

Cap 2 . Tehnici de acces multiplu

- Tehnici de acces cu alocare fixa (alocare de canale)
- Tehnici de acces aleatoriu
- Tehnici de acces statistic cu control centralizat

Tehnici de acces multiplu

- Cu alocare fixa:
 - FDMA - acces multiplu cu diviziune in frecventa
 - FDMA calsic
 - OFDMA
 - TDMA - acces multiplu cu diviziune in timp
 - Hibrid TDMA + FDMA
 - SSMA - acces multiplu cu spectru imprastiat
 - FH – CDMA – cu salt in frecventa
 - DS-CDMA – secventa directa
 - TH – CDMA – cu salt in timp
 - Hibrid
 - SDMA - acces multiplu cu diviziune in spatiu

Tehnici de acces multiplu

- Cu acces aleator (contention):
 - Aloha (p-Aloha, S-Aloha)
 - CSMA/CD
 - CSMA/CA
- Cu control coordonat al accesului:
 - Cu rezervare (R-Aloha)
 - Cu interogare (polling)
 - Cu jeton (token)

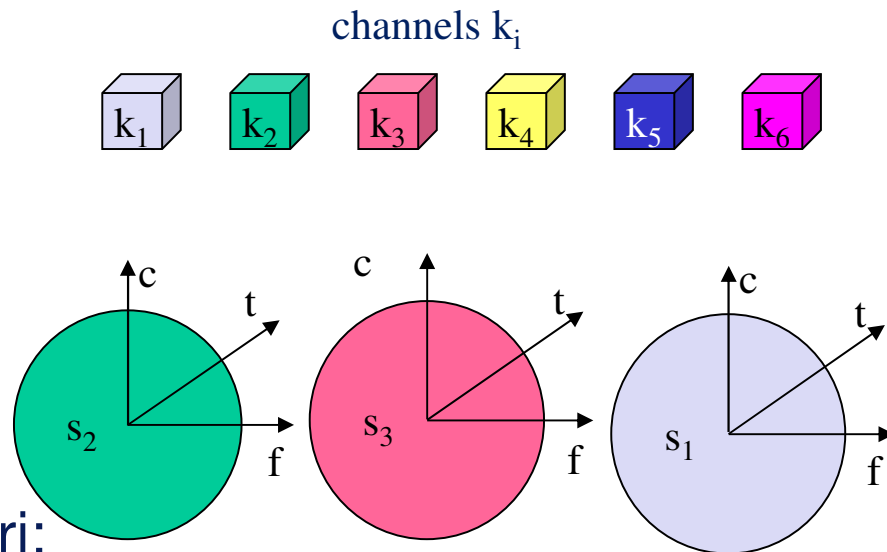
Accesul multiplu cu alocare fixa

– Permite mai multor utilizatori sa partajeze acelasi “canal” de comunicatie fara sa se perturbe reciproc : *principiul ortogonalitatii*:

Exista patru *dimensiuni* ortogonale (in telecomunicatii pentru accesul multiplu):

- frecventa (FDMA)
- timp (TDMA)
- cod (CDMA)
- spatiu (SDMA)

De regula este necesar un interval de garda intre utilizatori;



Accesul multiplu cu alocare fixa

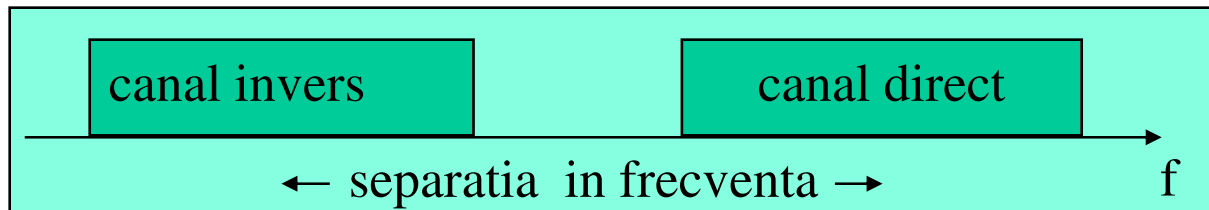
- Se utilizeaza de obicei in comunicatiile radio;
- Mai multi utilizatori partajeaza o banda radio finita din spectru, in acelasi timp;
- Garanteaza accesul la mediu
- Pentru comunicatii bidirectionale trebuie sa se realizeze duplexarea (separarea sensurilor): FDD, TDD sau hibrid FDD+TDD;
- Este necesar un “dispecer” care aloca canalul utilizatorilor
- Are performante si costuri ridicate

Duplexarea in frecventa - FDD

Se aloca doua benzi de frecventa fiecarui utilizator: una pentru un sens si alta pentru sens invers (uplink / downlink);

Intervalul de frecventa dintre cele doua benzi este constant pentru toti utilizatorii (de regula);

Necesita un circuit , *duplexor* (un filtru costisitor), care sa separe sensurile (se utilizeaza aceeaasi antena pt cele doua sensuri → separarea in frecventa este limitata).



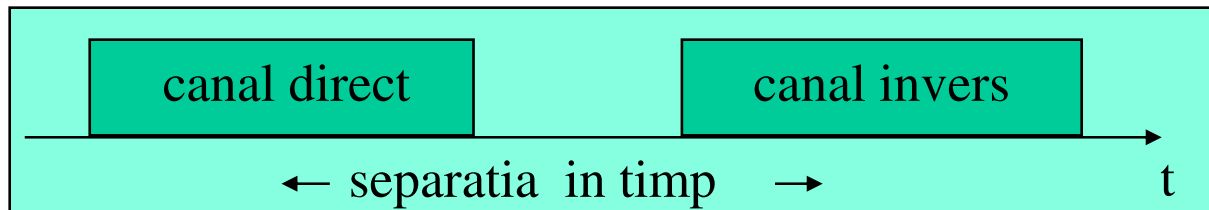
Duplexarea in timp - TDD

Necesita doua intervale temporale pentru fiecare utilizator: un slot temporal pentru un sens si altul pentru sens invers;

Mai multi utilizatori partajeaza acelasi canal radio;

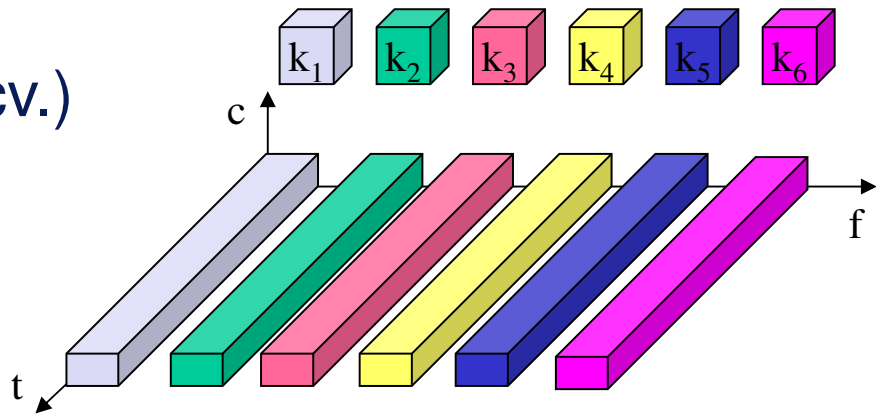
Nu necesita circuitul duplexor (semnalele de pe cele doua sensuri nu se suprapun in timp);

Este nevoie o sincronizare temporala buna;



FDMA

- Modulatii cu purtatoare sinusoidala
- Utilizatori diferiti au purtatoare diferite, benzi de frecvente diferite + banda de garda -> asigurarea ortogonalitatii;
- Se poate aplica transmisiunilor analogice si digitale
- Permite transmisiunea simultana si continua
- Aplicabila sistemelor de banda ingusta (exp: AMPS)
- Simplitate (fara coordonare dinamica)
- Dezanvantaje:
 - risipa a resurselor (banda frecv.)
(pauza in transmisiune, interval de garda)
 - alocare fixa a spectrului



FDMA probleme/neaajunsuri

- Mai multe canale – o antena
- Amplificatoarele de RF opereaza aproape de saturatie (eficienta a puterii) → caracteristica neliniara;
- Apar armonici in benzile adiacente (produse de intermodulatie) → produc interferente inter-canal
- necesita filtre de emisie
- Reducerea C/I la utilizator scade performantele
- Doua sensuri – o antena : necesar duplexor
- $P_E \gg P_R$, banda limitata pentru separarea sensurilor → filtru cu panta de atenuare mare, Q mare (in duplexor)
- Filtre cu Q mare, pe frecvente variabile -> costisitoare

Capacitate (utilizatori) in FDMA

- Numarul de canale de frecventa:

- W_t banda totala

- W_{guard} intervalul de garda

- W_c banda de frecvente pentru fiecare canal

$$N_{ch} = \frac{W_t - 2 \cdot W_{guard}}{W_c}$$

- Banda unui canal include banda de transmisiune + intervalul de garda dintre doua canale adiacente

$$W_{c i} = W_{info i} + W_{grd i}$$

- Comunicatii bidirectionale numarul de utilizatori : $N_u = N_{ch} / 2$

- Comunicatii unidirectionale numarul de utilizatori : $N_u = N_{ch}$

Eficiența binară FDMA

Ipoteze simplificatoare:

- Canal fără ISI , afectat de zgomot alb (AWGN)
- Canal cu DSMP a zgomotului $= N_0/2$, per dimensiune a modulației (DSMP = densitatea spectrală medie de putere);
- lățimea de bandă disponibilă pentru sistem = W (Hz).
- există K_u utilizatori activi, fiecare transmite cu puterea medie P_S ;

Capacitatea pentru un singur utilizator – Th C. Shannon

(pt cazul un singur utilizator, capacitatea canalului AWGN de banda W afectat de zgomot alb, gaussian, aditiv)

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{N_0 \cdot W} \right)$$

Capacitatea binara FDMA

FDMA - fiecare utilizator are alocata o bandă egală cu a celorlalți; (se neglijeaza W_{guard}) capacitatea canalului pentru un utilizator este:

$$C_{k_id} = \frac{W}{K_u} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{N_0 \cdot (W/K_u)} \right)$$

capacitatea totala a celor K_u utilizatori este $C_T = K_u C_{k_id} = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{K_u \cdot P_s}{N_0 \cdot W} \right)$

- Situație echivalent cu cea a unui canal AWGN, cu un singur utilizator, ce transmite date continuu cu o putere medie de K_u ori mai mare.

- In realitate capacitatea efectiva a unui utilizator este:

$$C_k = W_{info_k} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{N_0 \cdot W_{info_k}} \right)$$

Iar capacitatea totala efectiva este : $C_{T_ef} = K_u \cdot C_k$

Eficienta FDMA

Eficienta η_{FDMA} :

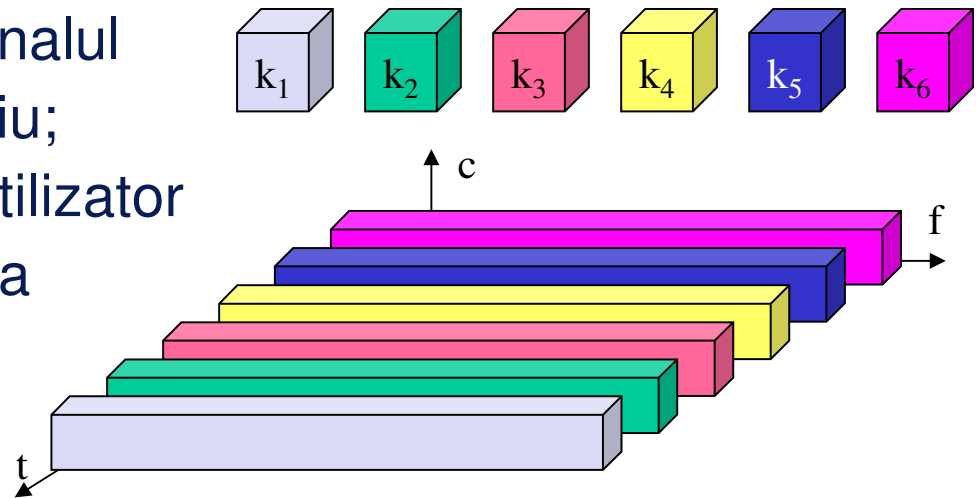
$$\eta_{FDMA} = \frac{K_u \cdot C_k}{C_T} = \frac{(W - 2 \cdot W_{guard} - K_u W_{guard_k}) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{K_u P_S}{N_0 \cdot (W - 2 \cdot W_{guard} - K_u \cdot W_{guard_k})} \right)}{W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{K_u \cdot P_S}{N_0 \cdot W} \right)}$$

$$\eta_{FDMA} = \eta_W \cdot \frac{\log_2 \left(1 + \frac{K_u \cdot P_S}{N_0 \cdot \eta_W \cdot W} \right)}{\log_2 \left(1 + \frac{K_u \cdot P_S}{N_0 \cdot W} \right)} \quad \text{unde } \eta_W = \frac{W - 2 \cdot W_{guard} - K_u W_{guard_k}}{W}$$

Unde η_W este eficienta in utilizarea spectrului.

