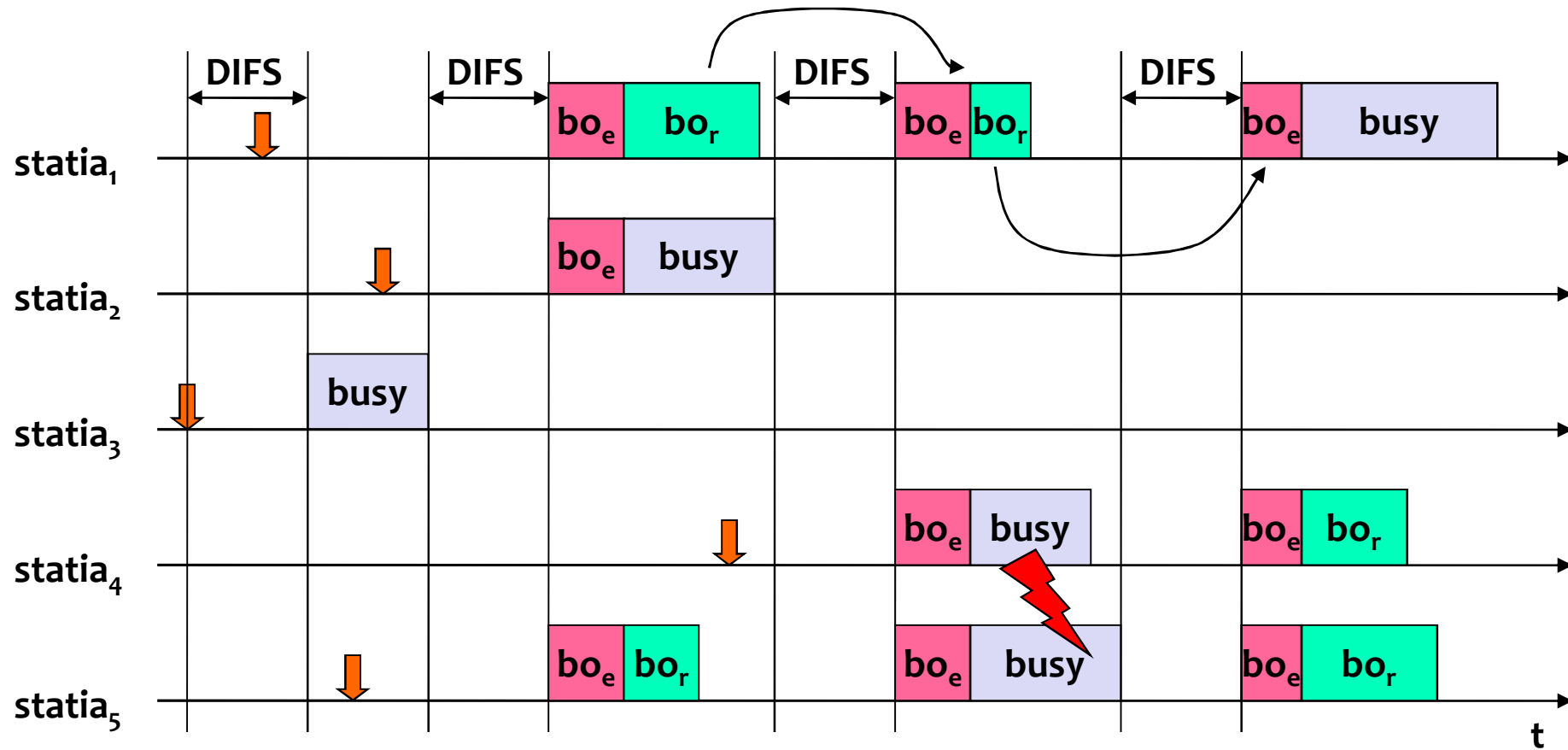
DIFS: Care este regula?

# 802.11 unicast la distanță mare

---

- » La distanță mare, lungimea slotului și ACK timeout trebuie modificate
- »  $300\text{m} \sim 1\mu\text{s}$
- » ACK timeout depinde de fabricant
- »  $\text{ACK Timeout} = \text{SIFS} + \text{Air Propagation Time (max)} + \text{Time to transmit 14 byte ACK frame} [14 * 8 / \text{bitrate in Mbps}] + \text{Air Propagation Time (max)}$
- »  $\text{Slottime} = \text{MAC and PHY delays} + \text{Air Propagation Time (max)}$
- » exemplu Atheros ACK timeout pentru 802.11a
  - » default  $22\mu\text{s}$
  - » maximum  $409\mu\text{s}$  (61km)
  - » Atenție la DIFS!

# 802.11 - exemplu 5 stații



Mediu ocupat (frame, ack etc.)



backoff expirat

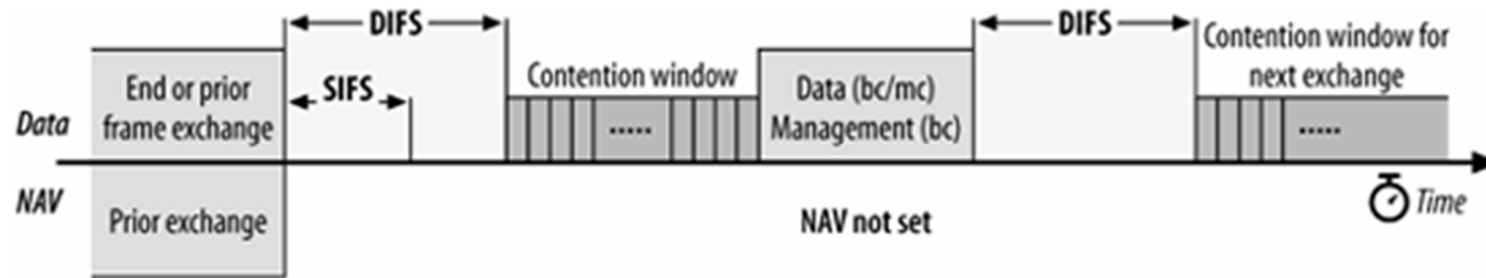


Un pachet devine disponibil



backoff rămas

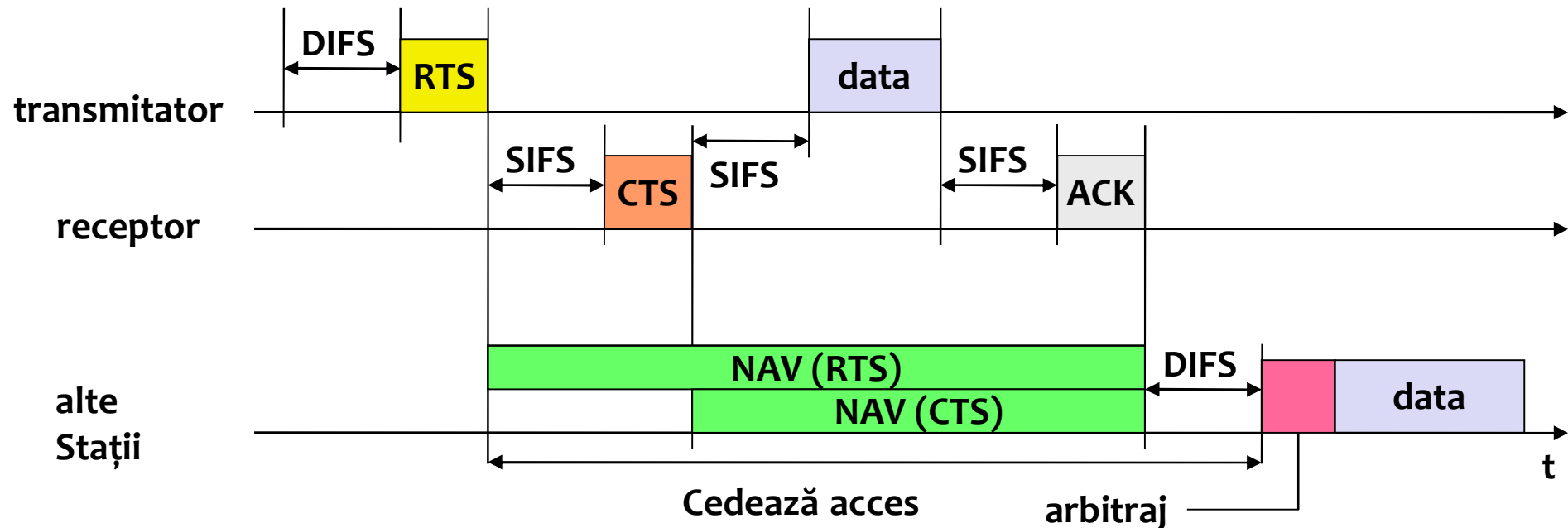
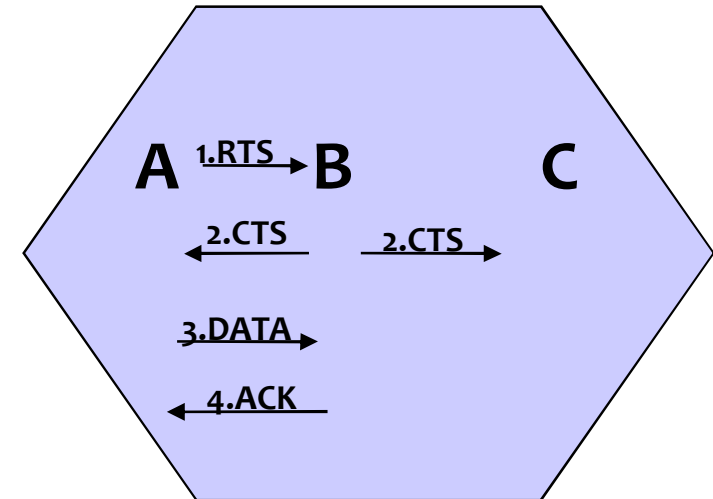
# 802.11 date broadcast



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

# 802.11 - RTS/CTS

- pentru pachete unicast
  - » Transmițător: RTS cu rezervare (rezerva timpul necesar)
  - » Receptor: CTS
  - » Transmitator: frame
  - » Receptor: ACK
  - » Celelalte stații mențin NAV
  - » RTS threshold