TDMA

- Utilizatori diferiti utilizeaza diferite sloturi temporale din acelasi canal radio + interval de garda → asigurarea ortogonalitatii;
- Se utilizeaza o singura purtatoare (mai multi utilizatori)
- Se poate aplica doar transmisiunilor digitale in banda de baza sau modulate cu purtatoare sinusoidala
- Un utilizator primeste tot canalul radio pe durata slotului propriu;
- Throughput mai mare per utilizator
- Permite gestionare dinamica a throughput per utilizator (atribuirea mai multor sloturi)
- Comunicatii necontinue
- Utilizeaza metode de buffer-ing si burst



TDMA

- Duplexarea necesita comutator in locul duplexorului (cost mic)
- Procesul de *handoff* in sistemele celulare mai simplu (permite *handover soft*).
- Consum redus al bateriei (statia mobila)
- Este mai adecvata pentru transmisiuni cu rata foarte mare

Dezavantaj:

- necesita sincronizare perfecta intre utilizatori
- necesar interval de garda
- Numar mare de biti de control (*overhead*) pentru sincronizare si format (delimitare) cadre

TDMA

Cadrul TDMA se repeta periodic in timp

Numar de utilizatori

(pentru un canal radio)

$$K_u = \frac{T_{cadru} \cdot D_b - N_{pre} - N_{F_tail}}{N_{slot}}$$

$$N_{slot} = N_{tail} + N_{sincro} + N_{date} + N_{garda}$$

T_{cadru} – durata unui cadru

D_b – rata binara

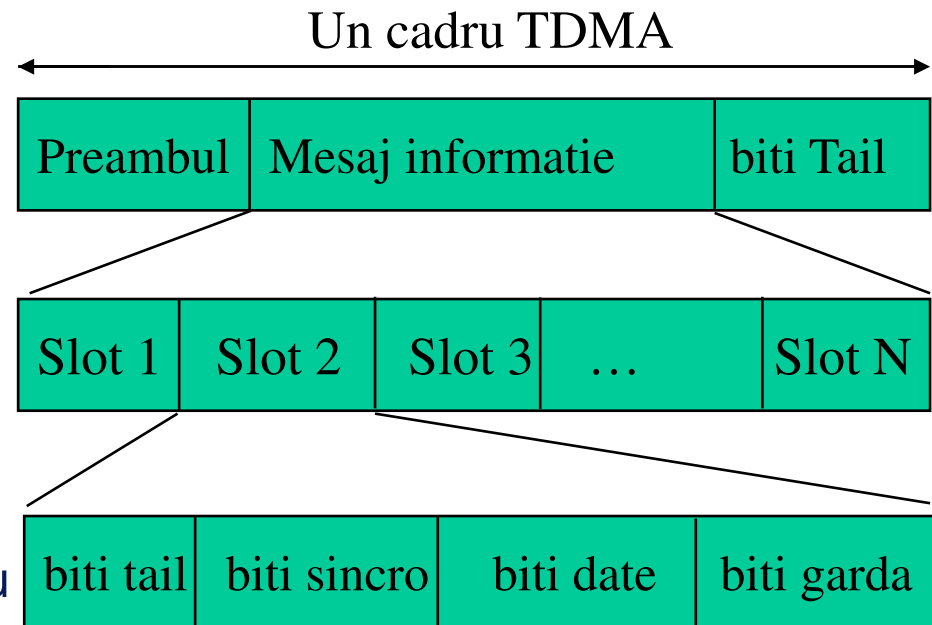
N_{pre} – numar biti in preambul cadru

N_{F_tail} – numar biti tail cadru

N_{slot} – numar biti slot temporal

N_{sincro} – numar biti sincro / slot

N_{garda} – numar biti garda / slot



N_{tail} – numar biti tail / slot

N_{date} – numar biti date / slot

Capacitatea binara TDMA

TDMA - fiecare utilizator transmite cu puterea P_S o fractiune de timp $1/K_u$ din utilizarea totala a un canal cu lărgimea de banda W ; echivalent cu o puterea medie per utilizator $P_S / K_u \rightarrow$ capacitatea medie a canalului AWGN pentru un singur utilizator, neglijind intervalele de garda, este:

$$C_{k_id} = \frac{W}{K_u} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{K_u \cdot P_S}{N_0 \cdot W \cdot K_u} \right)$$

\Rightarrow capacitatea totala a celor K_u utilizatori este

$$D_b = K_u C_k = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{N_0 \cdot W} \right)$$

- Situație echivalent cu cea a unui canal AWGN, cu un singur utilizator, ce transmite date continuu cu o putere medie de P_S într-o banda W .

Eficiența TDMA

Eficiența de transmisie:

$$\eta_{\text{TDMA}} = \frac{K_u \cdot N_{\text{date}}}{T_{\text{cadru}} \cdot D_b} = \frac{K_u \cdot N_{\text{date}}}{K_u \cdot (N_{\text{tail}} + N_{\text{sincro}} + N_{\text{date}} + N_{\text{garda}}) + N_{\text{pre}} + N_{\text{F_tail}}}$$

Capacitatea unui sistem TDMA cu o bandă de frecvență W este:

$$D_b = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{N_0 \cdot W} \right)$$

Capacitatea per utilizator este :

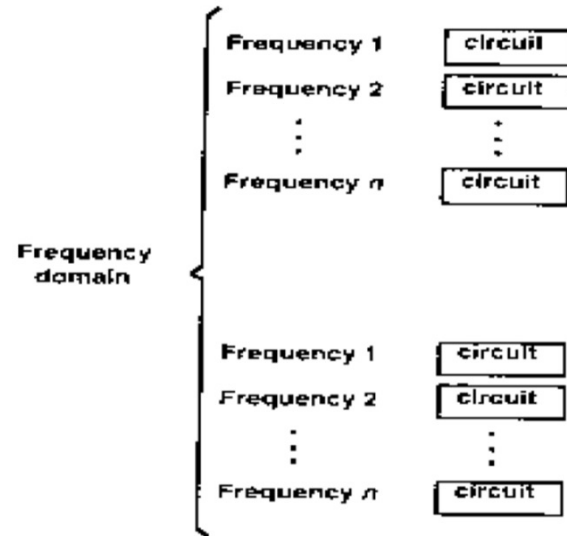
$$C_k = \frac{\eta_{\text{TDMA}} \cdot D_b}{K_u} = \frac{\eta_{\text{TDMA}} \cdot W}{K_u} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{N_0 \cdot W} \right)$$

Comparatie FDMA - TDMA

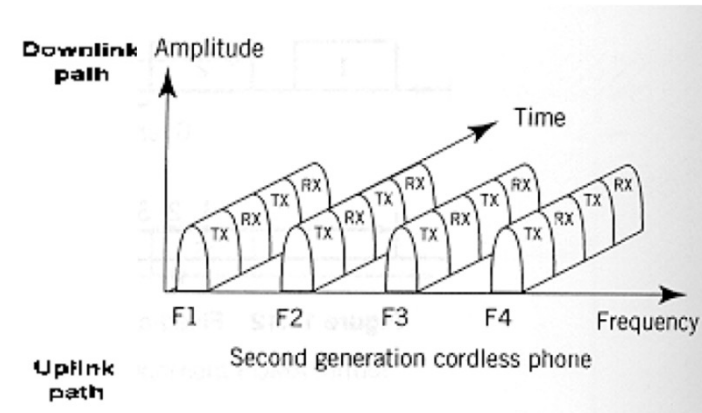
- FDMA necesita mai putini biti pentru sincronizare;
- FDMA necesita mai putini biti pentru delimitarea cadrului;
- FDMA au cost mai ridicat pentru BS in sistemele celulare
- FDMA au cost mai mare pentru duplexare (BS si MS)
- FDMA necesita filtre RF de emisie pentru minimizarea interferetelor cu canalele adiacente (produse de intermodulatie)

Exemple de acces multiplu cu duplexare

- FDMA/FDD:
- FDMA/TDD
- TDMA/FDD
- TDMA/TDD



FDMA/FDD



FDMA/TDD

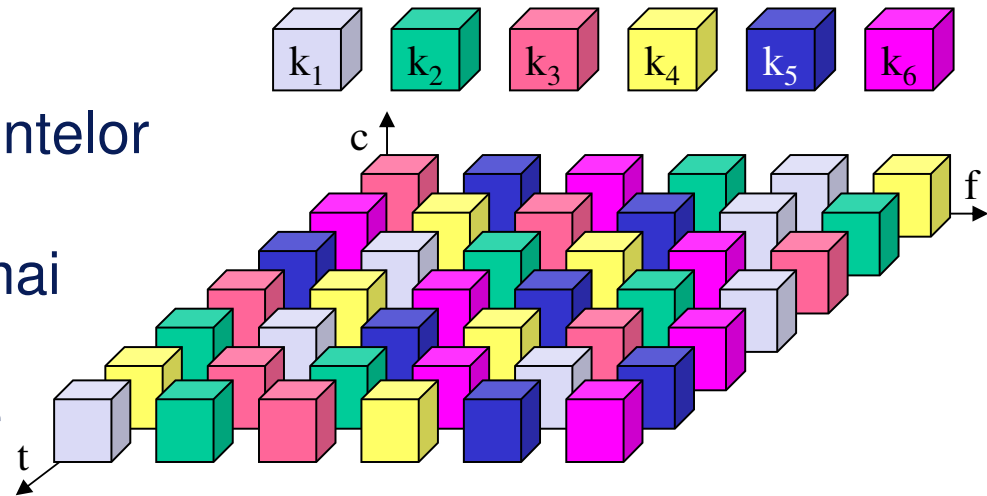
Exemple de acces multiplu cu duplexare

Sistemul celular	Tehnica de acces multiplu si duplexare	Mod de operare	Rata binară (kps)
AMPS (Advanced Mobile Phone System)	FDMA/FDD	analogic	
GSM (Global System for Mobile)	TDMA/FDD	digital	271
USDC (US Digital Cellular)	TDMA/FDD	digital	
JDC (Japanese Digital Cellular)	TDMA/FDD	digital	
CT2 (Cordless Telephone)	FDMA/TDD	digital	72
DECT (Digital European Cordless Telephone)	FDMA/TDD	digital	1152
IS95 (US Narrowband Spread Spectrum)	DS-CDMA/FDD FDMA /FDD	digital / analogic FM	1228.8
IS136 (US)	TDMA /FDD	digital	48.6
UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	CDMA/FDD, CDMA/TDD	digital	

Acces multiplu combinat TDMA / FDMA

- O combinatie a celor doua metode TDMA si FDMA
- Un canal de comunicatie primeste o banda de frecventa pentru un interval de timp (un slot)
- Exemplu: GSM , intr-un canal de frecventa de 200kHz sunt 8 canale de comunicatie (temporale).

- Avantaje:
 - Protectie impotriva interferentelor selective in frecventa
 - Capacitate binara globala mai mare decat CDMA
- dar: necesita o sincronizare foarte precisa si are cost mai ridicat



SSMA

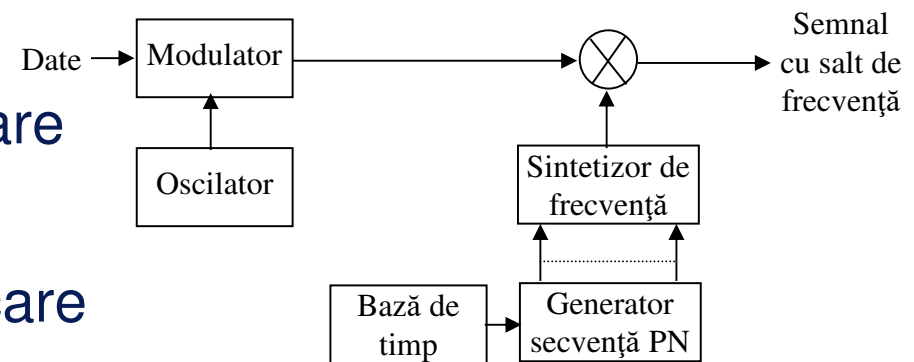
Accesul multiplu cu spectru imprasitat (SSMA)

- Necesita o banda de transmisie mult mai mare decit transmisiunea radio clasica
- Utilizeaza o secventa pseudoaleatoare PN pentru imprastierea semnalului in frecventa
- Transmisia este imuna la interferentele multicale si la interfentele de tip *jamming* sau a altor interferente externe.
- Asigura o utilizare eficienta a benzii intr-un mediu multiutilizator
- Exista trei tipuri : DS-CDMA , FH-CDMA si TH-CDMA

FH-CDMA

Accesul multiplu cu salt de frecventa (Frequency Hopping – Code Division Multiple Access)

- Frecventa purtatoare f_c variaza intr-o maniera pseudoaleatoare data de PN, intr-un canal (de frecventa) de banda larga;
- Se utilizeaza cu modulatie de frecventa (FSK)
- Asigura securitatea comunicatiei
- Este imuna la fading (fast hopping)
- Exista doua tipuri
- fast hopping: rata de modificare a f_c este $> 1/T_S$
- slow hopping: rata de modificare a f_c este $< 1/T_S$



TH-CDMA

Accesul multiplu cu salt in timp (Time Hopping – Code Division Multiple Access)

- utilizează impulsuri purtătoare de durată mult mai mică decât intervalul de timp alocat pentru transmiterea lui, poziția acestui impuls în interiorul intervalului fiind dictată de codul individual pseudoaleator.