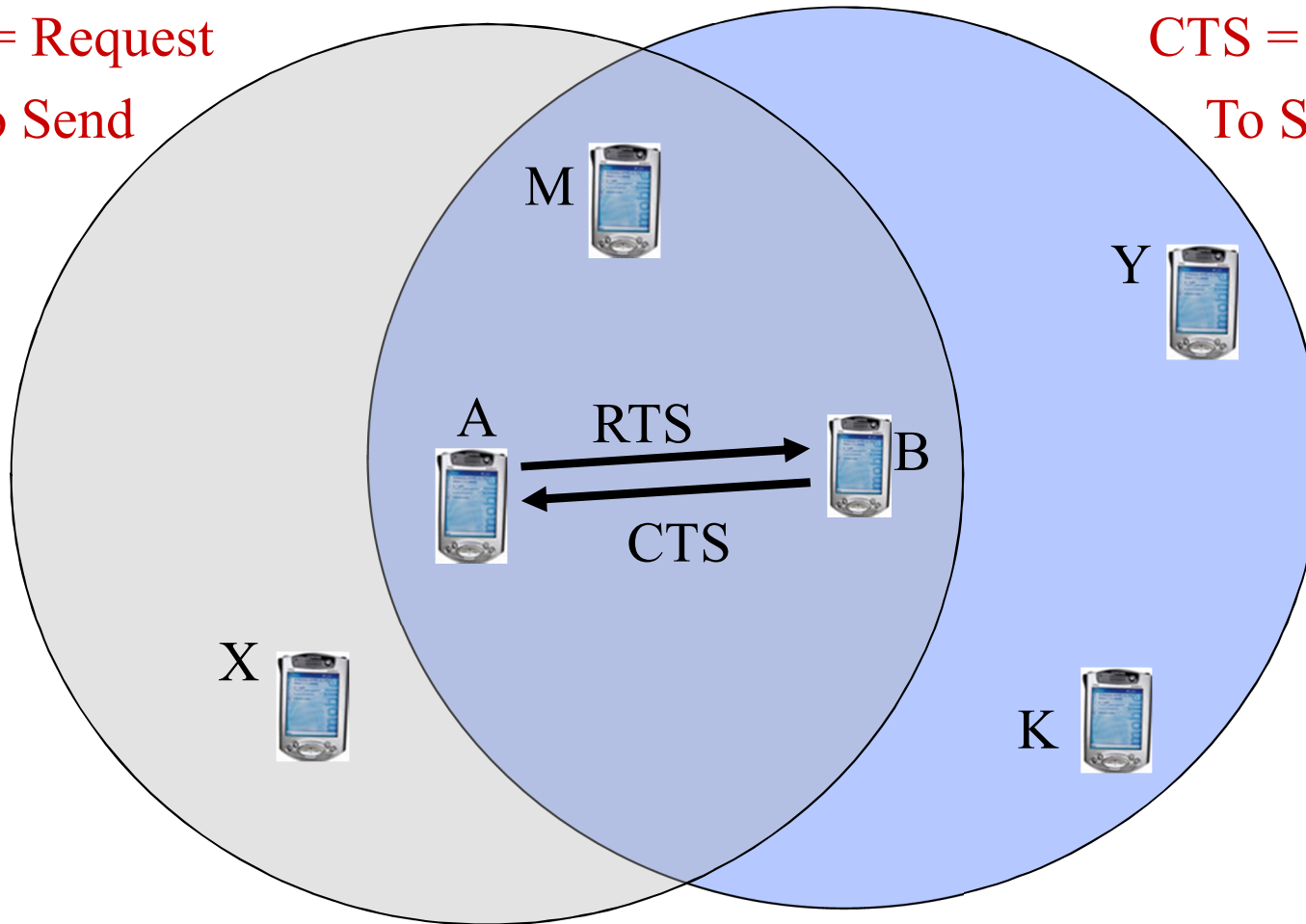




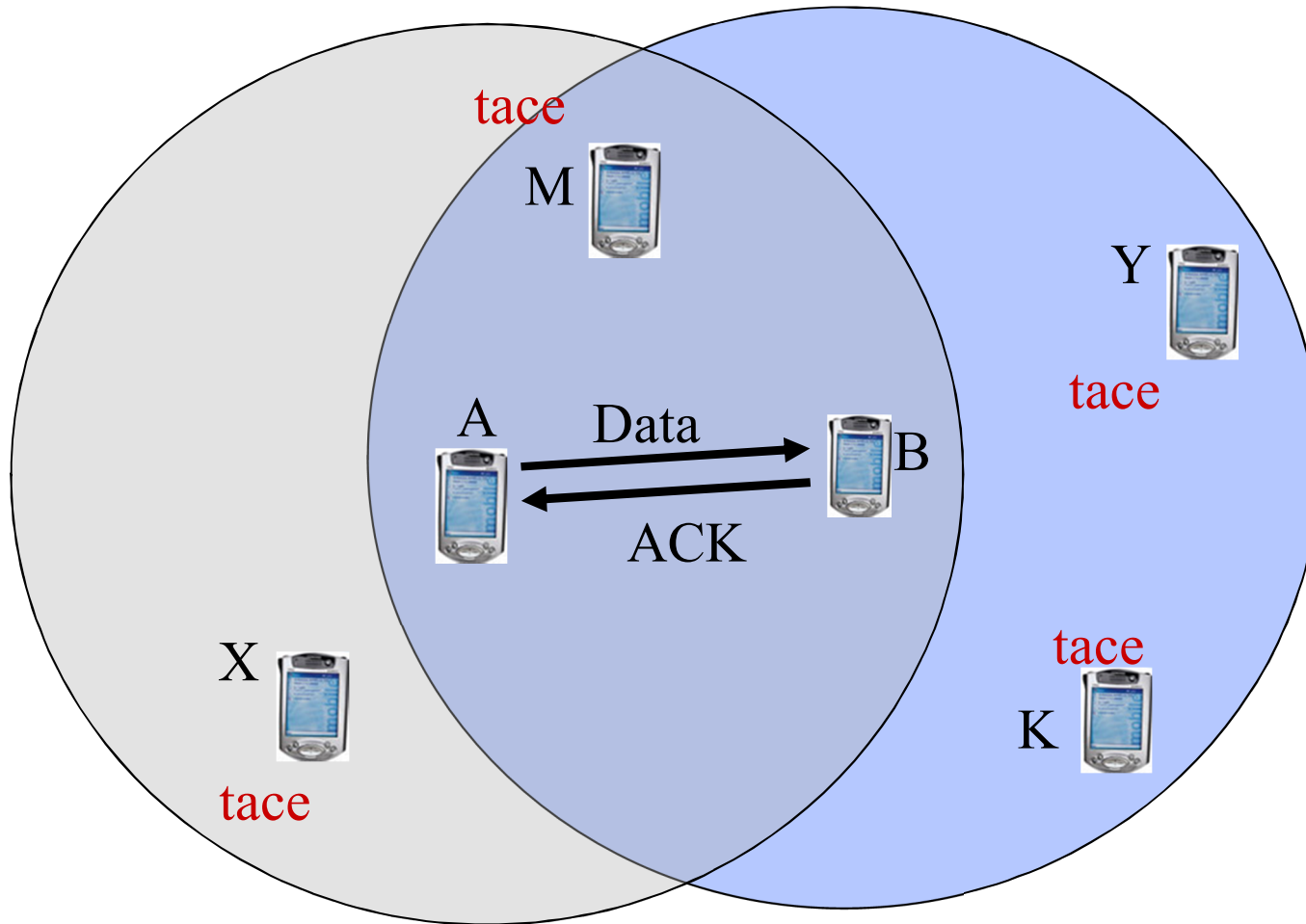
# 802.11 RTS/CTS

RTS = Request  
To Send

CTS = Clear  
To Send



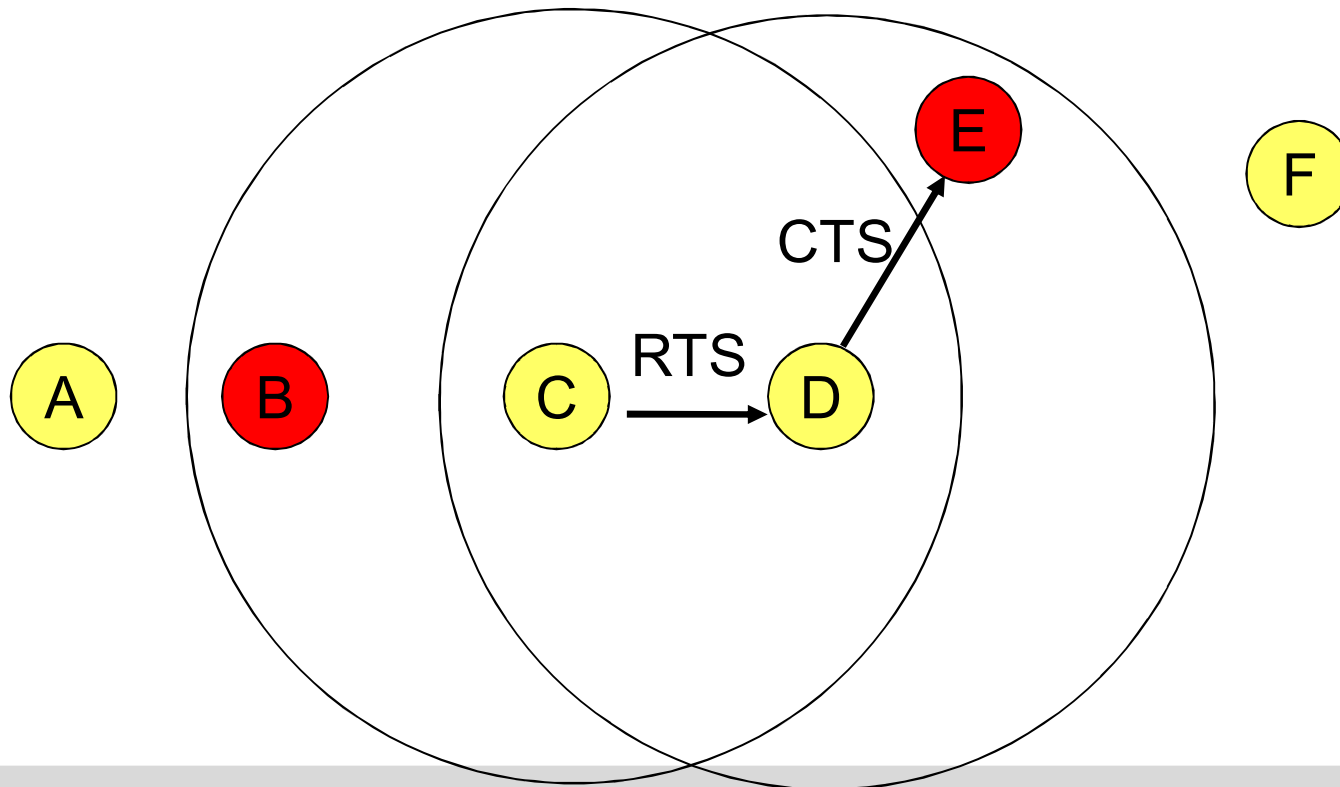
# 802.11 RTS/CTS



# Terminal ascuns cu RTS/CTS

Rezolva problema terminalelor ascunse?

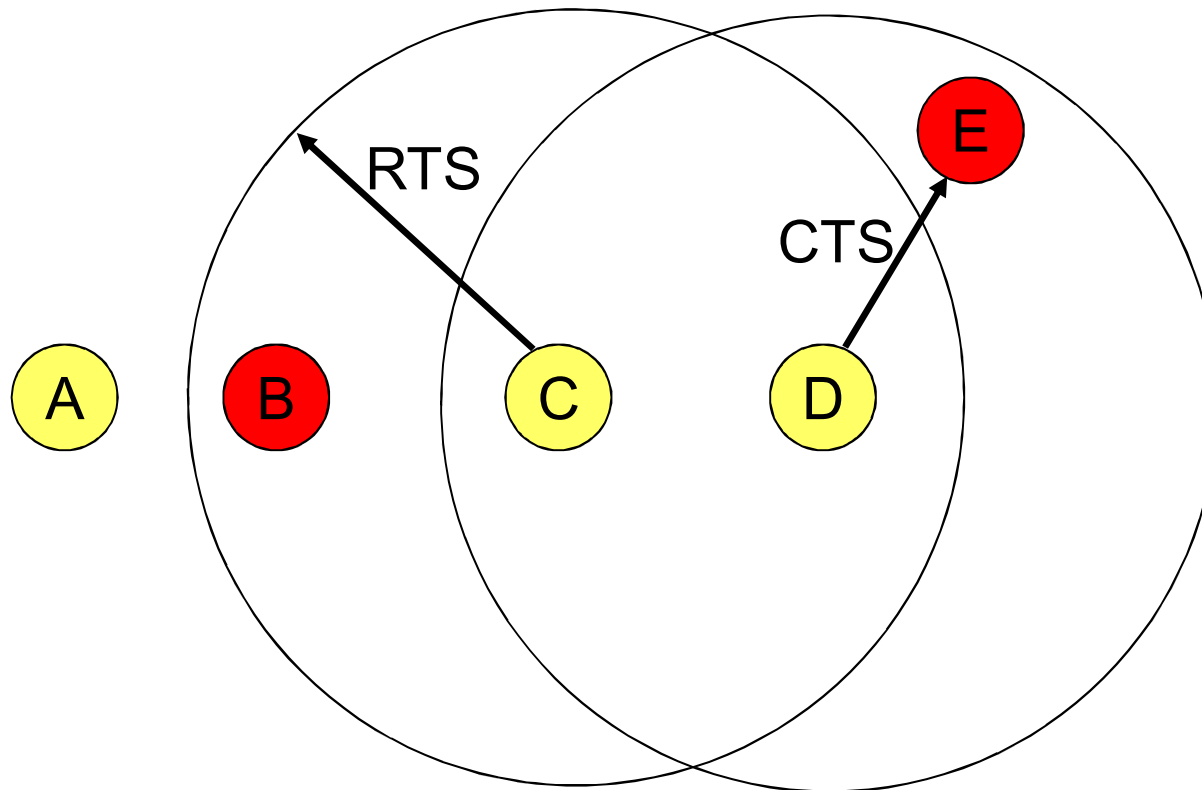
Exemplu zona CS = zona de comunicare



Dacă E nu primește CTS -> poate iniția transmisia către D.  
Problema terminalului ascuns rămâne!

# Terminal expus cu RTS/CTS

B ar putea să transmită către A, dar RTS nu-l permite



# Concluzii RTS/CTS, CS extins

---

## 802.11 nu rezolvă complet TA, TE

Tratează doar parțial problema cu RTS/CTS și recomandă CS extins

## CS extins agravează terminalele expuse

Reduce re folosirea mediului = un compromis

RTS/CTS consumă bandă

Mecanismul de backoff este ineficient

- Cercetarea pentru un protocol MAC cât mai bun continuă...
- 802.11 este încă optimizat

# Zone de propagare

---

- Zona de recepție 0-250m
- Zona de CS (fără recepție) 250-550m
- Zona de interferență/captură 0 - ?

Distanțe  
idealizate  
(ns2)

Pentru a putea evita coliziunea cu ACK, după detecția mediului ocupat de CS (fără decodare), se folosește EIFS

$$\text{EIFS} = \text{SIFS} + \text{DIFS} + (\text{ACK} + \text{Preamble} + \text{PLCP})/\text{BitRate}$$

$$1\text{Mbps}, \text{EIFS} = 364\mu\text{s}$$

$$2\text{Mbps} \Rightarrow \text{EIFS} = 212\mu\text{s}$$

# Parametri specifici 802.11b

**Table 12-9. HR/DSSS PHY parameters**

Parameter	Value	Notes
Maximum MAC frame length	4,095 bytes	
Slot time	20 $\mu$ s	
SIFS time	10 $\mu$ s	The SIFS is used to derive the value of the other interframe spaces (DIFS, PIFS, and EIFS).
Contention window size	31 to 1,023 slots	
Preamble duration	144 $\mu$ s	Preamble symbols are transmitted at 1 MHz, so a symbol takes 1 ms to transmit; 96 bits require 96 symbol times.
PLCP header duration	48 bits	The PLCP header transmission time depends on whether the short preamble is used.
Minimum sensitivity	-76 dBm	
Adjacent channel rejection	35 dB	See text for measurement notes.

# Parametri specifici 802.11a

**Table 13-5. OFDM PHY parameters**

Parameter	Value	Notes
Maximum MAC frame length	4,095 bytes	
Slot time	9 $\mu\text{s}$	
SIFS time	16 $\mu\text{s}$	The SIFS is used to derive the value of the other interframe spaces (DIFS, PIFS, and EIFS).
Contention window size	15 to 1,023 slots	
Preamble duration	20 $\mu\text{s}$	
PLCP header duration	4 $\mu\text{s}$	
Receiver sensitivity	-65 to -82 dBm	Depends on speed of data transmission.

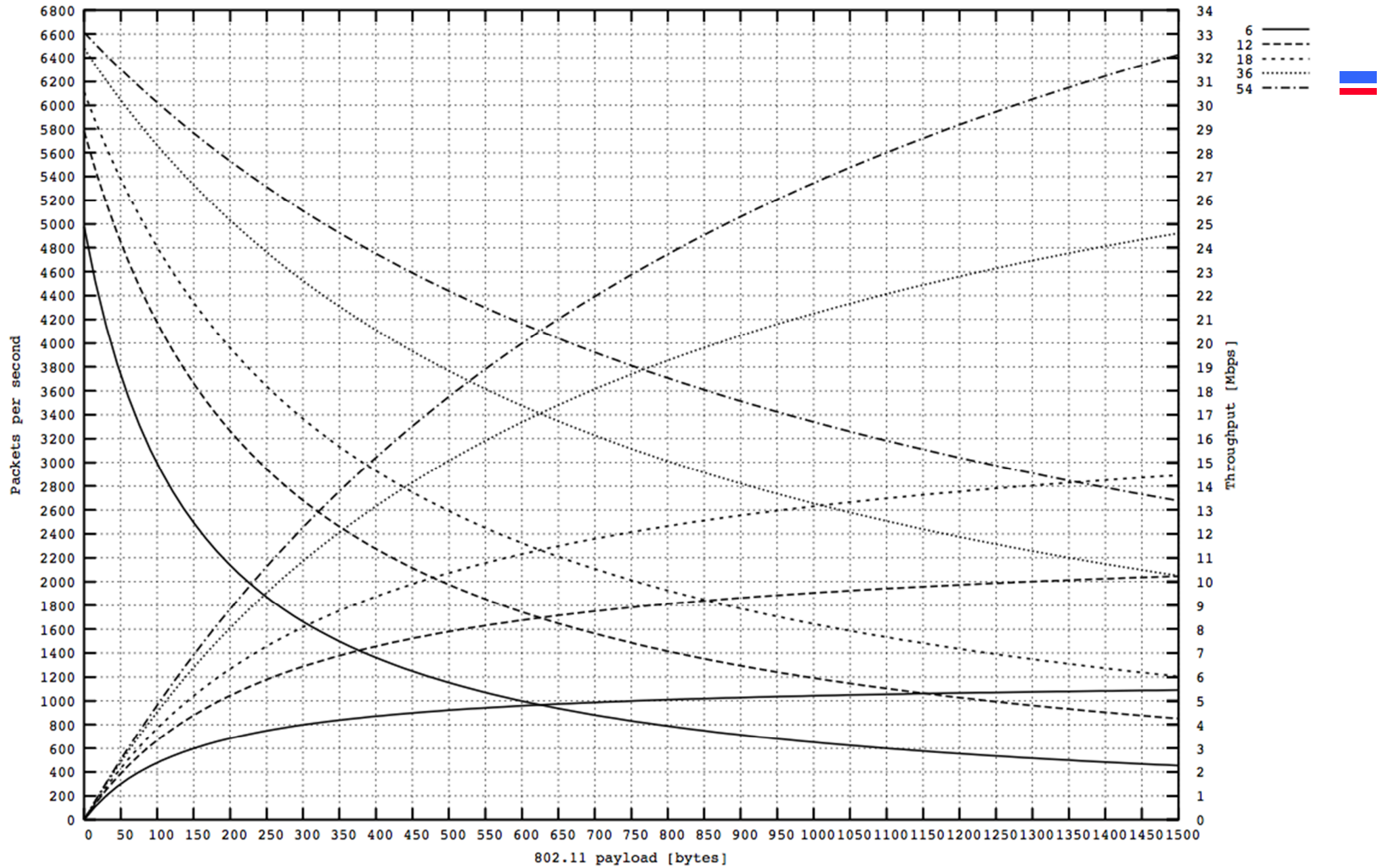


# Analiză capacitate 802.11a

---

- [http://www.oreillynet.com/pub/a/wireless/2003/08/08/wireless\\_throughput.html?page=2](http://www.oreillynet.com/pub/a/wireless/2003/08/08/wireless_throughput.html?page=2)
- DIFS  $28\mu\text{s}$
- Conflict  $72\mu\text{s}$
- Preambul  $24\mu\text{s}$
- Date x octeți
- SIFS  $9\mu\text{s}$

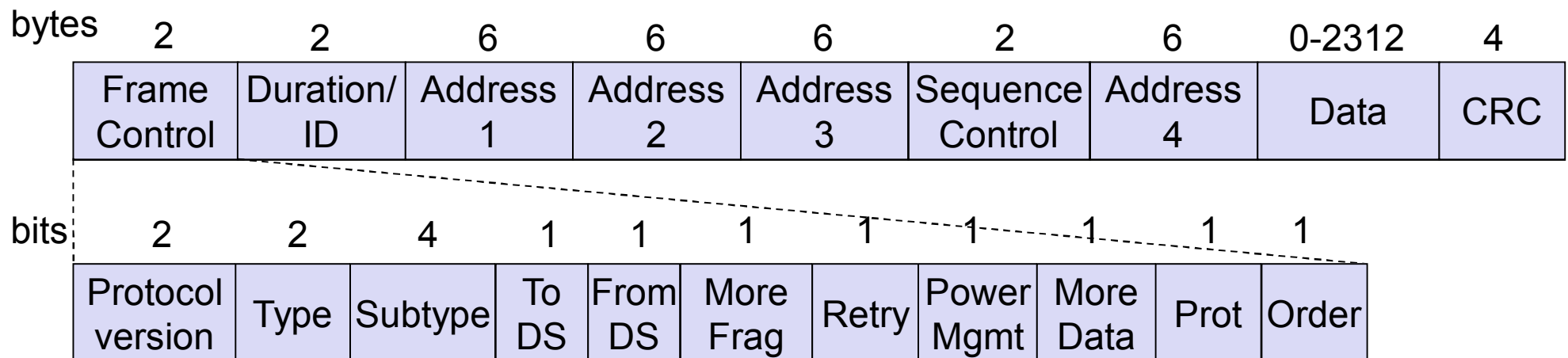
802.11a payload throughput  
 $\text{pkt\_time}(x) = 145 + (42 + x) * 8 / B$  [us]  
 DIFS=28us CONT=67.6us PHY=20us MAC=24 DATA=x FCS=4 SIFS=9us PHY=20us ACK=14



Pachetele mici au overhead mare!

# 802.11 - formatul cadrelor

- Tipuri de cadre
  - » control, management, data
- Fiecare cadru are număr de secvență
  - » ce se intampla daca ACK se pierde?
- Adrese (ethernet, 6 octeți)
  - » receptor, transmitator, sursa, destinatie
- Altele
  - » durata (NAV), checksum, control frame, data



# Tipuri de pachete (Gast, tabela 3.1)

---

## Management frames (type=00)<sup>a</sup>

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

---

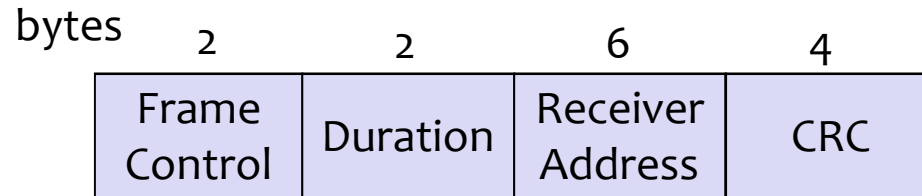
## Interpretarea biților ToDS și FromDS

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

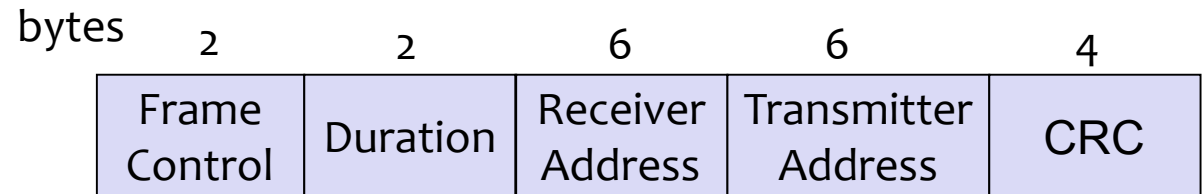
# Cadre de control: ACK, RTS, CTS, PS-Poll

---

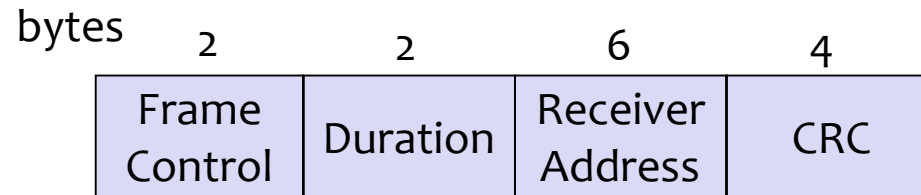
## ACK



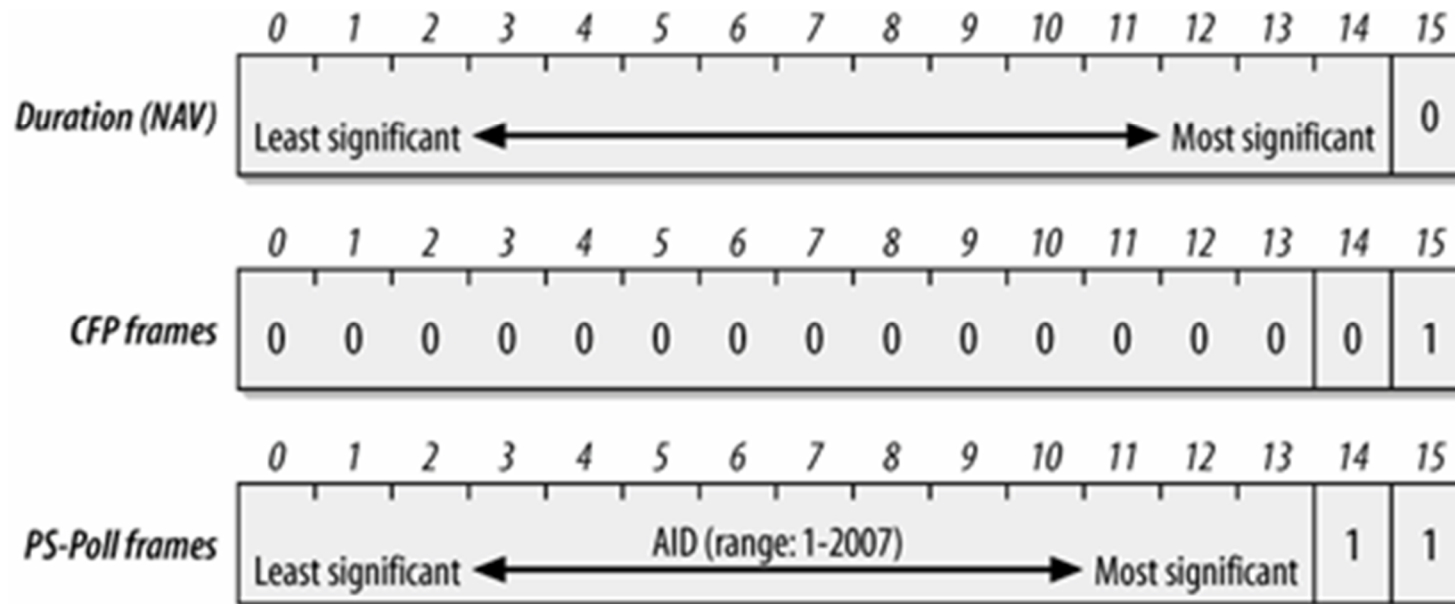
## RTS



## CTS



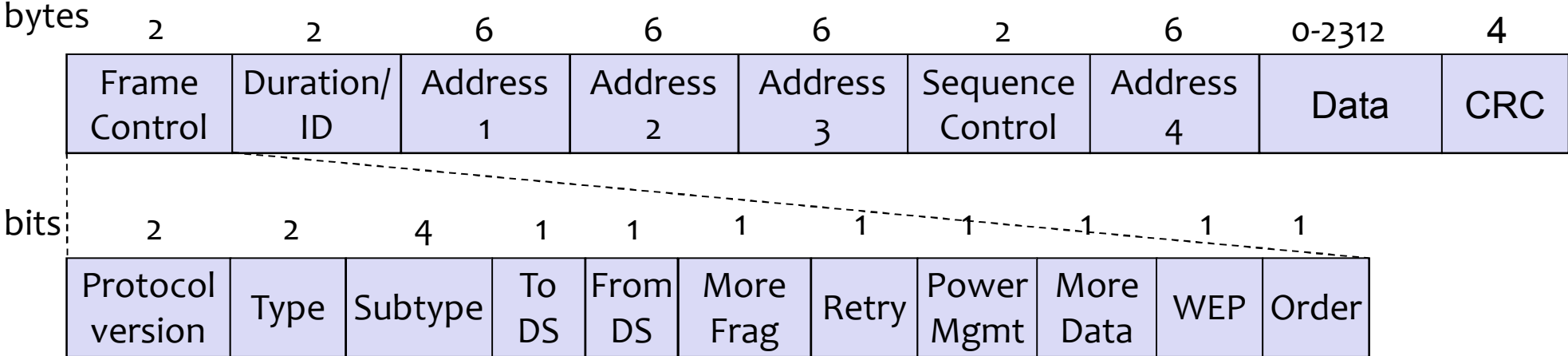
# Durata - NAV



- Fiecare stație indică în acest câmp estimarea de ocupare a mediului
- Toate stațiile monitorizează toate transmisiile => inspectează NAV



# 802.11 - cadre de date



**De ce sunt  
necesare mai  
mult de două  
adrese?**

# adrese

---

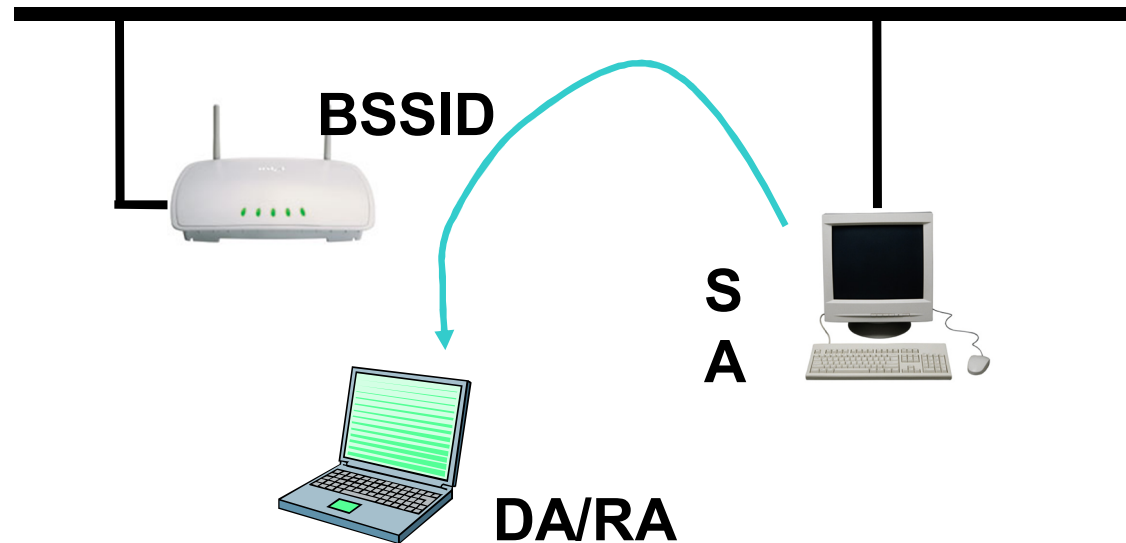
## Reguli orientative

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

# Formatul adreselor

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



# recepția cadrelor 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. Dacă exista SNAP header => tip pachet
7. CRC recalculat