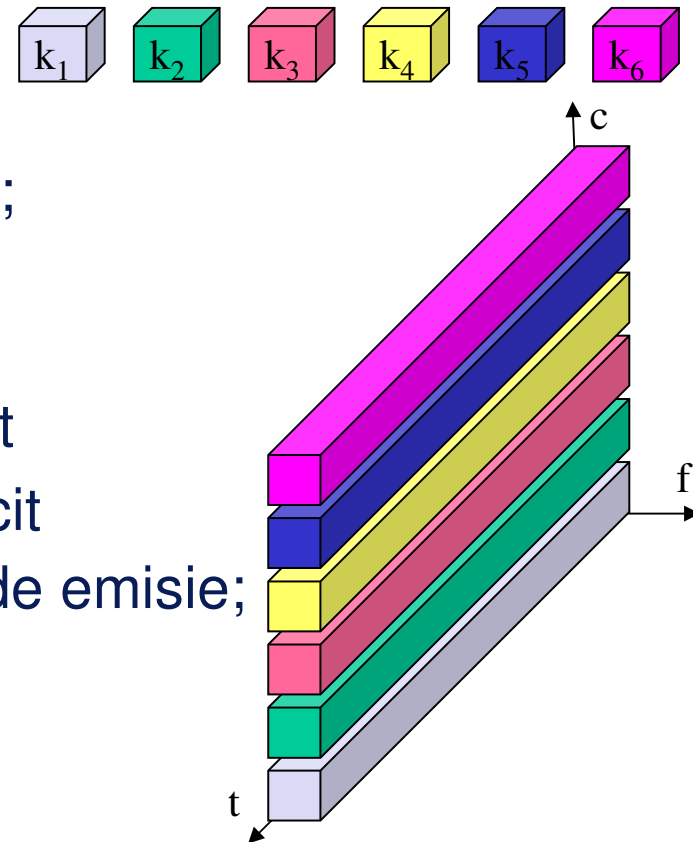
- TH-CDMA combinată cu modularea impulsurilor în poziție (PPM - Pulse

Position Modulation) → tehnica de comunicație de bandă ultra largă (Ultra Wide Band communications -UWB);

DS-CDMA

Accesul multiplu cu diviziune in cod cu seventa directa (Direct Sequence - Code Division Multiple Access)

- Semnalul de banda ingusta al unui utilizator este inmultit cu o secventa pseudo-aleatoare PN , de banda larga;
- Toti utilizatorii transmit simultan in aceeasi banda de frecventa
- Problema *Near-far* : utilizatorul nedorit este receptionat cu o putere mai mare decit cel dorit → se utilizeaza controlul puterii de emisie;
- Duplexarea: TDD sau FDD



DS-CDMA

- In CDMA fiecare utilizator are un cod unic de imprastiere cu care se va imprastia semnalul in banda de baza inaintea emisiei
- Semnalul receptionat are o *putere* mai mica decit a zgomotului
- Receptorul utilizeaza un corelator (corelator Rake) pentru a obtine semnalul emis
- PN-urile sunt alese special sa aiba autocorelatie maxima si corelatie nula cu alte PN-uri sau o varianta deplasata a lui (pentru asigurarea ortogonalitatii); Daca PN-urile nu sunt perfect ortogonale apare *jamming*.
- Rata secventei de imprastiate (chip rate) este mult mai mare decit rata de simbol a semnalului de informatie (banda de baza);
- Cistigul de procesare

$$G_p = \frac{W_{ss}}{D_b} = \frac{D_{chip}}{D_b}$$

G_p : cistig de procesare

W_{ss} : rata codului PN

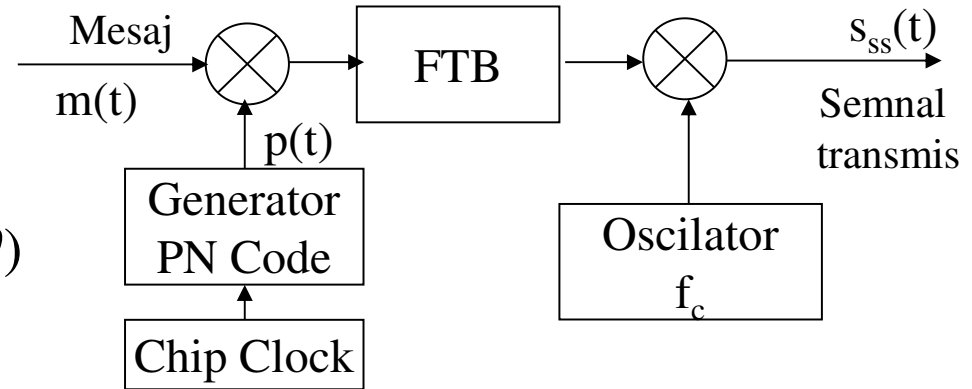
D_{chip} : rata de chip

D_b : rata bitilor de date

DS-SS-CDMA

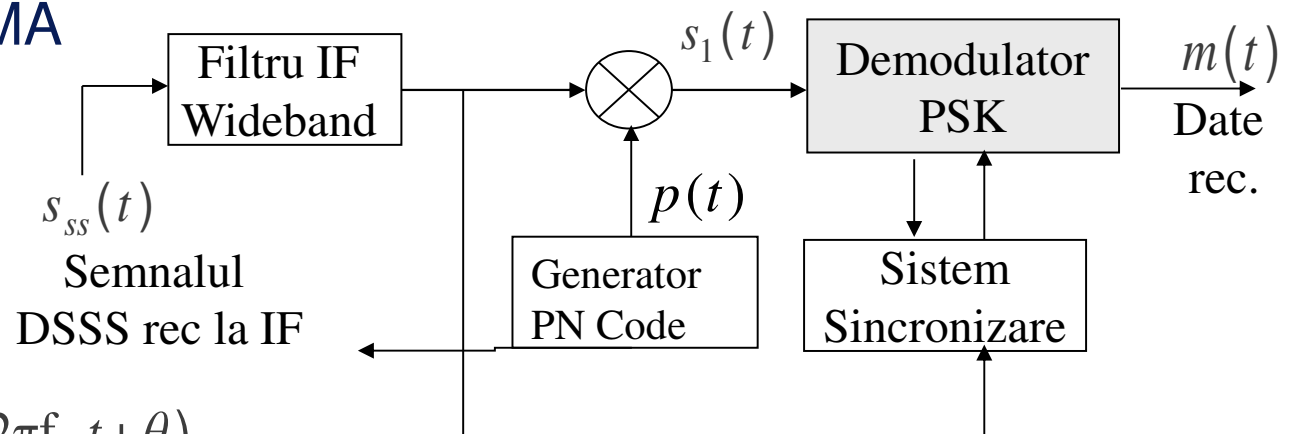
Emitator DS-SS-CDMA

$$s_{ss}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m(t) p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

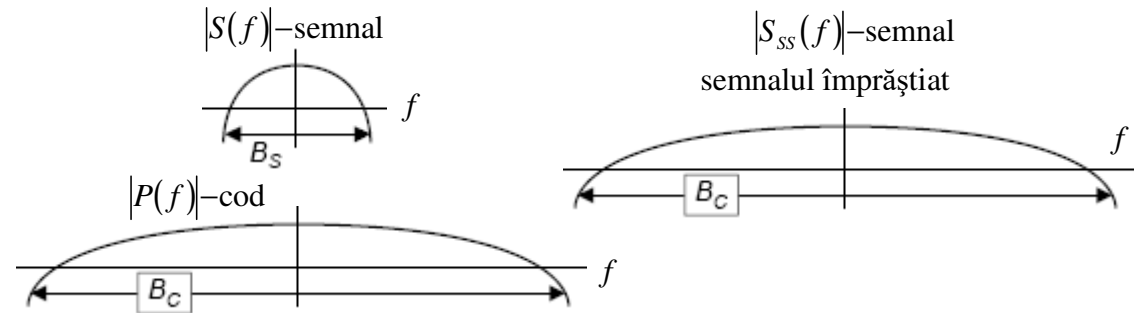
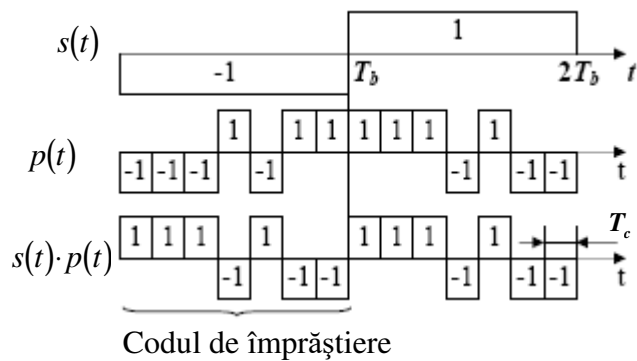


Receptor DS-SS-CDMA

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m(t) \cos(2\pi f_c t + \theta)$$



DS-SS



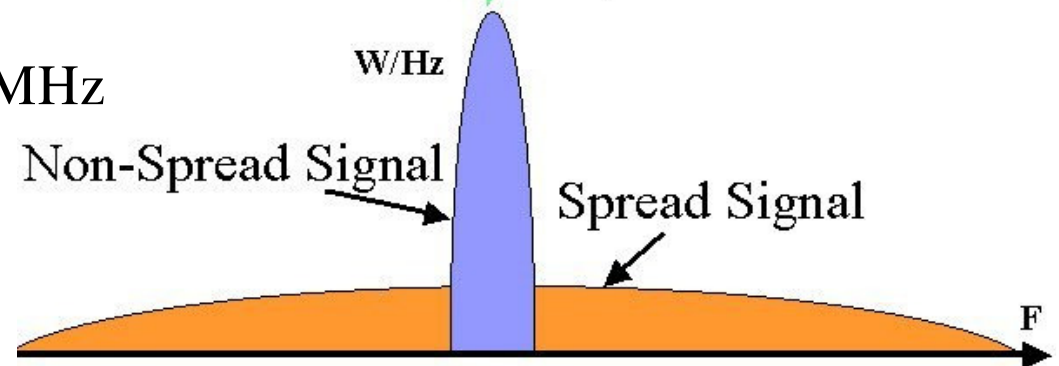
Modulație QPSK:

$$D_b = 30 \text{ kbps} \Rightarrow D_s = 15 \text{ kBauds}$$

$$D_{chip} = 3840 \text{ kcps} \Rightarrow W_{ss} = 3.84 \text{ MHz}$$

$$G_p = \frac{W_{ss}}{D_s} = 256$$

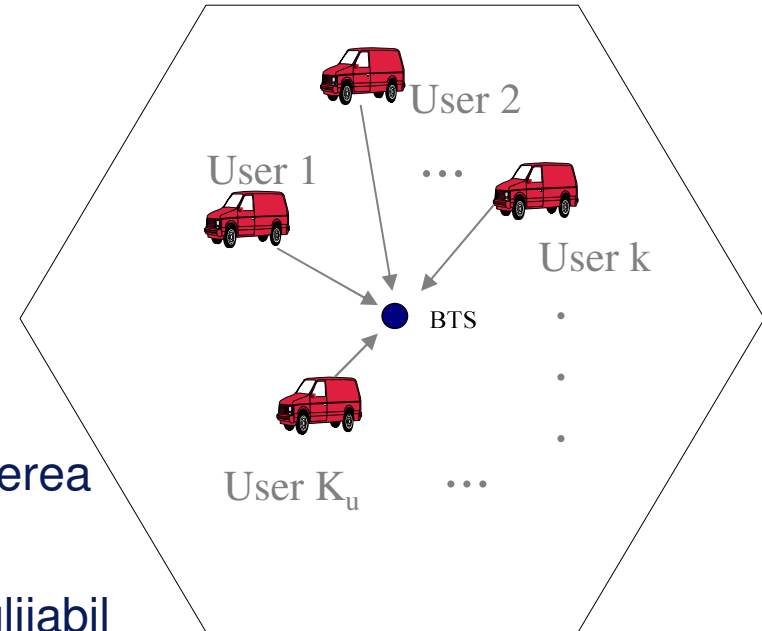
$$\text{Spreading factor} = \frac{\text{Chip rate}}{\text{Data rate}} \xrightarrow{\text{QPSK}} \left. \begin{array}{l} 30 \text{ kbit/s channel} \\ 15 \text{ k symbols/s} \end{array} \right\} = \frac{3840 \text{ k}}{15 \text{ k}} = \text{Spreading factor 256}$$



Capacitatea DS-CDMA – utilizatori

Presupuneri:

- Numarul utilizatori activi K_u ;
- Interferenta de acces multiplu (MAI) intra-celula datorata celorlalti utilizatori, modelata ca AWGN ;
- Controlul perfect al puterii – receptie cu aceeasi putere indiferent de distanta - P_s puterea de receptie de la un utilizator;
- Secventa aleatoare si zgomot de fundal neglijabil
- W_{SS} banda semnalului imprastiat
- D_b rata binara in band ade baza (bitii de informatie)



Puterea MAI la iesirea detectorului BTS: $I \approx (K_u - 1)P_s$

Dens. spectrala de putere a interferentei $I_0 = \frac{I}{W_{SS}}$ Watts/Hz (one-sided)

Energia per bit de informatie: $E_b = P_s / D_b$

Capacitatea DS-CDMA

Semnalul de interferenta MAI (de la ceilalti utilizatori este vazut ca un zgomot aditiv alb independent fata de alte surse de zgomot).