# emisia cadrelor wired -> wireless

---

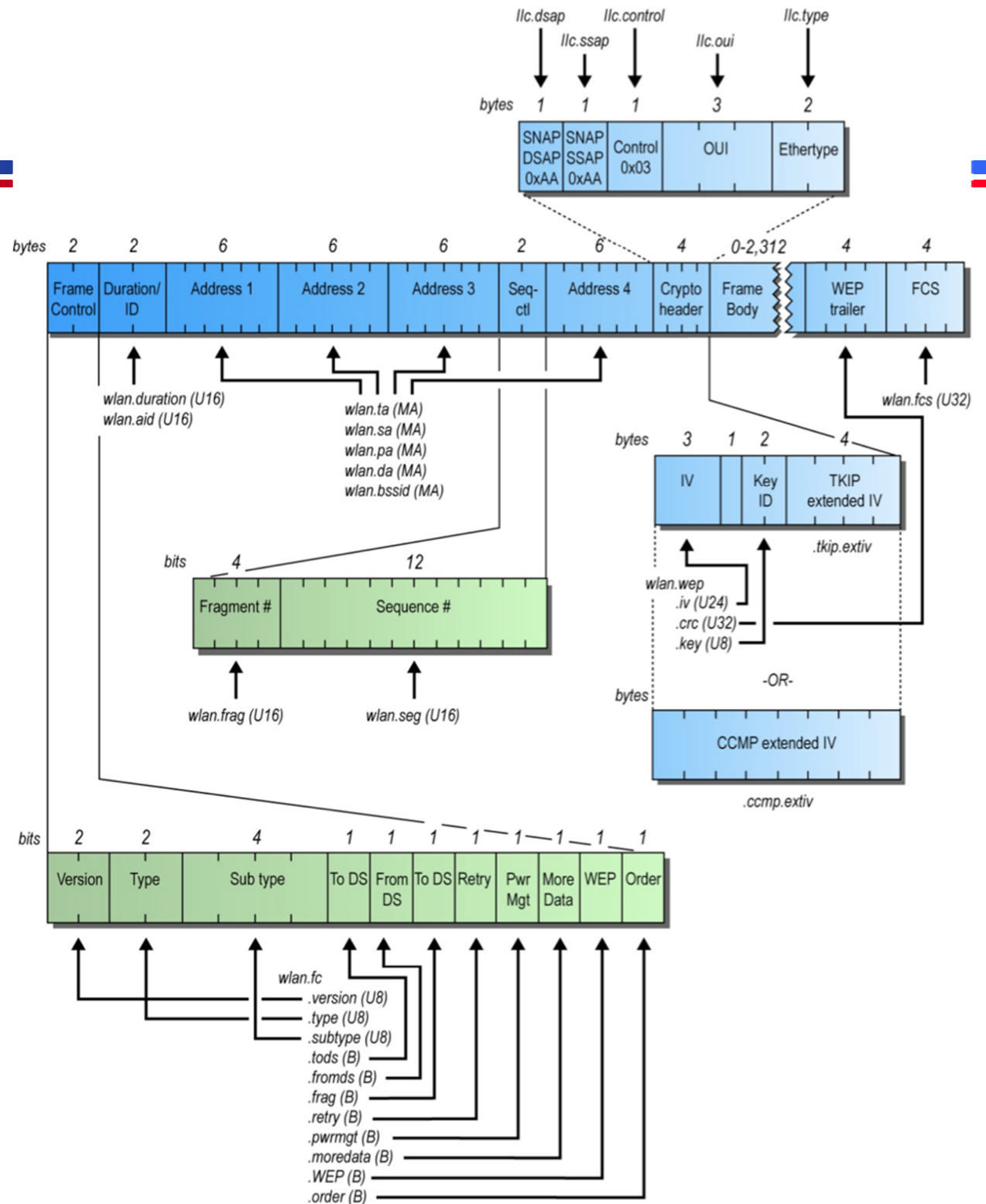
1. Validarea CRC ethernet, verificarea stației destinație, dacă este asociată
2. SNAP header dacă este cazul
3. Planificarea pt transmisie (coadă, PS mode)
4. Asignare număr de secvență, fragmentare
5. Criptare
6. Construcție header
  1. Dest address copiat în Address 1
  2. BSSID copiat în Address 2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

# Alte câmpuri din antet L2

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

# Sumar antet L2



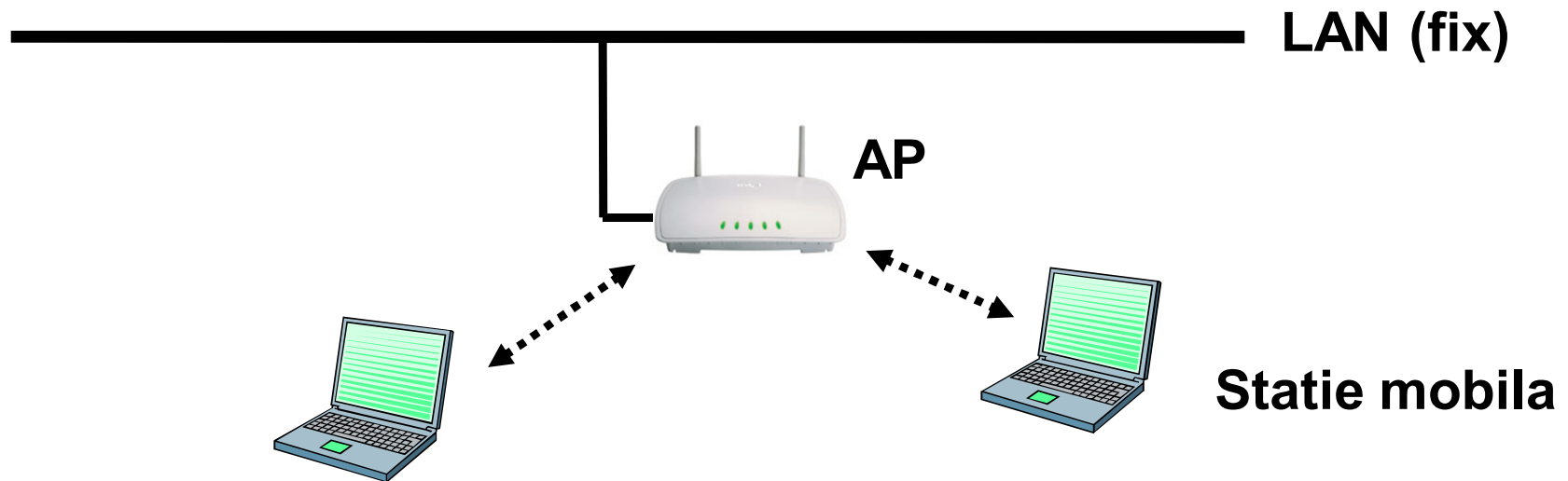
---

# Management operations

*Gast*  
*Ch 7*

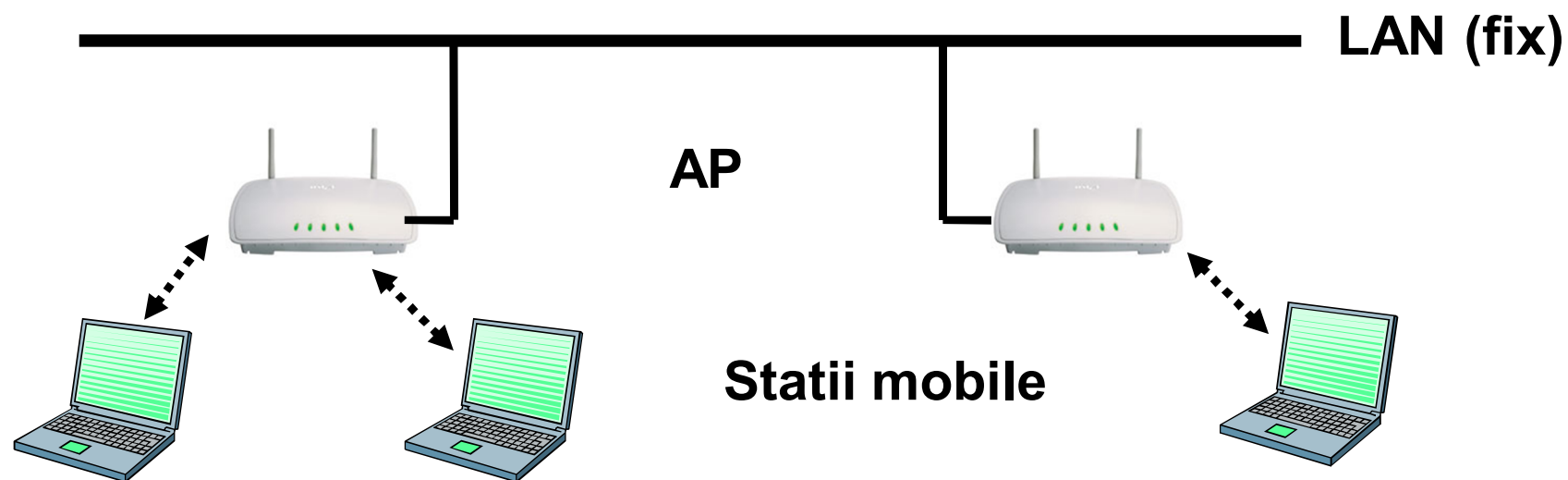


# Modul infrastructură



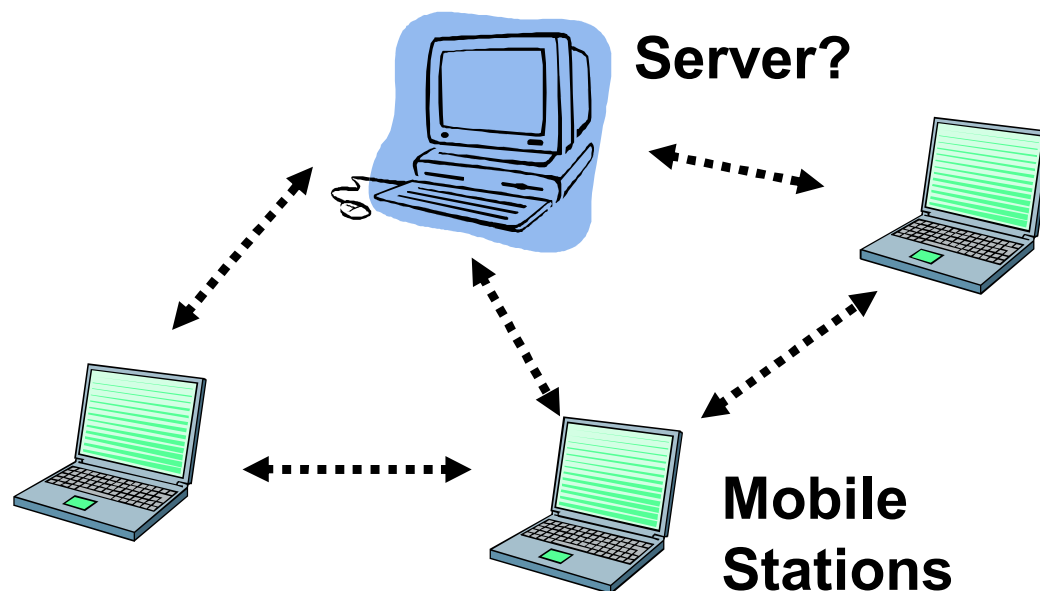
- Basic Service Set (BSS)
- AP functioneaza ca bridge
- Comunicarea intre statii se face numai prin intermediul AP
- distribution system (DS)

# Modul infrastructură - extins



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

# Modul Ad Hoc



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

# 802.11 - gestiune MAC

---

- **Sincronizare**

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

- **Gestiunea puterii**

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

- **Asociere/Reasociere**

- » integrare in 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

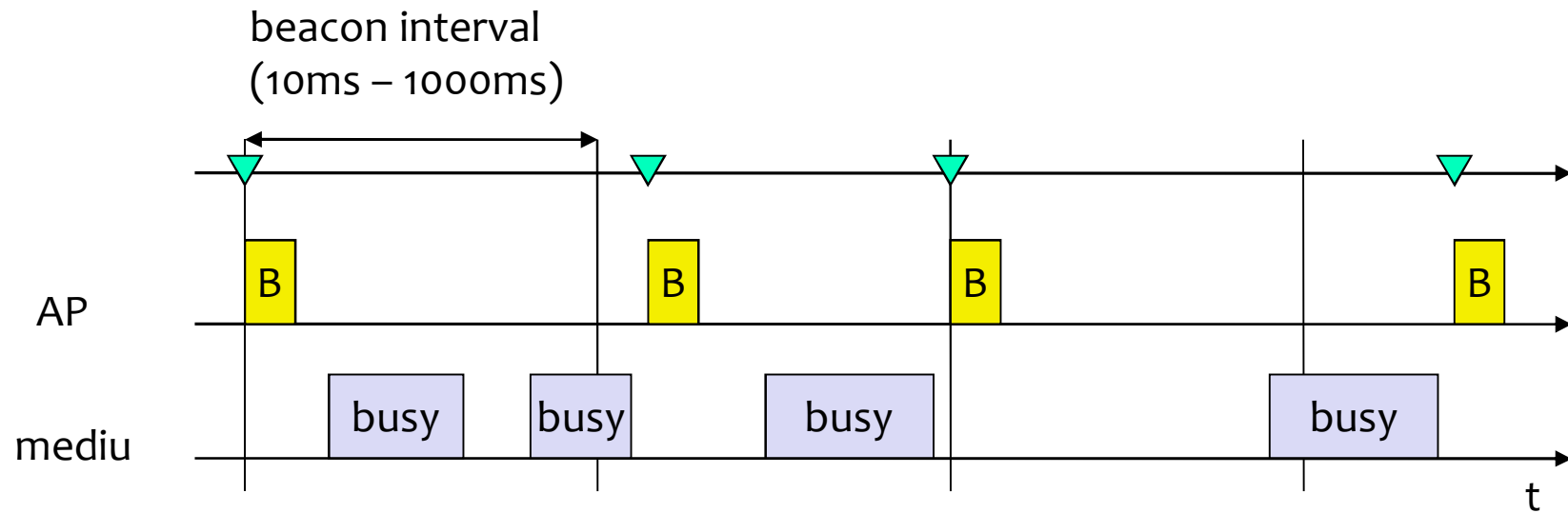
AP difuzează periodic un beacon cu timestamp, informatii de management, roaming

Nu este absolut necesar ca o statie sa primească fiecare beacon

Beacon sincronizeaza intregul BSS

(doar pt infrastructura, ad hoc este mai dificil)

# Sincronizare cu beacon (infrastructura)



▼ timestamp

**B** beacon frame

# Beacon: suport pentru rate multiple

---

## **Fiecare beacon declară**

- o listă de rate acceptabile
- o listă de rate de bază (obligatorii)
  - Pentru RTS, CTS, ACK, beacon

# Gestiune PS (powersave mode)

---

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

Modul ad-hoc

Ad-hoc Traffic Indication Map (ATIM)

stațiile care acumulează frame-uri anunță receptorii

mai complicat – nu există AP

coliziune ATIMs posibilă (scalabilitate?)

APSD (Automatic Power Save Delivery)

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

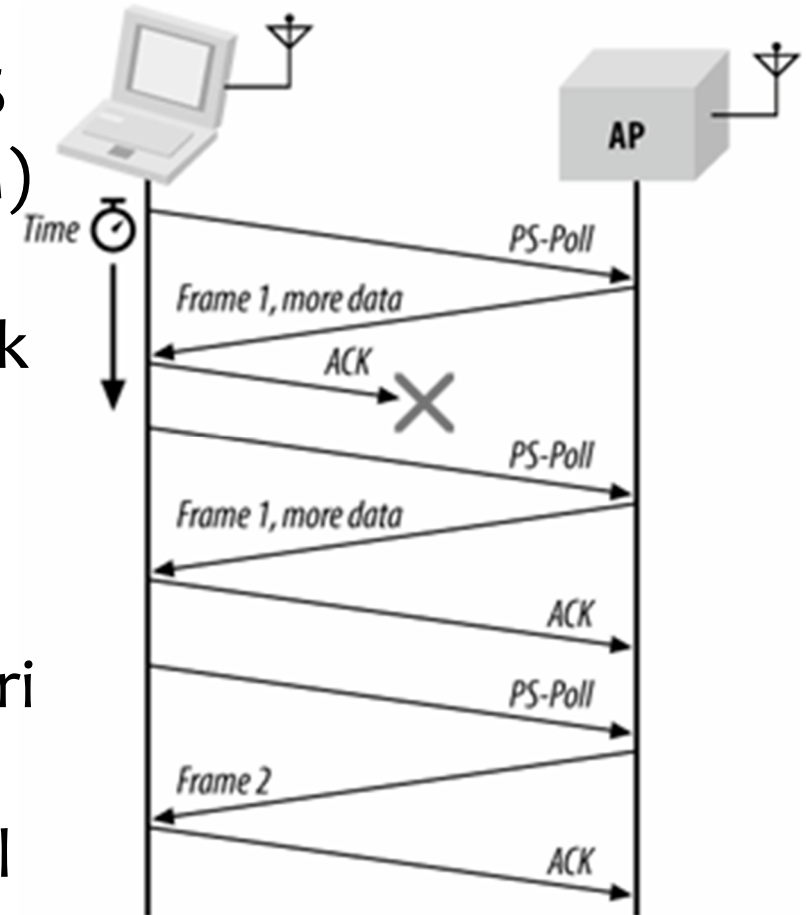


- **AP**

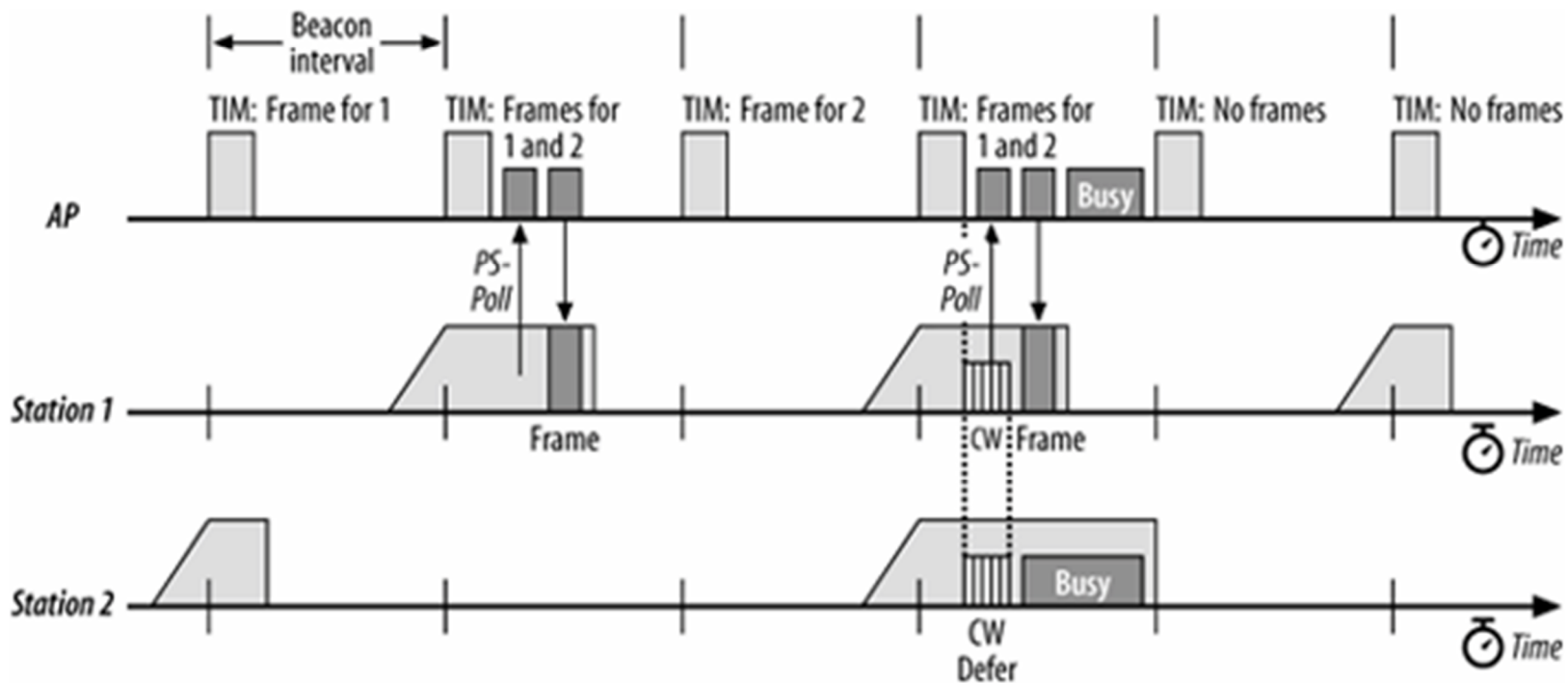
- Menține AID pt fiecare stație
- stochează cadre pentru stațiile în PS
- beacon: Traffic Indication Map (TIM)
- TIM=hartă de 2007 biți (bit per AID)
- Folosește bitul *MoreData* în downlink

- **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 succesive sunt ignorate

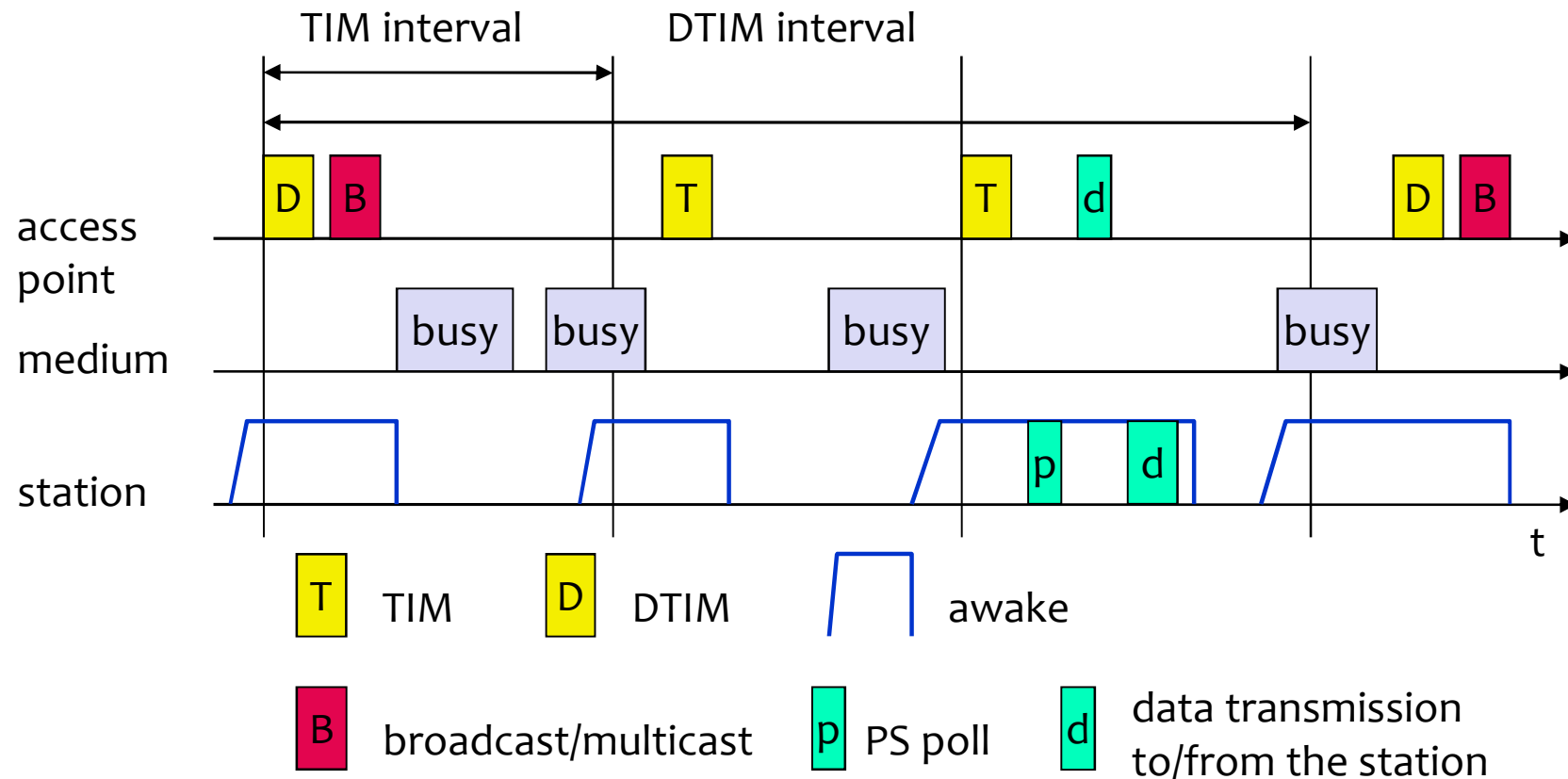


## Figure 8-13. Buffered frame retrieval process



- 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 PS, modul infrastructură



# Gestiune PS

---

- 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 - Roaming

---

Ce se întâmplă când cade conexiunea?

- **Scanare**

  - Passive Scanning

  - Reactive Scanning

  - se trimit pachete de proba pentru a găsi cel mai bun AP

- **Reasociere – cerere**

  - stăția trimite cererea la unul sau mai multe AP

- **Reasociere - Raspuns**

  - succes: AP răspunde, stăția e primită

  - insucces: continuă scanarea

- **AP accepta Reasocierea**

  - Anunță noua stație în DS (distribution system)

  - DS actualizează baza de date (locatii stații)