Astfel, daca puterea zgomotului de fundal este P_{noise} , raportul E_b/N_0 :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_s / D_b}{I / W_{ss} + P_{noise} / W_{ss}} = \frac{W_{ss} / D_b}{K_u - 1 + P_{noise} / P_s}$$

Numarul utilizatorilor pentru un anumit E_b/N_0 este:

$$K_u = 1 + \frac{W_{ss} / D_b}{E_b / N_0} - \frac{P_{noise}}{P_s}, \text{ unde } W_{ss} / D_b \text{ reprezinta factorul de imprastiere}$$

Cresterea numarului de utilizatori \rightarrow crestere castigului de proces (factorului de imprastiere).

Pentru modulatia multinivel in BB, cu k biti per simbol:

$$\left. \begin{array}{l} E_s = k \cdot E_b \\ D_b = k \cdot D_s \end{array} \right\} \Rightarrow K_u = 1 + \frac{W_{ss} / D_s}{E_s / N_0} - \frac{P_{noise}}{P_s} = 1 + \frac{W_{ss} / D_b}{E_b / N_0} - \frac{P_{noise}}{P_s}$$

Capacitatea DS-CDMA

Tehnici de crestere a capacitatii

- Utilizarea detectorului de activitate: cand un utilizator nu are date de transmis , nu transmite semnal CDMA. Coeficientul de activitate $0 < \alpha < 1$.

$$\frac{E_b}{N_0'} = \frac{W_{ss}/D_b}{\alpha \cdot (K_u - 1) + P_{noise}/P_s} \Rightarrow K_u = 1 + \frac{1}{\alpha} \frac{W_{ss}/D_b}{E_b/N_0'} - \frac{P_{noise}}{\alpha P_s} = 1 + G_V \frac{W_{ss}/D_b}{E_b/N_0'} - G_V \cdot \frac{P_{noise}}{P_s}$$

unde $G_V = 1/\alpha$ este castigul datorat detectiei de activitate.

- Utilizarea unor antene sectoriale (de 120° sau 60°) in locul celor omnidirectionale, numarul utilizatorilor dintr-un sector K_{ust} :

$$K_{ust} = 1 + \frac{W_{ss}/D_b}{E_b/N_0} - \frac{P_{noise}}{P_s} \Rightarrow K_u = G_A K_{ust} \cong nr_{sect} K_{ust}$$

Daca se tine cont si de interferenta de la celulele vecine, $f \rightarrow$ raportul intre MAI global al celulelor vecine si MAI propriu celulei

$$K_u = 1 + \frac{G_A \cdot G_V}{(1+f)} \cdot \frac{W_{ss}/D_b}{E_b/N_0} - \frac{P_{noise}}{P_s} \cong \frac{W_{ss}/D_b}{E_b/I_0} \cdot \frac{G_V \cdot G_A}{(1+f)} \Big|_{SNR \text{ mare}}$$

Capacitatea binara CDMA

CDMA - fiecare utilizator folosește un cod pseudoaleator pentru împrăștierea semnalului de date semnalul transmis ocupând toată banda. În cazul ideal (coduri perfect ortogonale), după deîmprăștiere, semnalul de la ceilalți utilizatori este văzut ca un zgomot AWGN;

→ capacitatea canalului pt un singur utilizator care emite cu puterea P_S este:

$$C_k = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{N_0 \cdot W + (K_u - 1)P_S} \right)$$

- capacitatea individuală normată

$$\frac{C_k}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{\frac{C_k}{W} \cdot \frac{E_b}{N_0}}{1 + (K_u - 1) \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{C_k}{W}} \right)$$

Utilizând inegalitatea $\ln(1+x) \leq x$

$$\Rightarrow \frac{C_k}{W} \leq \frac{C_k}{W} \cdot \frac{\frac{E_b}{N_0}}{1 + K_u \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{C_k}{W}} \cdot \log_2 e \Rightarrow \frac{C_k}{W} \leq \frac{1}{K_u} \left(\log_2 e - \frac{N_0}{E_b} \right)$$

Capacitatea binara CDMA

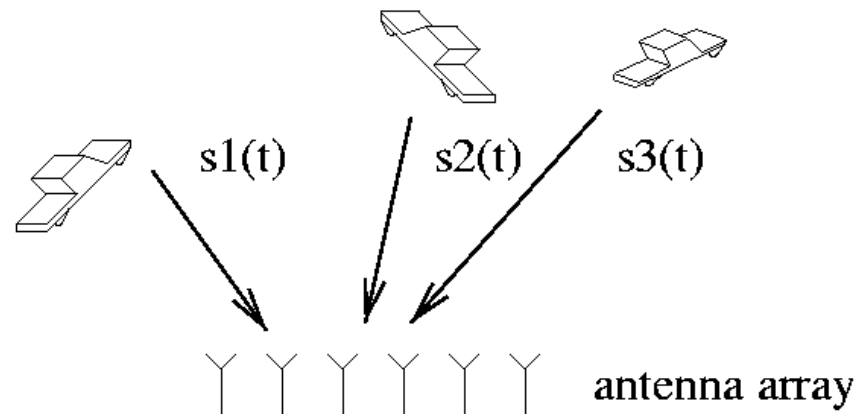
capacitatea normalată, totală a celor K_u utilizatori este:

$$C_T = K_u \frac{C_k}{W} \leq \left(\log_2 e - \frac{N_0}{E_b} \right) \leq \frac{1}{\ln 2} - \frac{N_0}{E_b} \leq \frac{1}{\ln 2}$$

SDMA

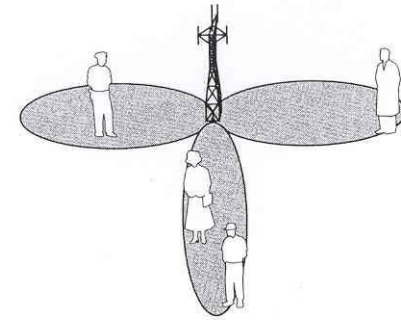
Accesul multiplu cu diviziune spatiale

- Utilizatori diferiti sunt separati pe baza proprietatilor spatiale;
- Utilizatorii pot transmite in acelasi timp, in acelasi canal de frecventa folosind acelasi cod de imprastiere;
- Se controleaza directia de radiatie a energiei in spatiu pentru fiecare utilizator cu un fascicul de a
- Deplasarea utilizatorilor este urmarita de statia fixa;

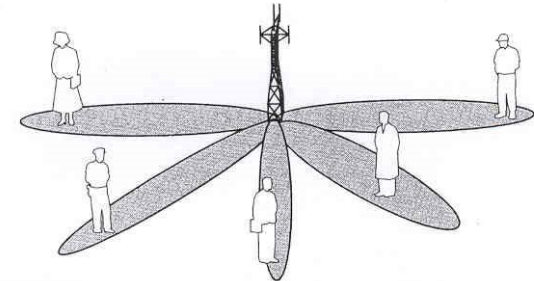


SDMA

Aplicatii initiale – antene sectorizate;
- reutilizarea frecventelor
in sistemele celulare;



Aplicatii avansate: antene adaptive care
directioneaza energia simultan catre mai mul
utilizatori individual.



Exemple Sisteme acces centralizat

Sistemul celular	Tehnica de acces multiplu	Mod de operare	Rata binară (kps)
AMPS (Advanced Mobile Phone System)	FDMA/FDD	analogic	
GSM (Global System for Mobile)	TDMA/FDD	digital	271
USDC (US Digital Cellular)	TDMA/FDD	digital	
JDC (Japanese Digital Cellular)	TDMA/FDD	digital	
CT2 (Cordless Telephone)	FDMA/TDD	digital	72
DECT (Digital European Cordless Telephone)	FDMA/TDD	digital	1152
IS95 (US Narrowband Spread Spectrum)	DS-CDMA/FDD FDMA /FDD	digital / analogic FM	1228.8
IS136 (US)	TDMA /FDD	digital	48.6
UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	DS-CDMA/FDD, DS-CDMA/TDD	digital	

Acces multiplu aleator

- Accesul multiplu aleator se poate aplica in sistemele cu comutatie de pachete;

- Se bazeaza pe un mecanism ce confirmari → comunicatia este bidirectionala

- Accesul la mediu doar atunci cind sunt pachete de transmis

- Nu necesita un dispozitiv de coordonare a accesului

- Durata de transmisie a unui pachet → *timp de transmisie T_{FR} ;*

- Durata necesara unui pachet sa ajunga de la sursa la destinatie → *timp de propagare T_P*

- Cind transmisiile de la 2 sau mai multi utilizatori se suprapun → *coliziune* (nici un pachet nu se receptioneaza corect)

- Intervalul maxim in care poate apare o coliziune → *interval de vulnerabilitate*

Aloha

- Utilizeaza mecanismul confirmarilor pozitive (ACK), contor de timp (timer) si limitare a incercarilor de retransmisie (K_{max})

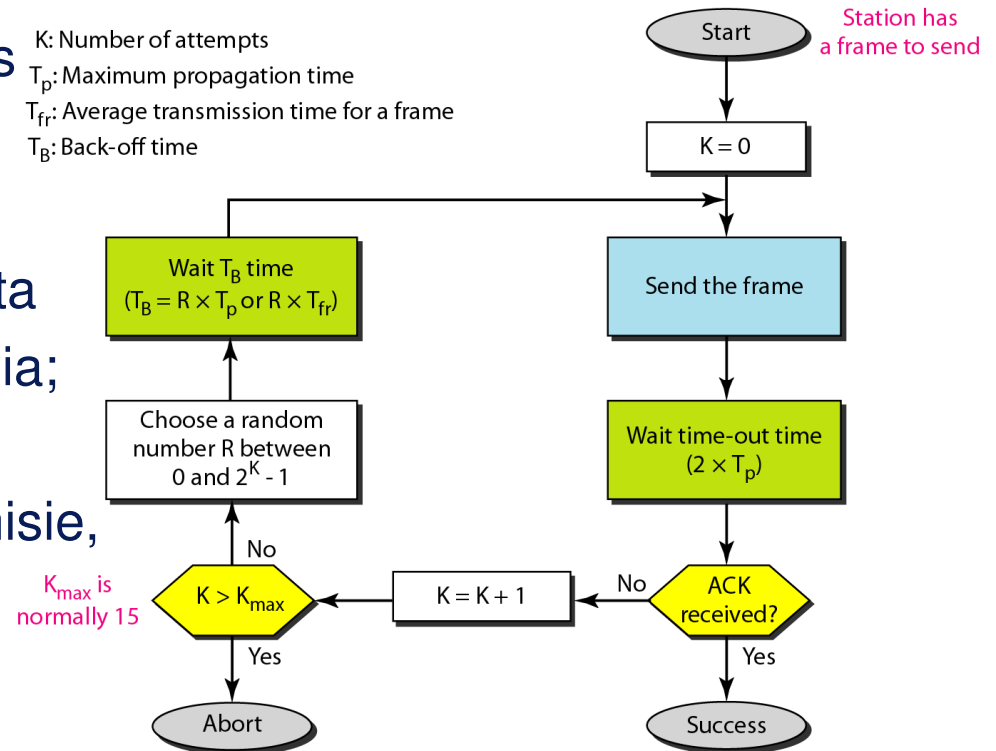
- Este cea mai simpla tehnica de acces aleatoriu:

1. Daca un utilizator are de transmis un cadru \rightarrow il transmite si apoi asteapta ACK.
2. Dupa expirarea timer, se asteapta un timp aleatoriu si se reia transmisia;
3. Daca dupa K_{max} incercari nu se primeste ACK, se renunta la transmisie,

Variante: pure-Aloha (P-Aloha),
slotted-Aloha (S-Aloha);

reserved-Aloha (R-Aloha) Organigrama algoritmului P-Aloha

K: Number of attempts
 T_p : Maximum propagation time
 T_{fr} : Average transmission time for a frame
 T_B : Back-off time



Aloha

Capacitatea accesului pure-Aloha (P-Aloha)

Presupuneri:

- Cadrele au toate aceeasi *lungime* (b biti \leftrightarrow durata $T_{FR} = b / D_b$) ;
- Numar infinit de utilizatori : $\lambda_t = \lambda + \lambda_r$
- λ rata traficului cu succes (cadre/s)
- λ_t rata traficului total (oferit) (cadre/s)
- λ_r rata traficului rejectat – cu coliziuni (cadre/s)
- Capacitatea canalului (a legaturii) D_b (bps)
- Traficul total (bps) $G' = b \cdot \lambda_t \Rightarrow G = b \cdot \lambda_t / D_b$ (traficul total normalizat)
- Traficul cu succes (throughput) (bps) $S' = b \cdot \lambda \Rightarrow S = b \cdot \lambda / D_b$ (traficul normalizat)
- Statistica mesajelor intr-un canal de la utilizatori independenti: *proces Poisson* – probabilitatea de a primi K mesaje pe durata T intr-un sistem (link) cu rata traficului total λ_t :

$$\Pr[K] = \frac{(\lambda_t T)^K e^{-\lambda_t T}}{K!}$$

Aloha

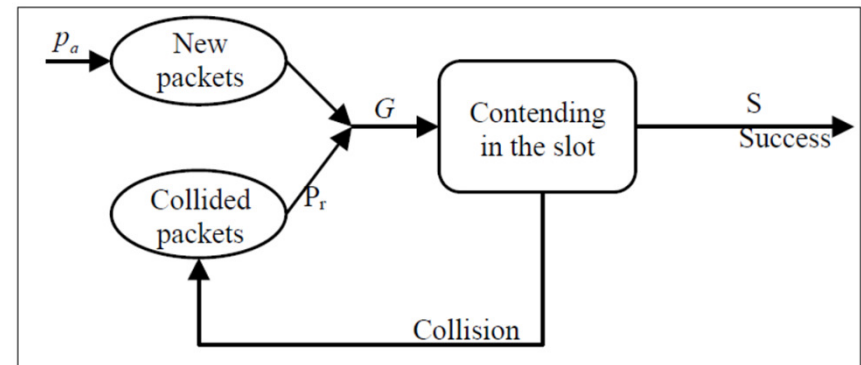
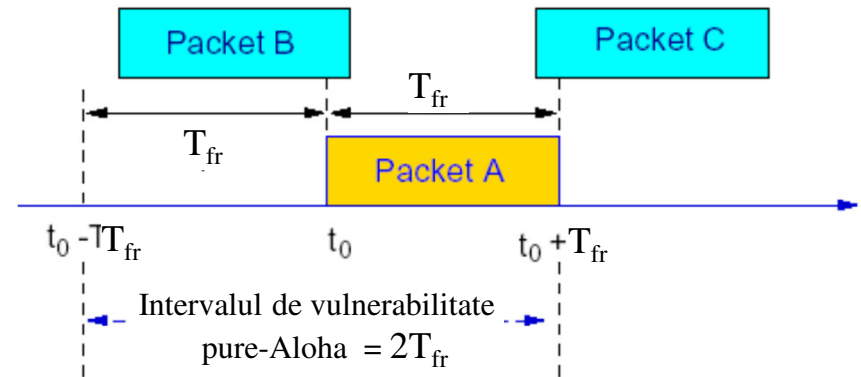
Capacitatea accesului pure-Aloha

- Transmisia este cu succes daca nu se transmite nici un alt cadru in intervalul vulnerabil ($2T_{FR}$).

$$\Pr[K=0] = \frac{(\lambda_t 2T_{FR})^0 e^{-2T_{FR}\lambda_t}}{0!} = \frac{S}{G}$$

$$\frac{S}{G} = e^{-2 \cdot b \cdot \lambda_t / D_b} = e^{-2 \cdot G}$$

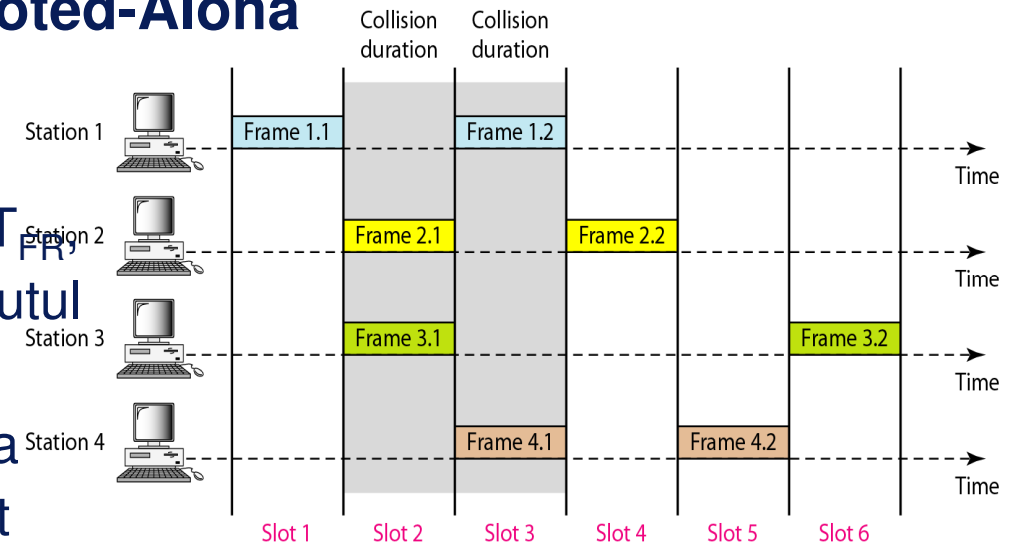
$$S = G \cdot \exp(-2G) \Rightarrow \begin{cases} S_{\max} = 1/(2e) \approx 0.184 \\ G = 1/2 \end{cases}$$



Aloha

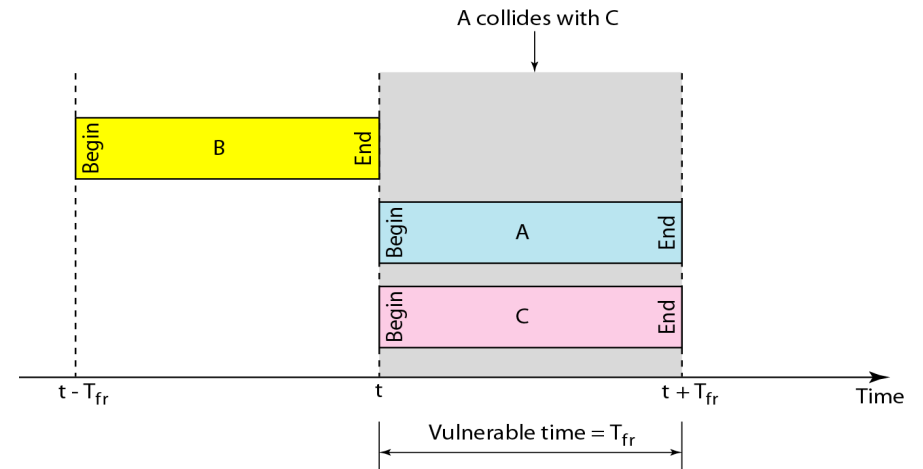
Capacitatea accesului sloted-Aloha

- S-Aloha similar cu P-Aloha + timpul este divizat de sloturi temporale de durate unui cadru T_{FR} iar statiile transmit doar la inceputul slotului.
- Transmisia este cu succes daca nu se transmite nici un alt pachet in intervalul vulnerabil (T_{FR}).



$$\Pr[K=0] = \frac{(\lambda_t T_{FR})^0 e^{-T_{FR}\lambda_t}}{0!} = e^{-G} = \frac{S}{G}$$

$$S = G \cdot \exp(-G) \Rightarrow \begin{cases} S_{\max} = 1/e \approx 0,368 \\ G = 1 \end{cases}$$



Aloha

Aplicatia 1:

Un grup de statii partajeaza un canal de 144kbps. Fiecare statie trimite, in medie la 1s, un cadru de 2500 biti, chiar daca cadrul anterior nu a fost trimis (se utilizeaza buffere la emisie), independent de celelalte statii. Care este numarul maxim de statii pentru P-Aloha si S-Aloha?

Daca statiile genereaza un trafic mediu mai mare decit *throughput-ul* sistemul nu va putea functiona fara pierderi.

Generarea cadrelor in canal → proces Poisson

traficul mediu generat de o statie este: $D_{st} = 2500/1 = 2.5\text{kbps}$

P-Aloha: $S_{\max} \approx 0.184 \Rightarrow S'_{\max} = S_{\max} \cdot D_b = 24.496\text{kbps}$

$Nr_{st} = S'_{\max} / D_{st} = \lfloor 24.496/2.5 \rfloor = 9$ statii

S-Aloha: $S_{\max} \approx 0.368 \Rightarrow S'_{\max} = S_{\max} \cdot D_b = 53.24\text{kbps}$

$Nr_{st} = S'_{\max} / D_{st} = \lfloor 53.24/2.5 \rfloor = 21$ statii

Aloha

Aplicatia 2:

Un grup de 3 statii independente partajeaza un canal de 144kbps. Statiile transmit cadre de 1500 biti, cu ratele binare medii de 45kbps, 21kbps si 15kbps. Care este traficul normalizat in canal, throughput-ul normalizat, probabilitatea de transmisie cu succes a unui pachet si rata cu care se transmit corect pachetele pentru P-Aloha si S-Aloha?

$$\begin{aligned} \text{Ratele cu care se genereaza cadrele: } \lambda_i = D_{sti} / b_i \Rightarrow \\ \left. \begin{aligned} \lambda_1 &= 45\text{kbps} / 1.5\text{kb} = 30 \text{ cadre/s} \\ \lambda_2 &= 21\text{kbps} / 1.5\text{kb} = 14 \text{ cadre/s} \\ \lambda_3 &= 15\text{kbps} / 1.5\text{kb} = 10 \text{ cadre/s} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lambda_t = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 54 \text{ cadre/s} \end{aligned}$$

$$\text{Timpul de transmisie: } T_{FR} = b / D_b = 1.5\text{kb} / 144\text{kbps} = 10.416 \text{ ms}$$

$$\text{Traficul normalizat: } G = b \cdot \lambda_t / D_b = T_{FR} \cdot \lambda_t = 0.5625$$

$$\text{Throughput-ul normalizat (P-Aloha): } S = G \cdot \exp(-2G) \approx 0.1826$$

$$\text{Throughput-ul normalizat (S-Aloha): } S = G \cdot \exp(-G) \approx 0.3205$$

Aloha

Aplicatia 2:

Prob. transmisie cu succes (P-Aloha): $P_s = \Pr[K=0] = \exp(-2G) \approx 0.3247$

Prob. de transm. cu succes (S-Aloha): $P_s = \Pr[K=0] = \exp(-G) \approx 0.57$

Rata sosire succes pachete (P-Aloha): $\lambda = P_s \cdot \lambda_t \approx 17.5$ cadre/s

Rata sosire succes pachete (S-Aloha): $\lambda = P_s \cdot \lambda_t \approx 30.7$ cadre/s

Obs: Deoarece pentru P-Aloha sistemul trebuie sa lucreze la un $G > 0.5$ este de asteptat ca in realitate sa nu functioneze, comparativ cu S-Aloha ($G < 1$).

Aloha

Aplicatia 3:

Un grup de statii S-Aloha independente genereaza o rata 120 cereri/s atat pentru cadre noi cit si retransmise, durata unui slot fiind 12.5ms. Cat este traficul total normalizat? Care este probabilitatea ca un cadru sa fie transmis cu succes la prima tentativa si dupa fix doua coliziuni?

Traficul total normalizat (incarcarea):

$$G = T_{FR} \cdot \lambda_t = 12,5 \text{ ms} \cdot 120 \text{ rq/s} = 1,5$$

Probabilitatea de succes la prima incercare:

$$P_s = \Pr[K=0] = \exp(-G) \approx 0.22$$

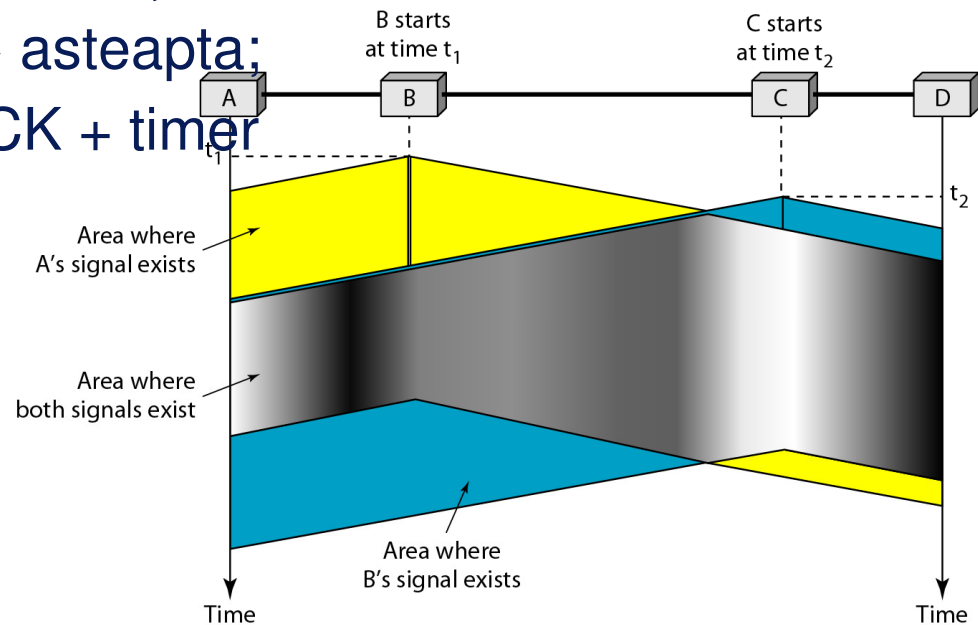
Probabilitatea de succes dupa fix doua coliziuni:

$$P_{s_2} = (1 - \Pr[K=0])^2 \cdot \Pr[K=0] = [1 - \exp(-G)]^2 \cdot \exp(-G) \approx 0.135$$

CSMA

Carrier Sense Multiple Access

- Intai se asculta mediul;
 - Daca este liber → transmite;
 - Daca nu este liber → asteapta;
 - confirmari pozitive ACK + timer
- Se reduce probabilitatea coliziunilor, dar nu se elimina;
 - tipuri: - CSMA non persistent
 - CSMA 1-persistent
 - CSMA p-persistent
 - CSMA /CD
 - CSMA /CA