  - DS anunță vechiul AP

- **roaming rapid – 802.11r**

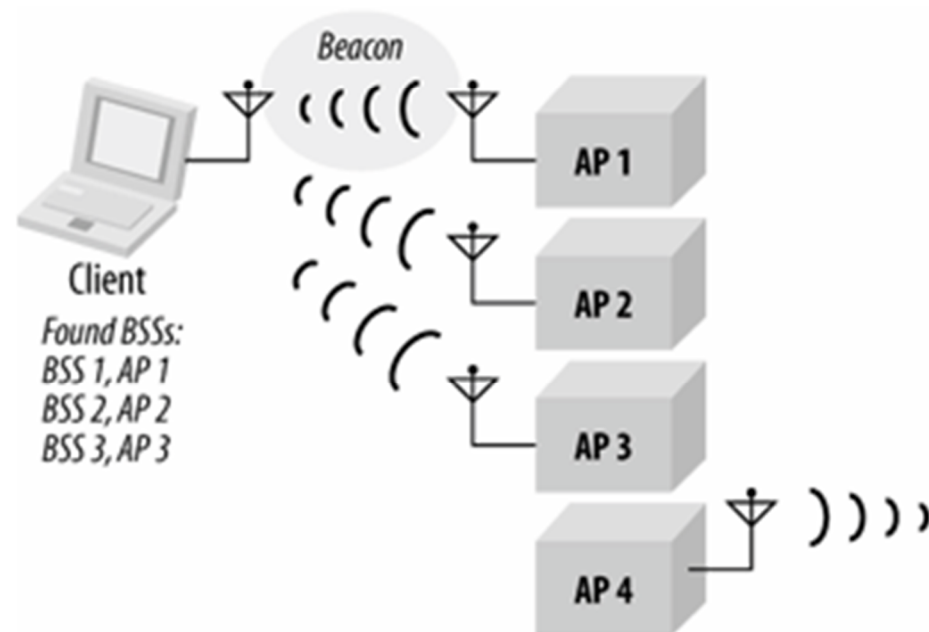
  - e.g. pentru rețele vehiculare

# Scanare pasivă

Cea mai economică energetic

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

**Figure 8-2. Passive scanning**

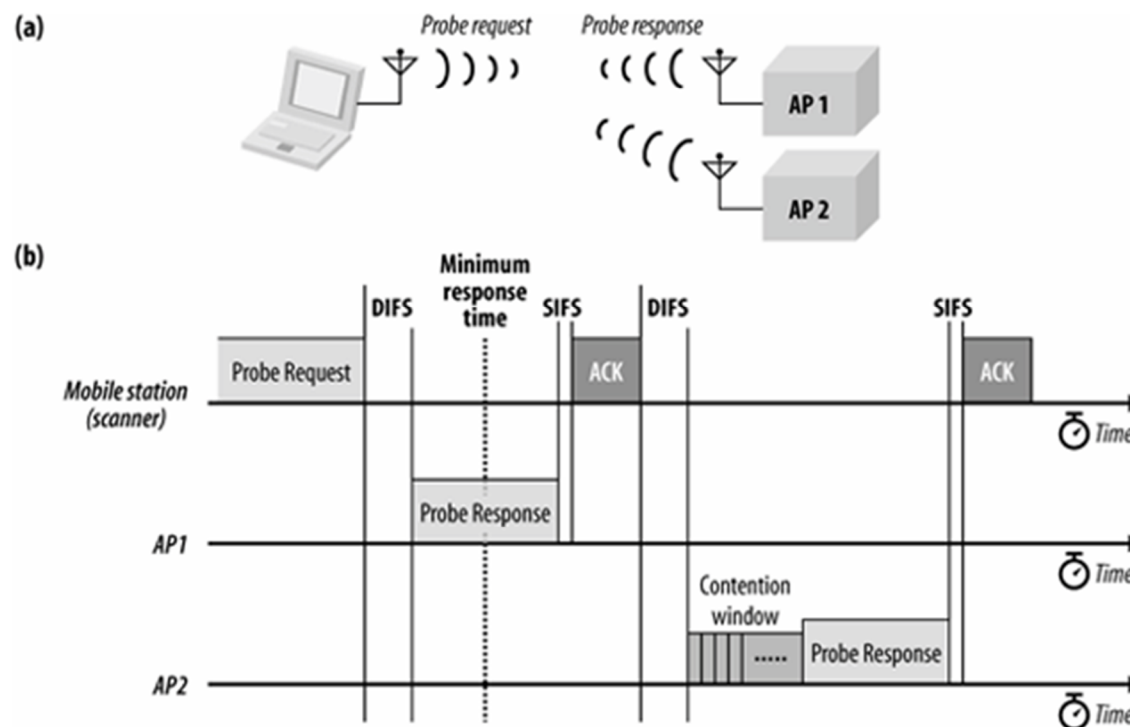


# Scanare activă

Pe fiecare canal disponibil:

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

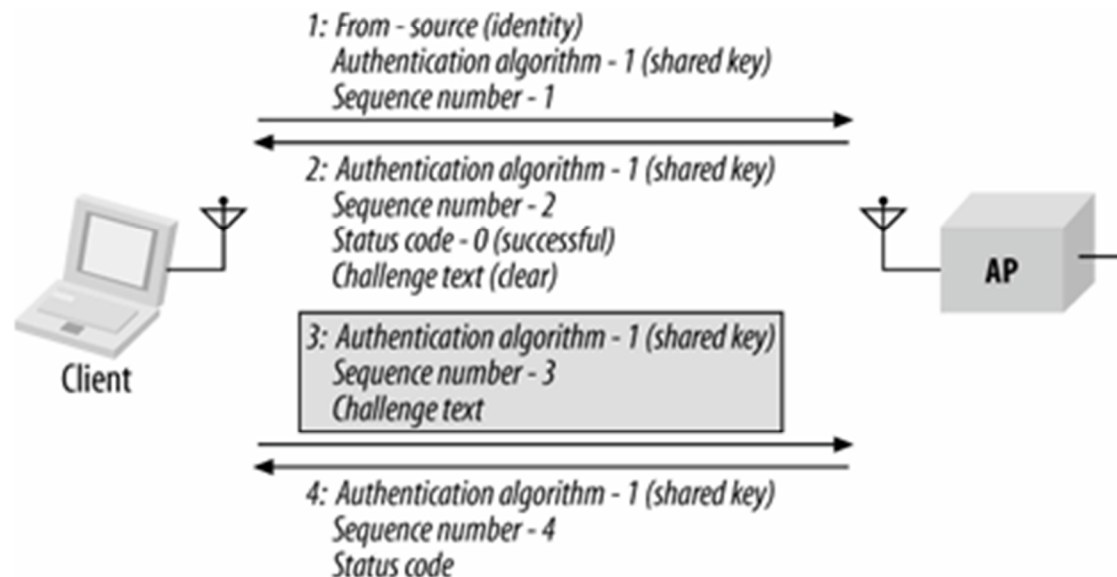
**Figure 8-3. Active scanning procedure and medium access**



# 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**



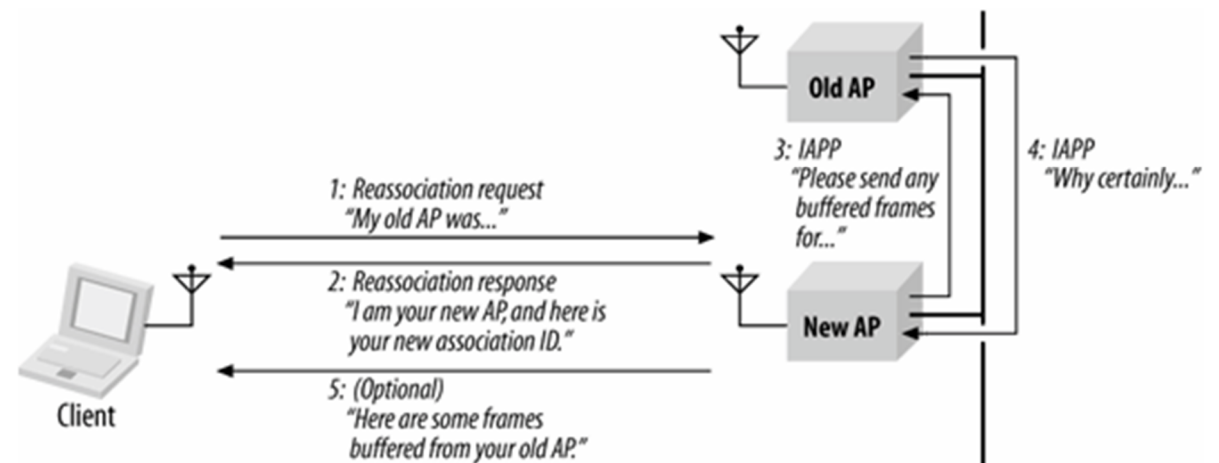


# Asocierea

## 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)

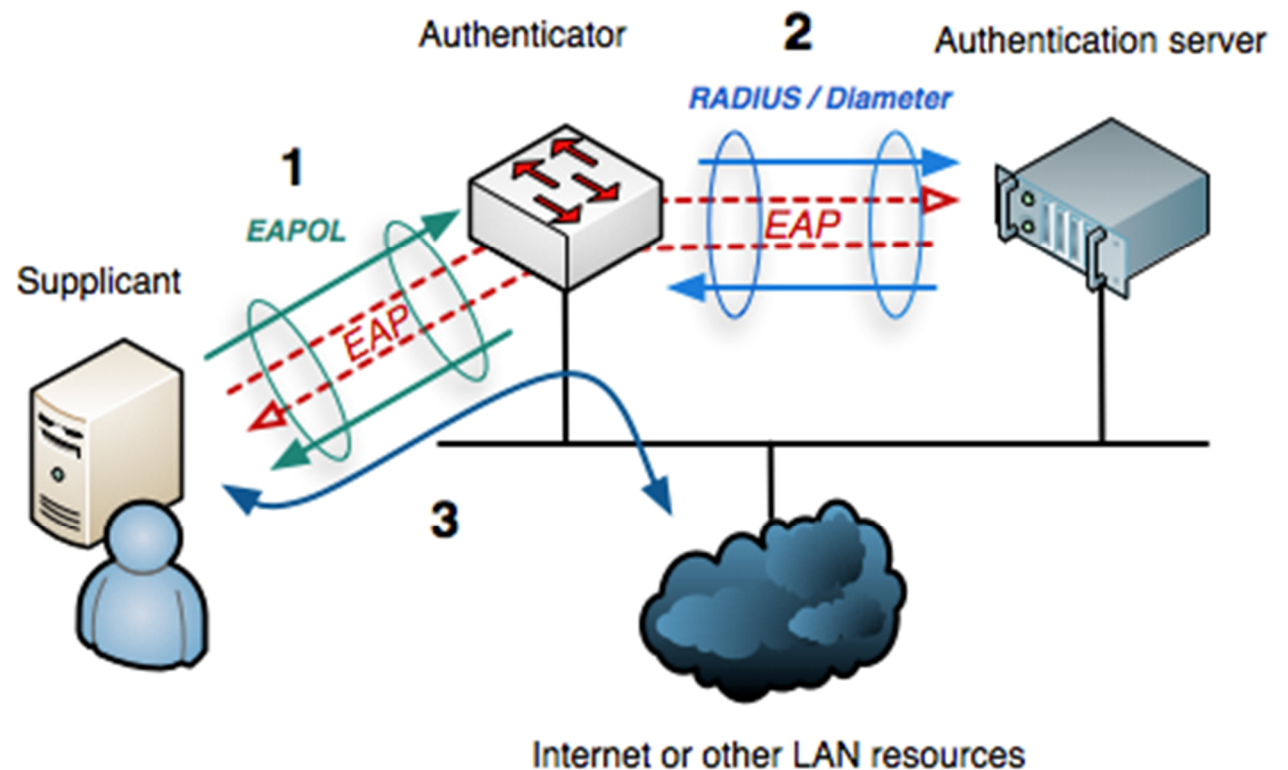
# Autentificare centralizată

Gast  
Ch 6

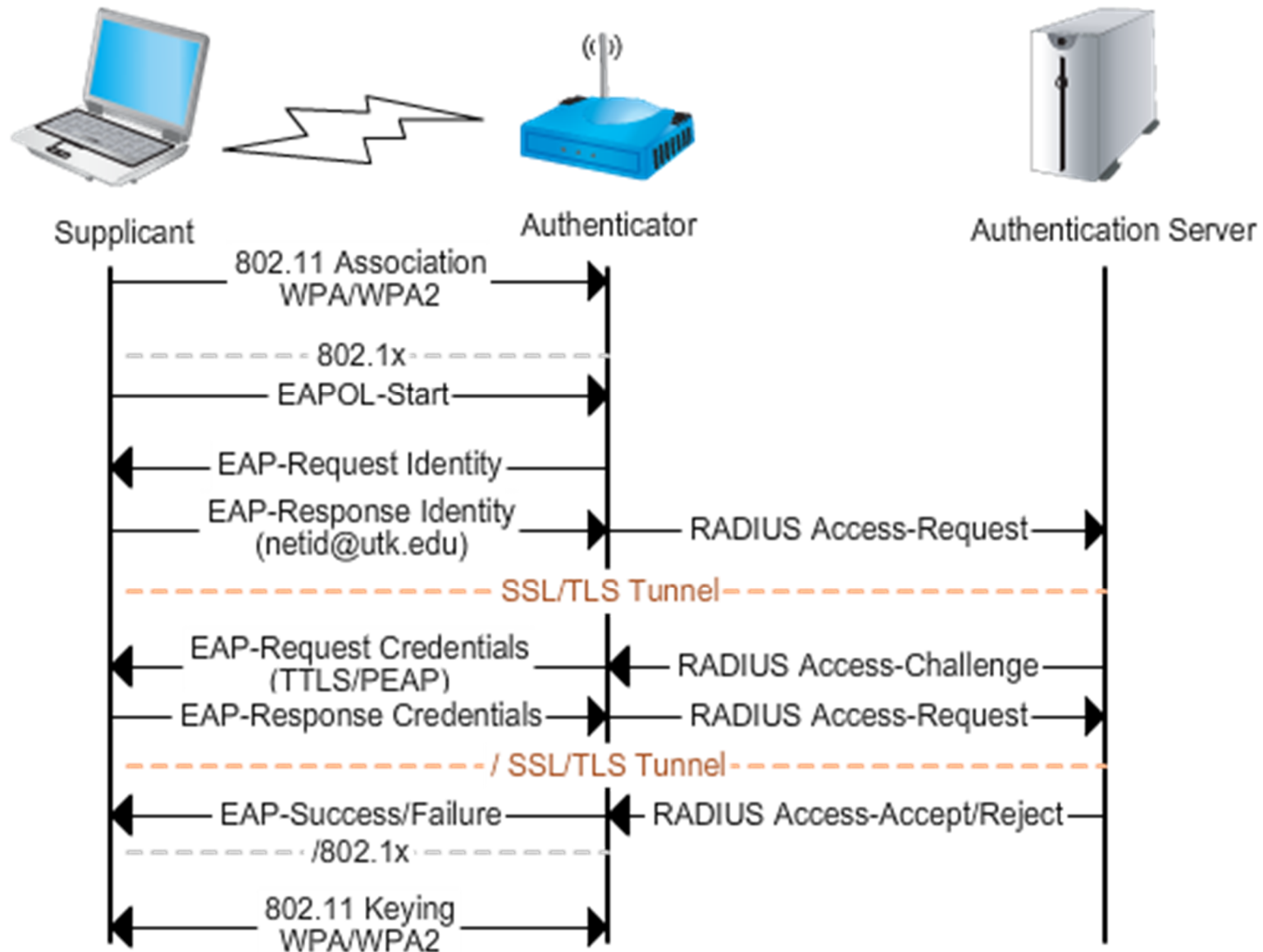
802.1x = mecanism generic de autentificare în LAN