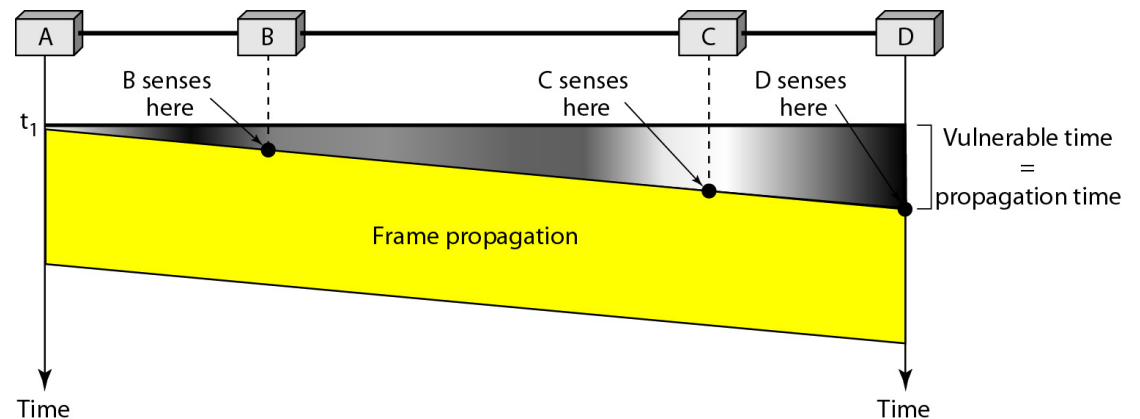


CSMA

- Intervalul de vulnerabilitate este timpul de propagare
- CSMA eficienta daca $t_p < t_{frame}$ → pe arii geografice mici (LAN)
- Dupa modul in care se comporta daca mediul este acopat:
 - CSMA 1-persistent: daca mediul este ocupat, va asculta continuu pina la eliberarea lui si apoi va transmite imediat fara sa mai astepte;
 - CSMA p- persistent: asculta continuu mediu daca este ocupat, iar la eliberare

va transmite cu o anumita probabilitate p la inceputul slotu-ului de timp urmator;

- CSMA nepersistent: daca mediul este ocupat va asculta din nou dupa timpul *backoff* (ca la prima incercare);

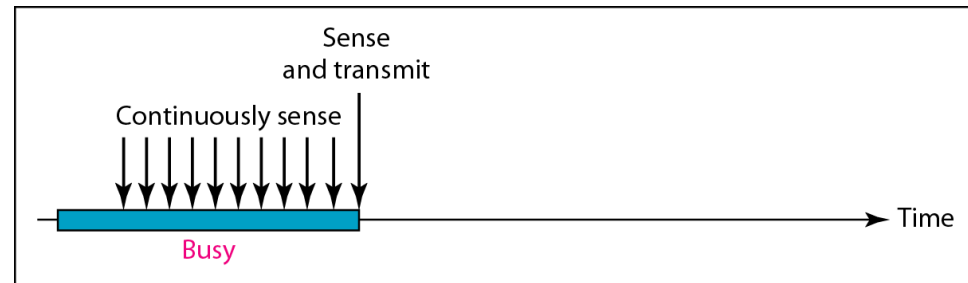


CSMA

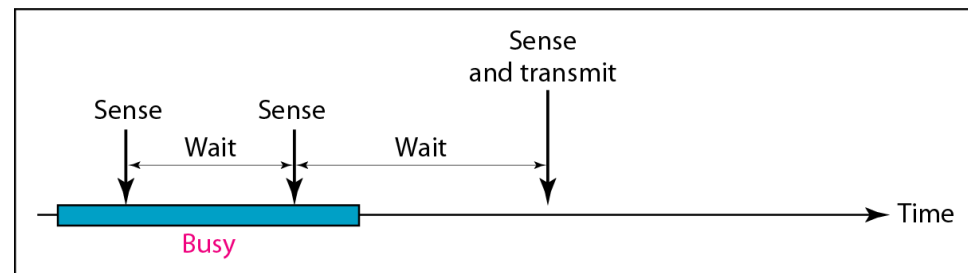
- Risc mare de coliziune cind se elibereaza mediul (daca mai multe statii au de transmis);

- Eficienta scazuta daca dupa eliberarea mediului are de transmis o singura statie (mediul este liber si statia asteapta);

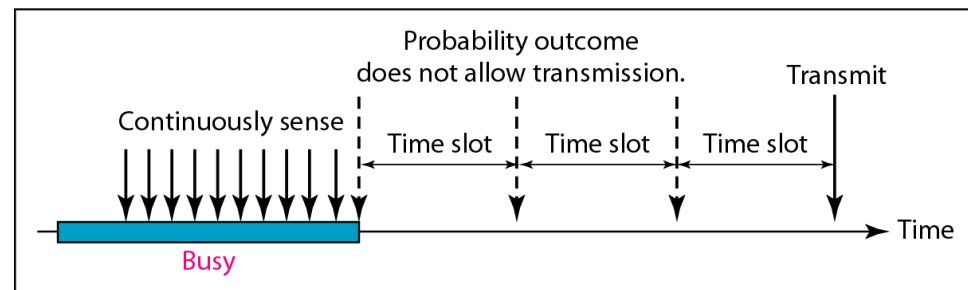
- Compromis intre cele doua anterioare: la inceputul slotului unde poate sa transmita, va transmite cu probabilitatea p ;



a. 1-persistent



b. Nonpersistent

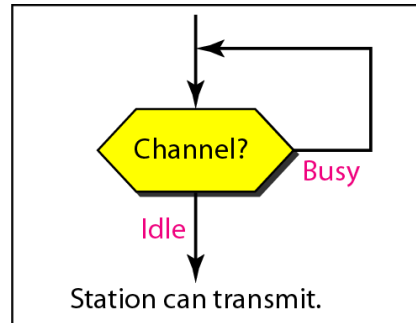


c. p-persistent

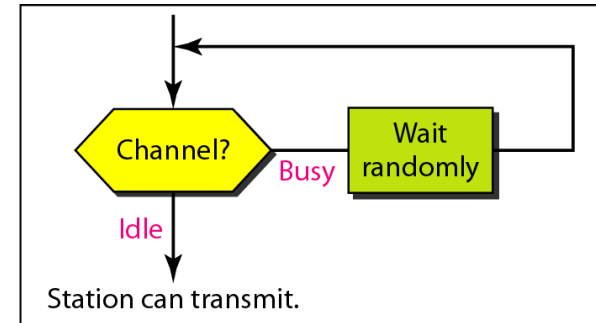
CSMA

Algoritmi CSMA

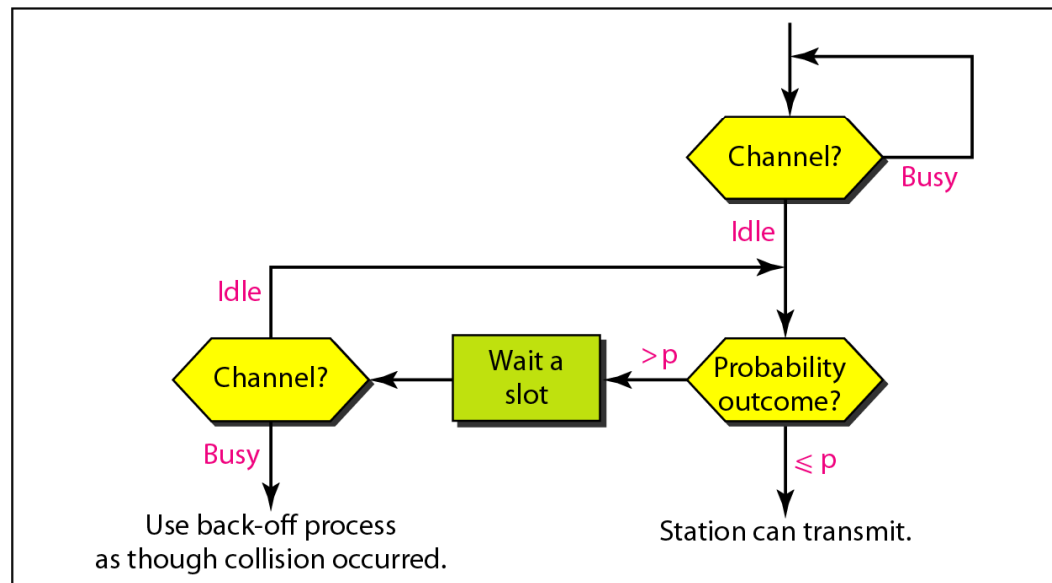
OBS: la p -persistent se definesc intervale de timp, slot, la inceputul caruia statiile pot transmite (ca la slotted-Aloha);



a. 1-persistent



b. Nonpersistent



c. p -persistent

Throughput CSMA

Se definesc:

T_{FR} – durata de transmisie a unui cadru;

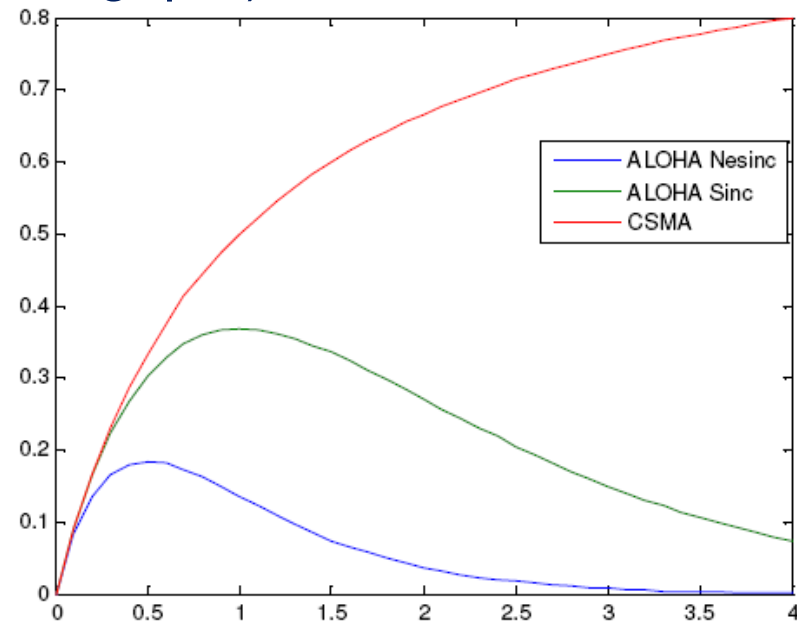
T_p – timpul maxim de propagare; si raportul $a = T_p / T_{FR}$;

G – traficul total normalat;

S – traficul transmis cu succes (throughput), normalat ;

- Throughput CSMA nepersistent

- Throughput slotted-CSMA



Throughput CSMA

- Throughput CSMA 1-persistent

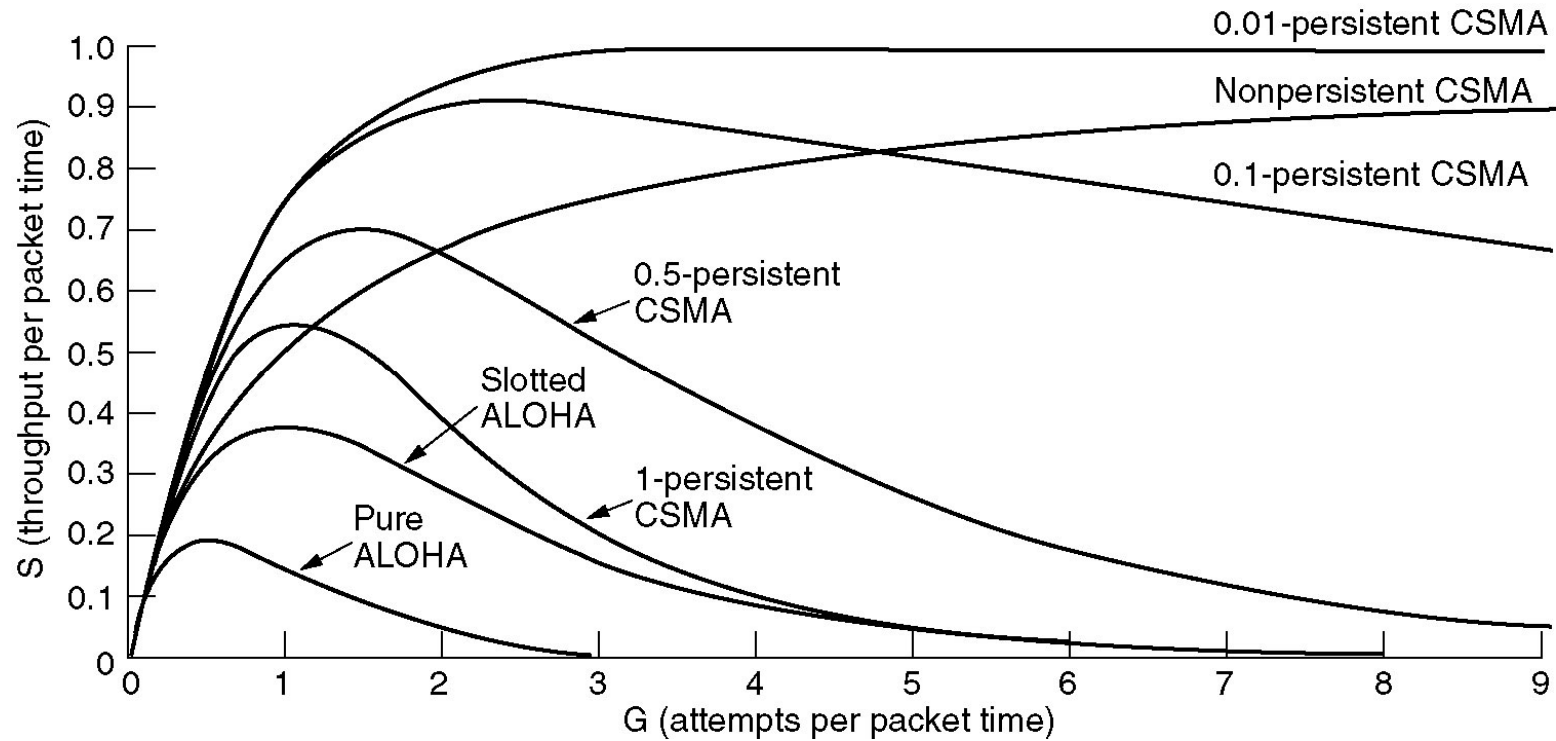
$$S = \frac{G \cdot [1 + G + aG(1 + G + aG/2)] G \cdot \exp[-G(1 + 2a)]}{G \cdot (1 + 2a) - [1 - \exp(-aG)] + (1 + aG) \cdot \exp[-G(1 + a)]}$$