## 3 entități

- Suplicant (client WiFi)
- Authenticator (AP)
- Authentication server



# Autentificare prin 802.1X



# 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

URL la  
subsol

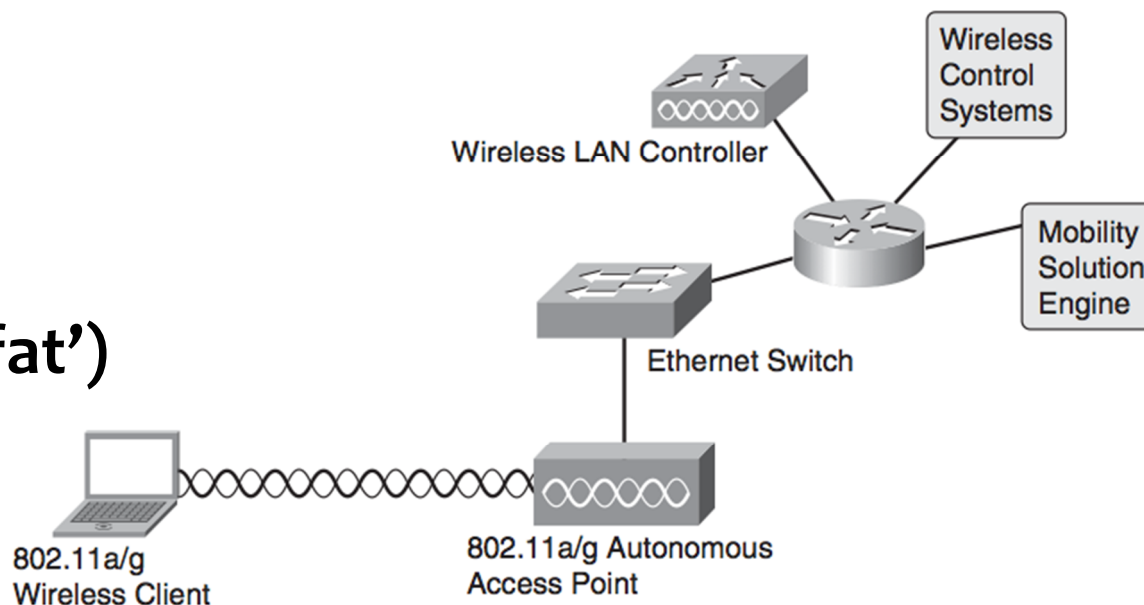
## Model Centralizat - pentru deployment controlat

### 1. WLAN Controller

- securitate
- management
- transport

### 2. Thin AP (cel clasic e 'fat')

- acces



- Nu se modifică standardul pentru clienți
- AP devin 'plug & play'

<http://securityuncorked.com/2011/11/the-4-wireless-controller-architectures-you-need-to-know/>



# 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?

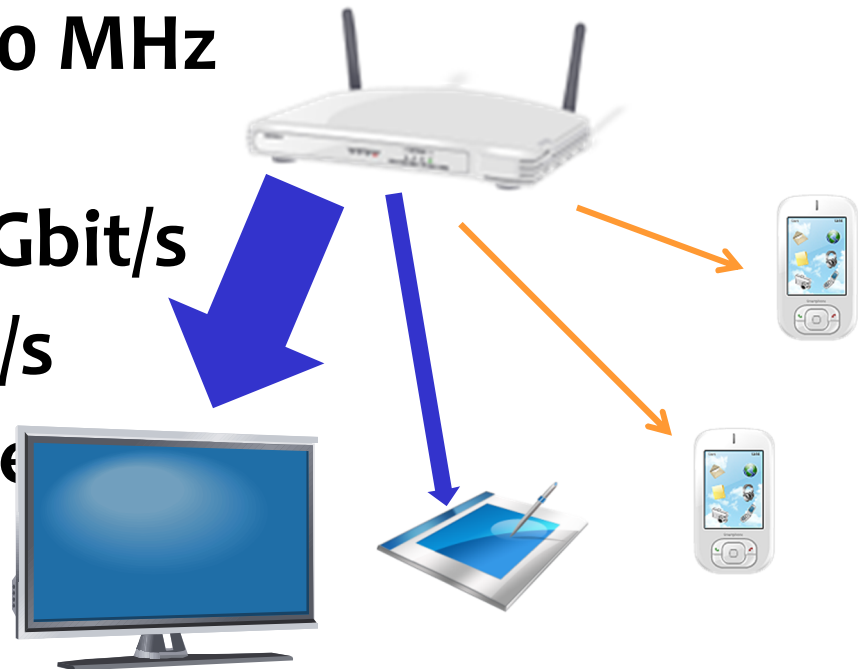
---

## 802.11ac – standard în lucru, wave1... wave2

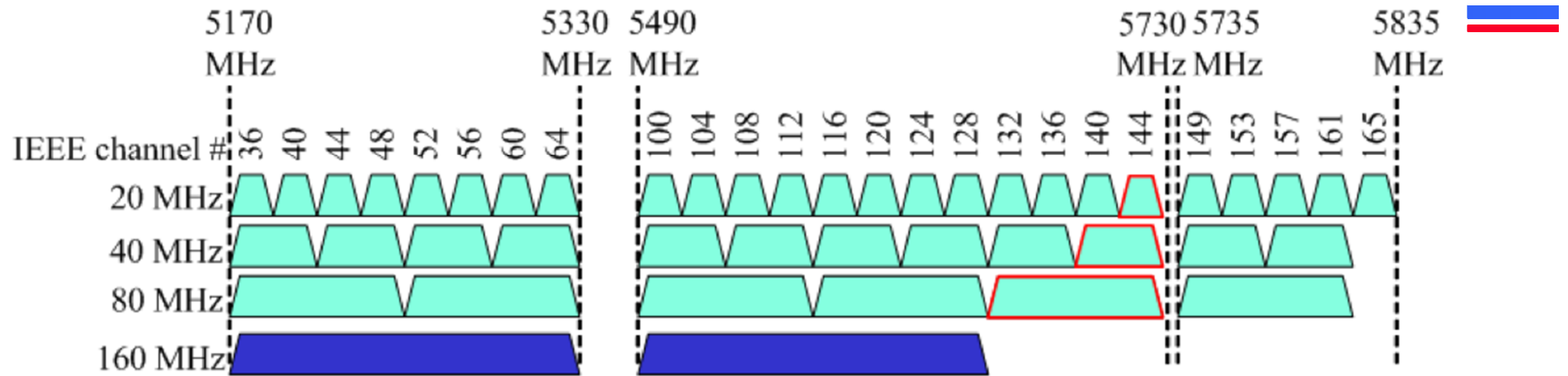
- Draft 3.0, AP-uri disponibile acum
- **Doar 5GHz**
- Compatibil cu 11a și 11n
- Obligatoriu 80MHz, opțional 160MHz
- Maximum 8 fluxuri spațiale
- 1 flux, 80MHz, 64QAM => 293Mbps (obligatoriu)
- 8 fluxuri, 160MHz, 256QAM => 3.5Gbps (maximum)

# IEEE 802.11ac

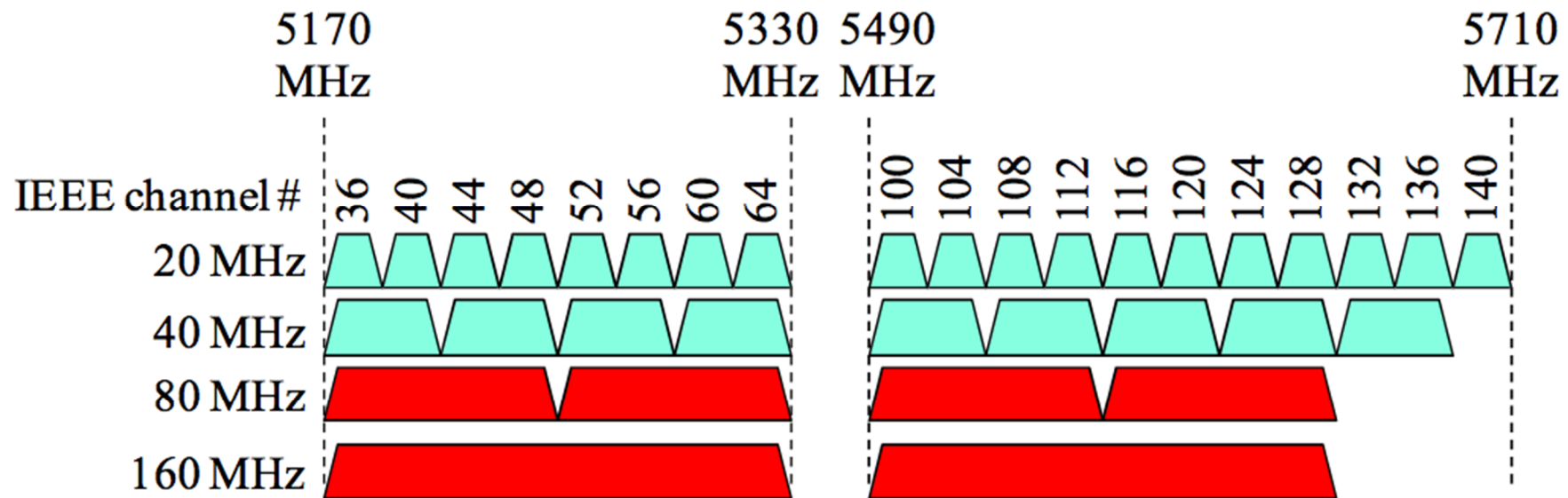
- **Single link throughput > 500Mbit/s, multi-station > 1 Gbit/s**
- **Bandwidth up to 160 MHz (80 MHz mandatory), up to 8x MIMO, beamforming, SDMA via MIMO**
- **Example home configuration:**
  - **8-antenna access point, 160 MHz bandwidth, 6.77 Gbit/s**
  - **4-antenna digital TV, 3.39 Gbit/s**
  - **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**

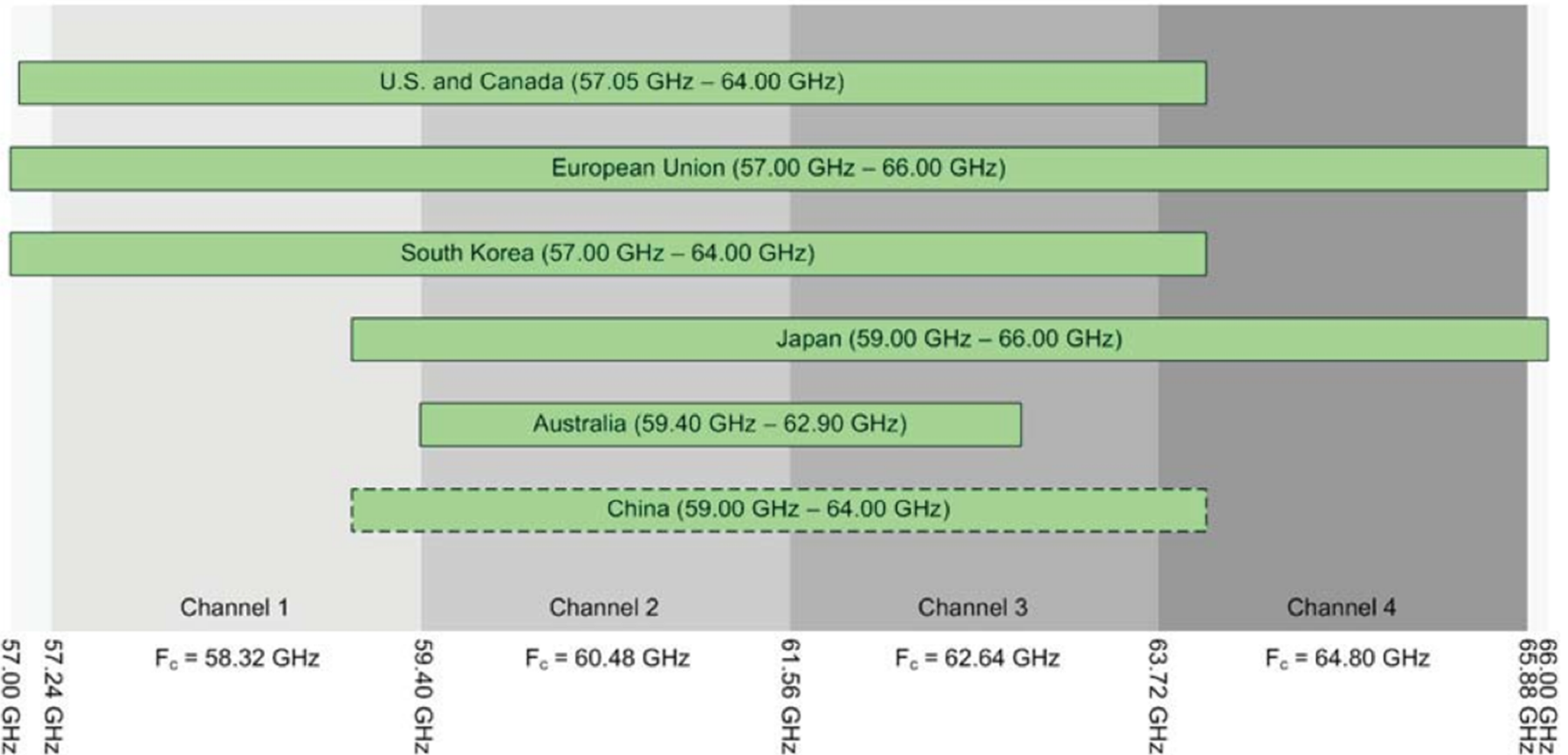
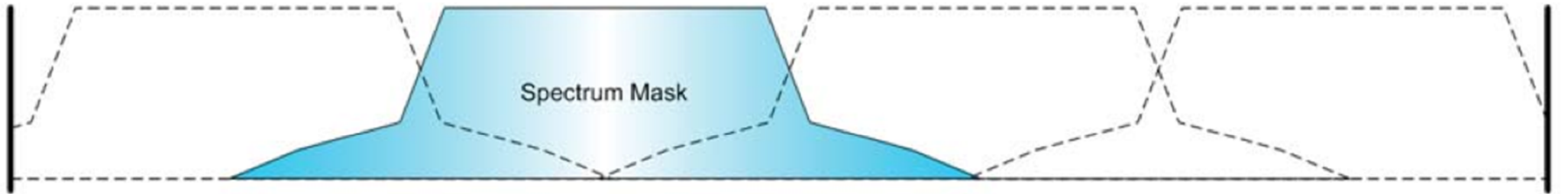
# 802.11 – ce urmează?