- Throughput slotted-CSMA 1-persistent

$$S = \frac{[1 + a - \exp(-aG)] G \cdot \exp[-G(1 + a)]}{(1 + a)[1 - \exp(-aG)] + a \cdot \exp[-G(1 + a)]}$$

Throughput CSMA

- Throughput comparativ intre variante de Aloha si CSMA



CSMA/CD

- CSMA + detectia coliziunilor

- La CD transmite un semnal de perturbatie *jam* (48 biti) ;

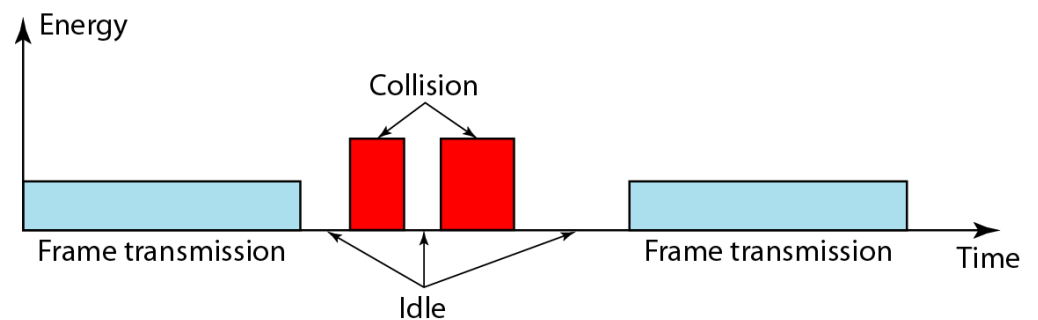
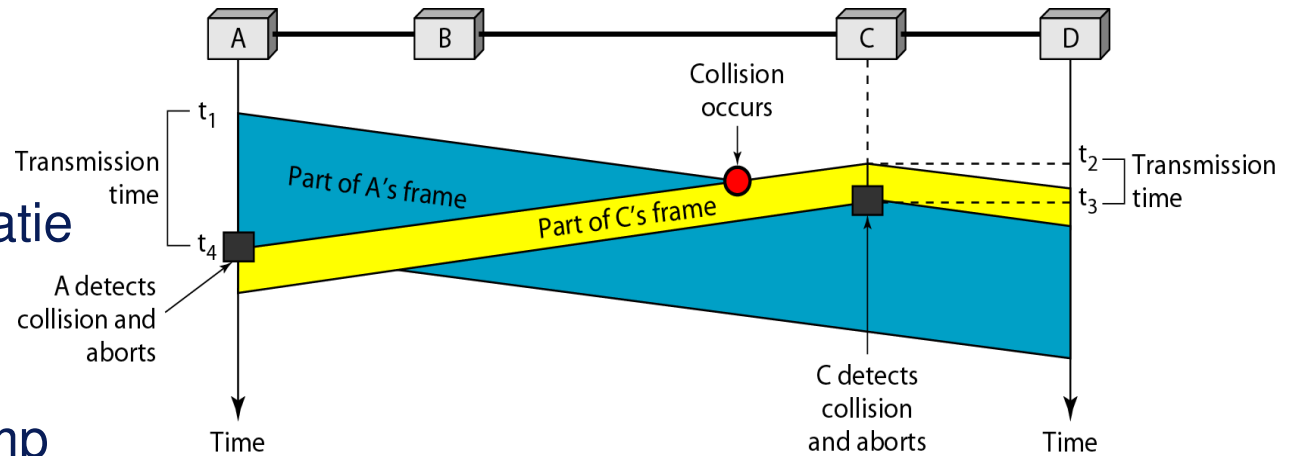
- Fiecare statie reia transmisia dupa un timp dat de algoritmul de backoff;

- Detectia coliziunii : stati asculta in timp ce transmite si detecteaza un semnal mai mare decit cel transmis.

- Durata cadrului (slot) > 2 timpul maxim de propagare

Exp: $t_p = 25.6\mu s$, $D_b = 10Mbps$

$b_{frame} > 512$ biti

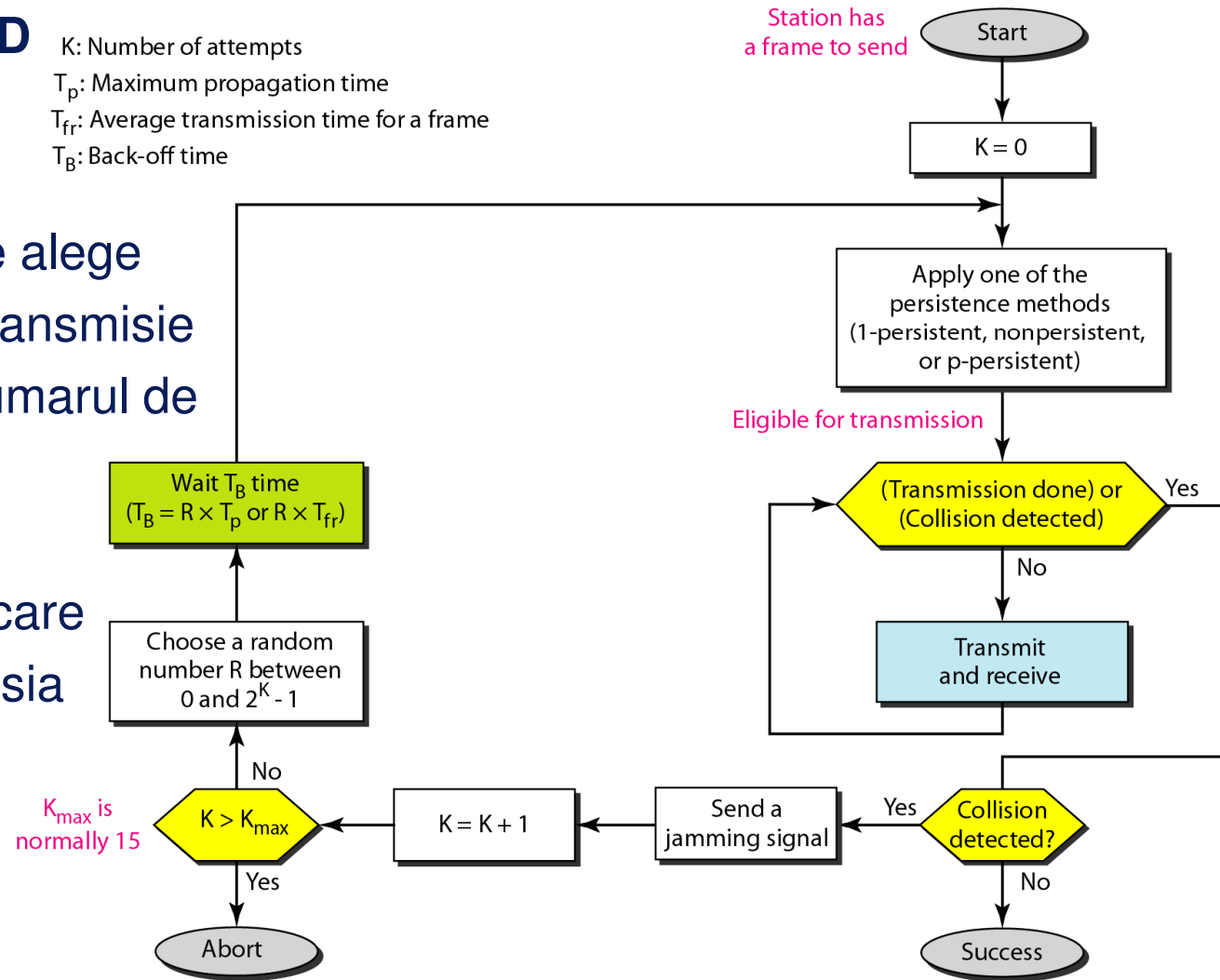


CSMA/CD

Algoritmul CSMA/CD (Algoritmul Backoff)

K: Number of attempts
 T_p : Maximum propagation time
 T_{fr} : Average transmission time for a frame
 T_B : Back-off time

- In cazul coliziunii se alege numarul slotului de transmisie intre 1 si $2^k - 1$, (k – numarul de incercari) , $k_{max} = 10$;
- Numarul maxim de incercari = 16, dupa care se renunta la transmisia cadrului;



Throughput CSMA/CD

Se definesc:

T_{FR} – durata de transmisie a unui cadru;

Tp – timpul maxim de propagare; si raportul $a = Tp / T_{FR}$;

G – traficul total normalat;

S – traficul transmis cu succes (throughput), normalat ;

b_{jam} – lungimea normalata a cadrului de eroare – jamming;

- Throughput CSMA/CD

$$S = \frac{G \cdot \exp(-aG)}{b_{jam}G + 2aG + 2 - (2aG + b_{jam}G - G + 1)\exp(-aG)}$$

- Throughput slotted CSMA/CD

$$S = \frac{aG \cdot \exp(-aG)}{2a + b_{jam} - (b_{jam} + ab_{jam} + a + a^2G - aG)\exp(-aG)}$$

CSMA/CA

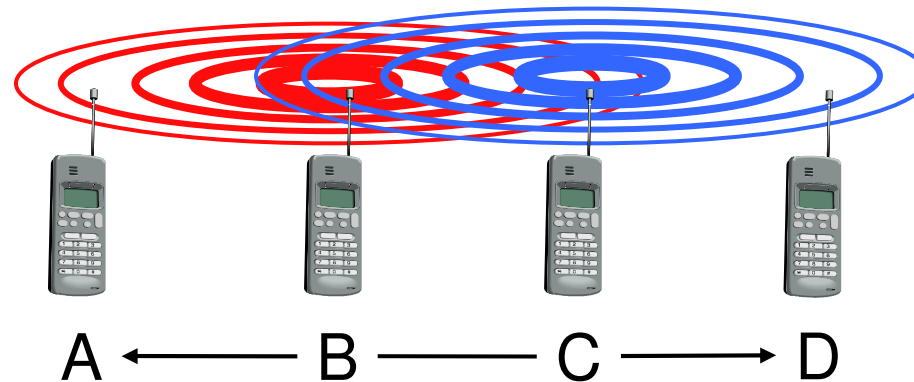
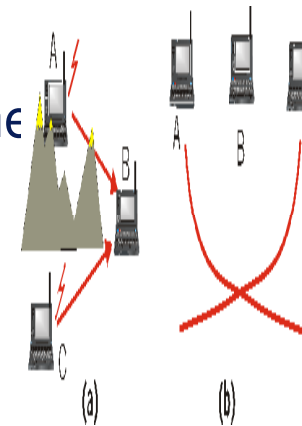
- Limitari ale CSMA/CD in transmisiunile radio

- detectarea coliziunilor nepractica (semnalul receptionat este semnificativ mai mic decit cel transmi, o singura antena);

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

- problema **nodului expus**: B transmite lui A, D nu detecteaza dar C detecteaza, C are de transmis lui D si amina inutil transmisia;

Solutie : **CSMA/CA**;



CSMA/CA

CSMA with Collision Avoidance

- O stație ascultă mediul pe un timp predefinit (DIFS - distributed inter-frame space) pentru a detecta orice activitate;
- Dacă mediul este ocupat sau începe să fie utilizat pe durata DIFS, stația va amâna încercarea de transmisie conform algoritmului backoff exponențial (contorizarea se face doar când mediul este ulterior liber);
- dacă mediul este liber pe tot intervalul DIFS → se începe transmisia:
- Sursa emite o cerere către destinație – un cadru scurt RTS (Request To Send), care conține adresa sursei, a destinației și durata tranzacției care va urma (incluzând datele și ACK);
- Stația destinație răspunde (dacă mediul este liber) cu un cadru de control scurt – CTS (Clear to Send), cu aceleași informații ca și RTS;
- Toate celelalte stații care recepționează RTS și/sau CTS își setează indicatorul de purtătoare virtuală – NAV (Network Allocation Vector) la durata tranzacției → mediul este ocupat pe acest interval;