---

## 802.11ad (WiGig)

- 2.4GHz, 5GHz, compatibil cu 11a/b/g/n/ac
- **60GHz**, beamforming, < 10m LOS?
  - loss over 1 m at 60 GHz is 68 dB
  - avantaj și dezavantaj
- Power consumption: 6W :-)
- Max 7Gbps
- WiGig Display Extension

# Canale la 60GHz

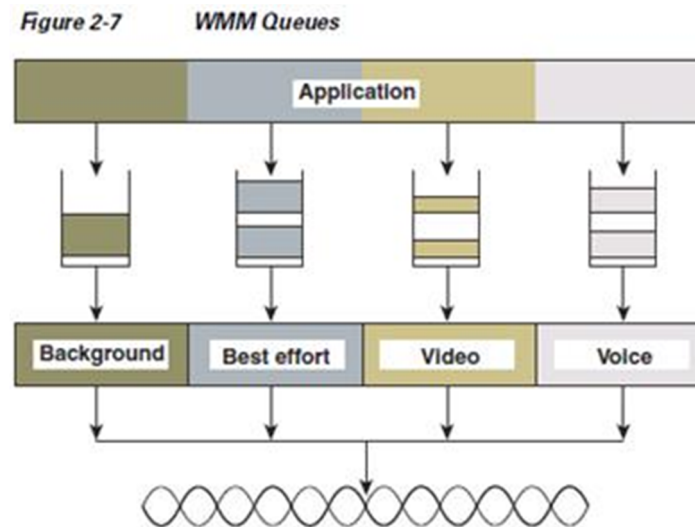


# 802.11e (suport parțial QoS)

URL  
la subsol

Trei elemente

1. cozi cu priorități
  - Voice, video, best effort, background
  - IFS și timerele sunt calculate independent pt fiecare coadă
  - Coliziuni între cozi – retry, BEB, ...
2. AIFS cu lungimi diferite
3. CW specifice



# 802.11e (suport parțial QoS)

## 2. AIFS cu lungimi diferite

- VO SIFS + 2\*slot
- VI SIFS + 2\*slot
- BE SIFS + 3\*slot
- BK SIFS + 7\*slot

AC	AIFSN	802.11b AIFS[AC]	802.11g AIFS[AC]	802.11a AIFS[AC]	802.11n 2.4GHz AIFS[AC]	802.11n 5GHz AIFS[AC]
SIFS Time	---	10μs	10μs	16μs	10μs	16μs
Slot Time	---	20μs	Long = 20μs Short = 9μs	9μs	Long = 20μs Short = 9μs	9μs
AC_VO	2	50μs	Long = 50μs Short = 28μs	34μs	Long = 50μs Short = 28μs	34μs
AC_VI	2	50μs	Long = 50μs Short = 28μs	34μs	Long = 50μs Short = 28μs	34μs
AC_BE	3	70μs	Long = 70μs Short = 37μs	43μs	Long = 70μs Short = 37μs	43μs
AC_BK	7	150μs	Long = 150μs Short = 73μs	79μs	Long = 150μs Short = 73μs	79μs



# 802.11e (suport parțial QoS)

## 3. CW specifice - pt 11a/g/n

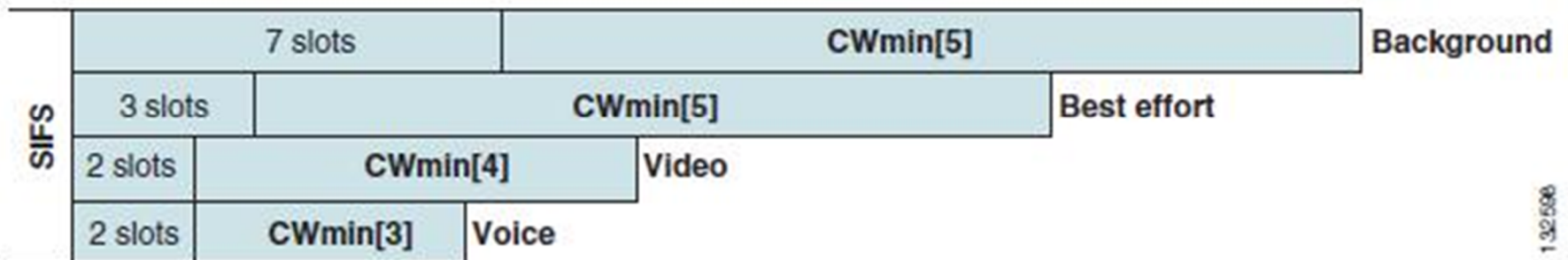
- VO CW = 3..7
- VI CW = 7..15
- BE CW = 15..1023
- BK CW = 15..1023

## CW specifice pt 11b

- VO CW = 7..15
- VI CW = 15..31
- BE CW = 15..1023
- BK CW = 15..1023

## AIFS + CW pentru 11b:

Figure 2-8 Access Category (AC) Timing



# 802.11: standardizarea continuă

---

- 802.11e – suport pentru QoS
- 802.11h – management frecvente 5GHz
- 802.11-2007 = cumulativ 802.11, a, b, d, e, g, h, i, j
- 802.11f – comunicare între puncte de access
- 802.11k – management resursa radio
- 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

# Actualizari standarde

---

## **802.11c: Bridge Support**

Definition of MAC procedures to support bridges as extension to 802.1D

## **802.11d: Regulatory Domain Update**

Support of additional regulations related to channel selection, hopping sequences

## **802.11e: MAC Enhancements – QoS**

Enhance the current 802.11 MAC to expand support for applications with Quality of Service requirements, and in the capabilities and efficiency of the protocol

Definition of a data flow (“connection”) with parameters like rate, burst, period...

supported by HCCA (HCF (Hybrid Coordinator Function) Controlled Channel Access, optional)

Additional energy saving mechanisms and more efficient retransmission

EDCA (Enhanced Distributed Channel Access): high priority traffic waits less for channel access

## **802.11F: Inter-Access Point Protocol (withdrawn)**

Establish an Inter-Access Point Protocol for data exchange via the distribution system

## **802.11g: Data Rates > 20 Mbit/s at 2.4 GHz; 54 Mbit/s, OFDM**

Successful successor of 802.11b, performance loss during mixed operation with .11b

## **802.11h: Spectrum Managed 802.11a**

Extension for operation of 802.11a in Europe by mechanisms like channel measurement for dynamic channel selection (DFS, Dynamic Frequency Selection) and power control (TPC, Transmit Power Control)

## **802.11i: Enhanced Security Mechanisms**

Enhance the current 802.11 MAC to provide improvements in security.

TKIP enhances the insecure WEP, but remains compatible to older WEP systems

AES provides a secure encryption method and is based on new hardware

# Actualizari standarde

---

## **802.11j: Extensions for operations in Japan**

Changes of 802.11a for operation at 5GHz in Japan using only half the channel width at larger range

## **802.11k: Methods for channel measurements**

Devices and access points should be able to estimate channel quality in order to be able to choose a better access point of channel

## **802.11m: Updates of the 802.11-2007 standard**

## **802.11n: Higher data rates above 100Mbit/s**

Changes of PHY and MAC with the goal of 100Mbit/s at MAC SAP

MIMO antennas (Multiple Input Multiple Output), up to 600Mbit/s are currently feasible

However, still a large overhead due to protocol headers and inefficient mechanisms

## **802.11p: Inter car communications**

Communication between cars/road side and cars/cars

Planned for relative speeds of min. 200km/h and ranges over 1000m

Usage of 5.850-5.925GHz band in North America

## **802.11r: Faster Handover between BSS**

Secure, fast handover of a station from one AP to another within an ESS

Current mechanisms (even newer standards like 802.11i) plus incompatible devices from different vendors are massive problems for the use of, e.g., VoIP in WLANs

Handover should be feasible within 50ms in order to support multimedia applications efficiently

# Actualizari standarde

---

## 802.11s: Mesh Networking

Design of a self-configuring Wireless Distribution System (WDS) based on 802.11  
Support of point-to-point and broadcast communication across several hops

## 802.11T: Performance evaluation of 802.11 networks

Standardization of performance measurement schemes

## 802.11u: Interworking with additional external networks

## 802.11v: Network management

Extensions of current management functions, channel measurements  
Definition of a unified interface

## 802.11w: Securing of network control

Classical standards like 802.11, but also 802.11i protect only data frames, not the control frames. Thus, this standard should extend 802.11i in a way that, e.g., no control frames can be forged.

## 802.11y: Extensions for the 3650-3700 MHz band in the USA

## 802.11z: Extension to direct link setup

**802.11-2012 = 802.11-2007**, 802.11k-2008, 802.11r-2008, 802.11y-2008, 802.11w-2009, **802.11n-2009**,  
802.11p-2010, 802.11z-2010, 802.11v-2011, 802.11u-2011,802.11s-2011

**Nu toate “standardele” vor apărea în produse, multe idei vor rămâne doar promulgate în grupurile de lucru!**

Info: [www.ieee802.org/11/](http://www.ieee802.org/11/), [802wirelessworld.com](http://802wirelessworld.com), [standards.ieee.org/getieee802/](http://standards.ieee.org/getieee802/)

---

# Rețele 802.11 multihop

# Rețele multihop – de ce?

---

In multe cazuri, rețelele celulare nu sunt de dorit.

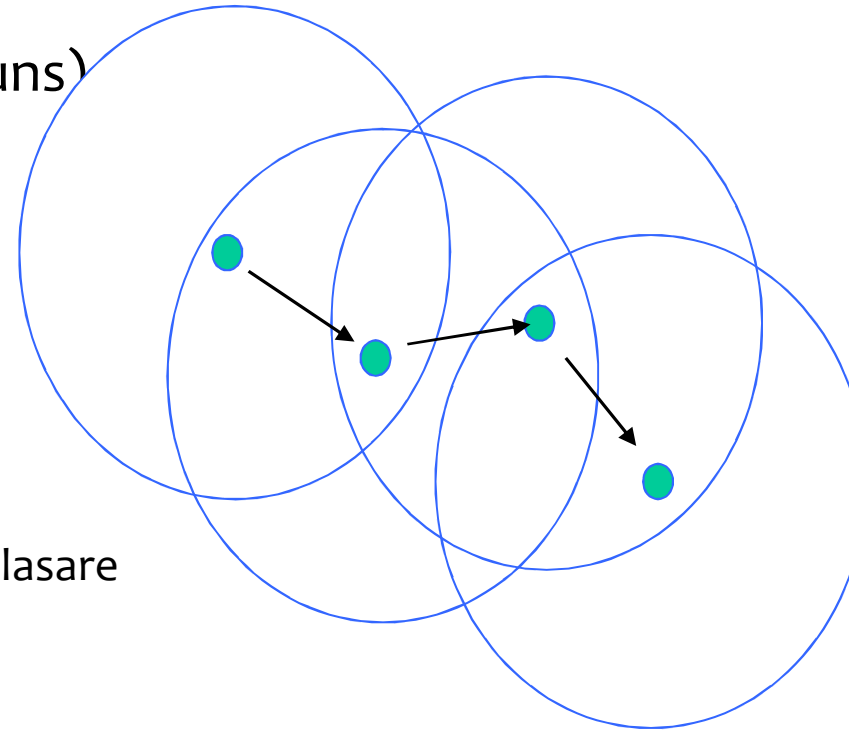
Multihop – aplicații posibile:

- medii neplanificate (adhoc)
  - » instalare rapida, cost redus
  - » retea de vehicule
  - » sedinte, conferinte, LAN parties
- domeniu militar, dezastre
  - » lipsa infrastructurii
- Rețele personale
  - » conectarea dispozitivelor: MP3 player, ceas, laptop
- acces internet
  - » infrastructura este tot 802.11, ca si mobilele

# Rețele multihop - probleme

## ● Probleme

- exacerbează interferența (terminal ascuns)
  - UDP poate obține 1/7 din rata nominală
  - TCP 1/n (n este lungimea rutei)
- mobilitate
  - Disconectări, partitionare
  - overhead
- asimetrii
  - Propagare, baterie, viteză CPU, viteză de deplasare
- variații de trafic
- încă subiect de cercetare



## ● Metodele de rutare standard nu sunt direct aplicabile



# 802.11 multihop

---

- Proactiv: rute disponibile permanent
- Reactiv: rute cautate cand e necesar
- Rutare proactiva OLSR
  - Similar cu LS in retelele fixe (OSPF)
  - Optimizat pt a reduce nr de mesaje
  - Overhead la mobilitate
- Rutare proactiva DSDV (destination sequenced DV)
  - similar cu DV in retelele fixe (BGP)
  - necesita link-uri bidirectionale
  - overhead – majoritatea rutelor nu sunt folosite niciodata
  - scalabilitate redusa

# 802.11 multihop

---

- Rutare reactiva DSR (dynamic source routing)
  - cai complete sunt mentinute de fiecare sursa
  - caile sunt descoperite prin broadcast
  - overhead redus – sunt mentinute doar rutele folosite
  - latenta mare la descoperirea rutelor
- Rutare ajutata de locatie (LAR)
  - flooding modificat
  - exploateaza locatia pentru a limita broadcast
  - aplicabilitate limitata (GPS)

# Subiecte actuale în cercetare

---

- Controlul puterii crește reutilizarea
- Controlul ratei bazat pe calitatea canalului
- Exploatarea diversității canalului
  - Uplink către AP-uri diferite
- Conectarea simultană la rețele diferite (multihoming)
- Efectul canalului radio asupra protocoalelor de transport
- Utilizarea canalelor multiple pentru a discuta în paralel
- Utilizarea antenelor directive pentru a reduce interferența
- Auto-interferența în topologii multihop

... și multe altele.

# 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
  - Jochen H. Schiller, online lectures
  - Wireless LAN at 60 GHz - IEEE 802.11ad Explained Agilent Application Note
  - 802.11ac Technology Introduction, Rode&Schwartz white paper
  - <https://www.eduroam.us>