-

CSMA/CA

- Pe durata NAV celelalte stații nu vor încerca să transmită → se reduce probabilitatea coliziunilor;
- Receptorul îl verifică (CRC) și îl confirmă emițătorului → trimite (ACK);
- Dacă emițătorul primește ACK → înmormiere completă, fără coliziune;
- Dacă emițătorul nu primește confirmarea → a avut loc o coliziune și va încerca retransmisia cadrului după aplicarea algoritmului backoff exponențial;

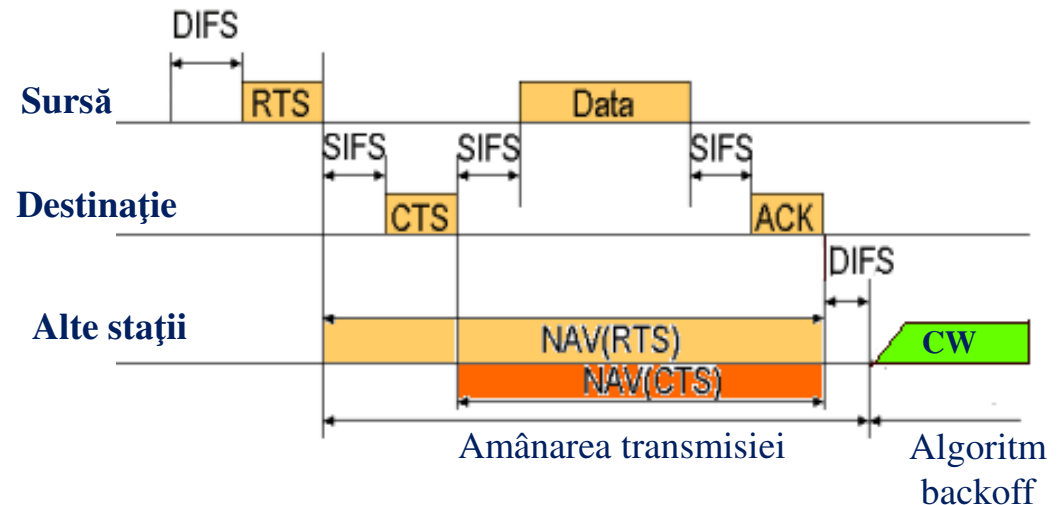
DIFS - Distributed inter-frame deferral

SIFS - Short inter-frame deferral

(SIFS < DIFS)

CW - Contention Window

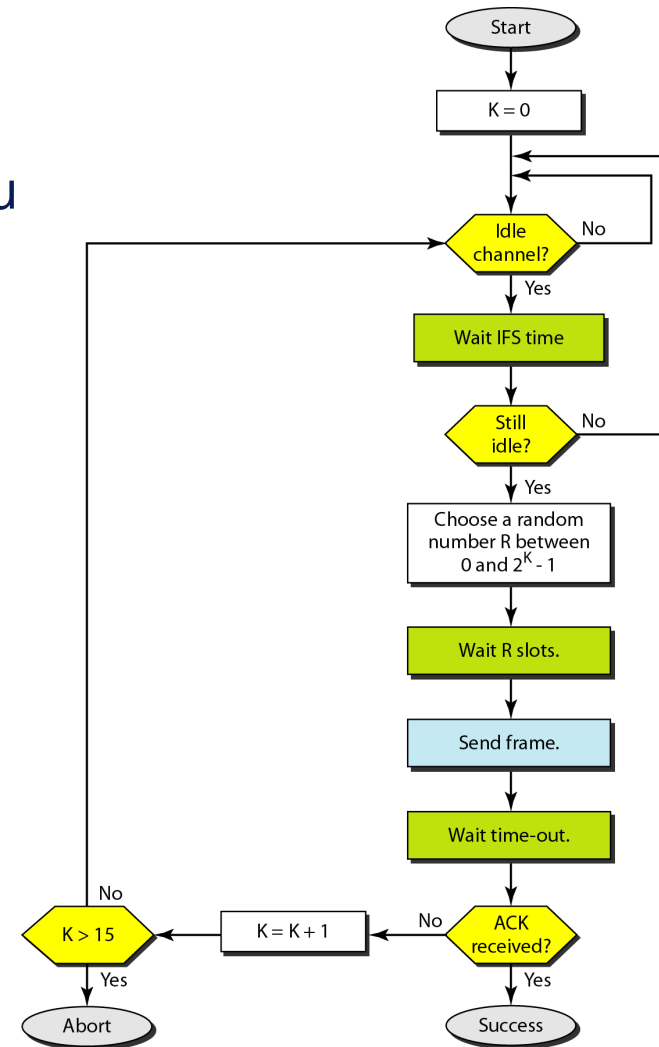
NAV - Network Allocation Vector



CSMA/CA

Organigrama algoritmului CSMA/CA

- Mecanismul functioneaza eficient pentru putine statii in retea;

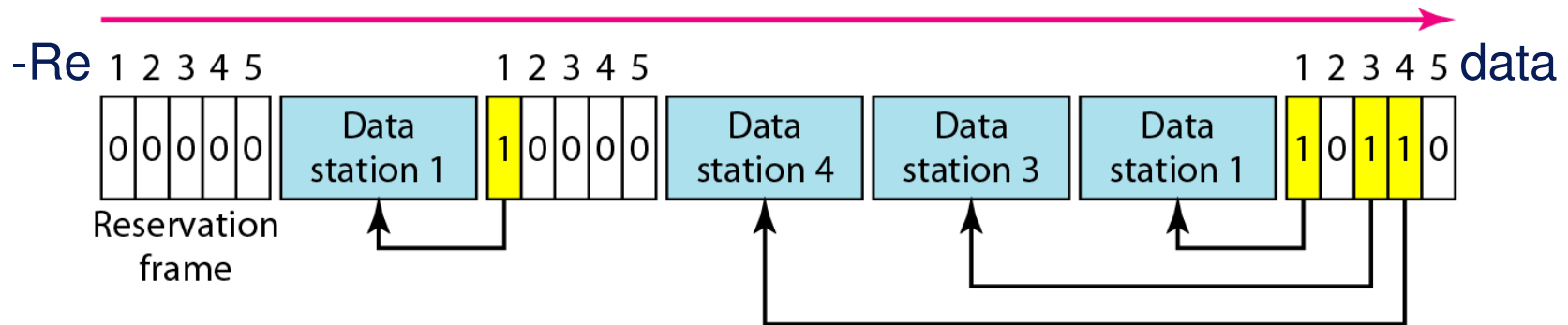


Acces control coordonat

- Statiile se consulta intre ele pentru a determina care are dreptul sa transmita;
- O statie nu poate transmite daca nu a fost autorizata de celelalte statii (sau de dispecer)
- Exista trei metode tipice de acces controlat:
 - cu rezervare
 - Polling
 - cu jeton (Token Passing)

Acces cu rezervare

- Transmisia este organizata in cicluri de dimensiuni variabile;
- Fiecare cilcu incepe cu un cadru de rezervare, care are un numar de sloturi egal cu numarul de statii;
- Cind o statie are de transmis un cadru de date, trebuie sa faca o rezervare (slotul corespunzator din cadrul de rezervare);
- Orice statie care asculta intervalul de rezervare stie ce statii transmista si in ce ordine

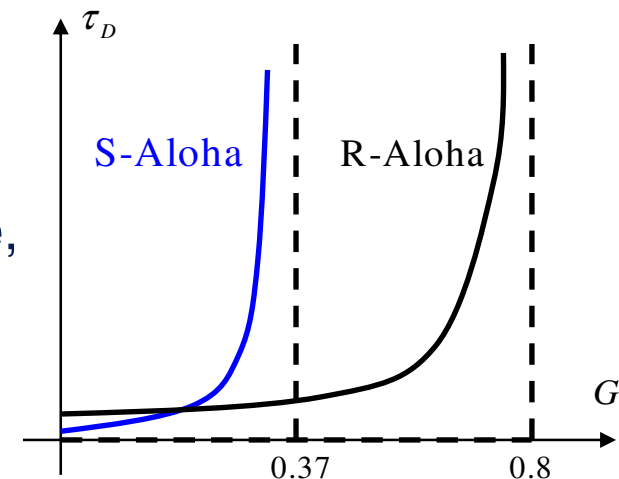


Acces cu rezervare

Exemplu R-Aloha

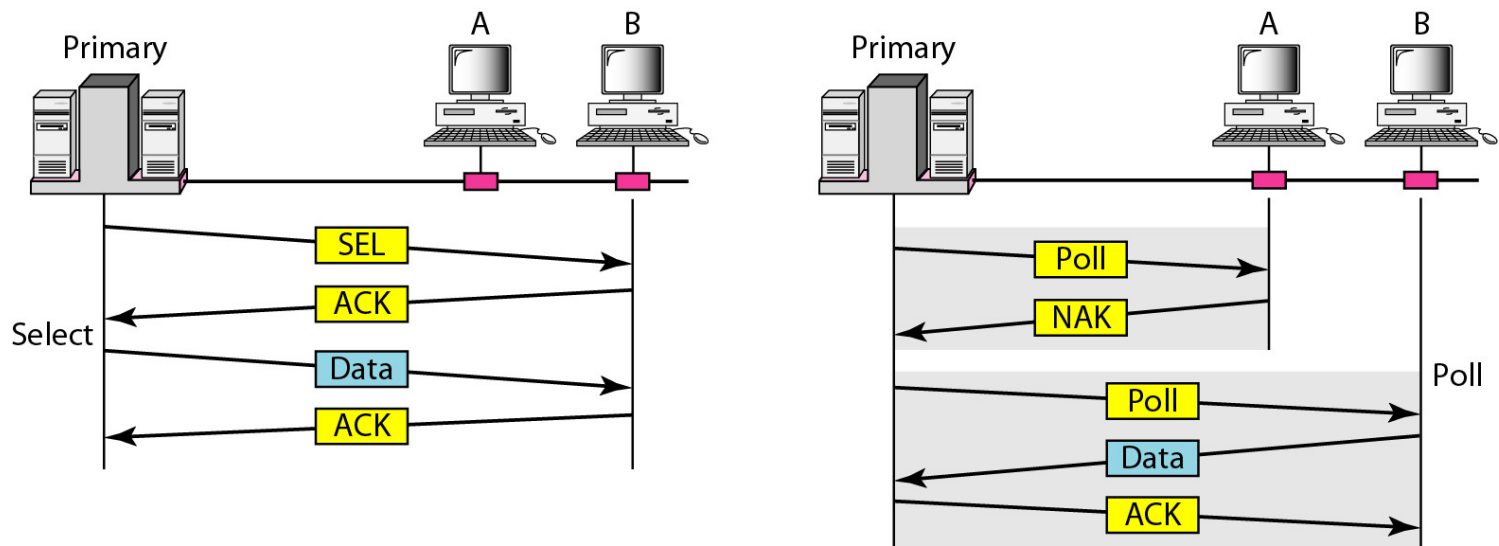
- In modul rezervare: ciclul temporal este divizat in $M+1$ sloturi, M pentru cadre de date si ultimul este impartit in M sub-sloturi pentru rezervarea celor M de date.
- In modul pasiv exista un cadru unic impartit in subsloturi in care statiile cer permisiunea. Apoi asteapta mesajul ACK, continind si numarul de si pozitia sloturilor alcate pentru transmsia datelor;

Comparatie a timpului de intirziere la transmisia unui cadru τ_D in functie de incarcare, pentru S-Aloha si R-Aloha;



Acces cu polling

- Statiilor li se permite pe rand accesul la mediu;
- Tipuri de polling: centralizat si distribuit;
- Polling centralizat: una dintre statii este desemnata *statie principala*, iar celelalte *statii secundare*;
- Se utilizeaza confirmari pozitive (ACK) si negative (NAK)
- Toate datele se transmit prin intermediul statiei primare;



Acces cu polling

- Statia primara are de transmis cadru de date → transmite un cadru *select* cu adresa destinatarului; dupa primirea ACK (statia secundara poate accepta datele) transmite cadrul de date;
- Transmisia cadrului de date incheiata daca se primeste ACK;
- Statia primara este gata sa primeasca date, trimite un cadru *poll* pe rind (Round-Robin, sau dupa alta ordine) statiilor secundare; acestea raspund cu cardul de date (daca exista) sau cu NAK;
- Fiecare cadru de date trebuie confirmat cu ACK de statia primara;

Avantaje: se elimina posibilitatea ca o statie sa *acapareze* mediul (se garanteaza accesul tuturor statiilor la mediu);

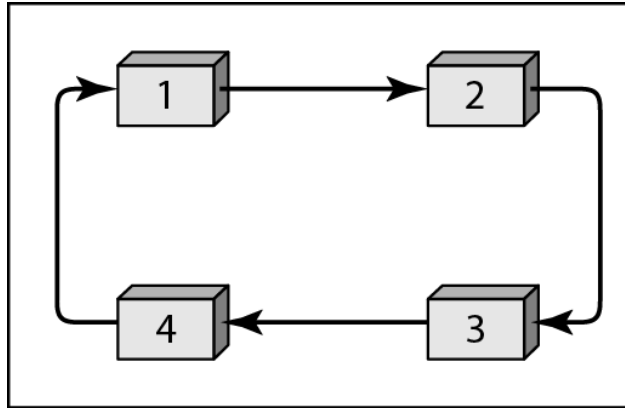
Dejavantaje: - ineficienta *polling* catre statii care nu au de transmis;
- incarcarea statiei primare;

Acces cu jeton (token)

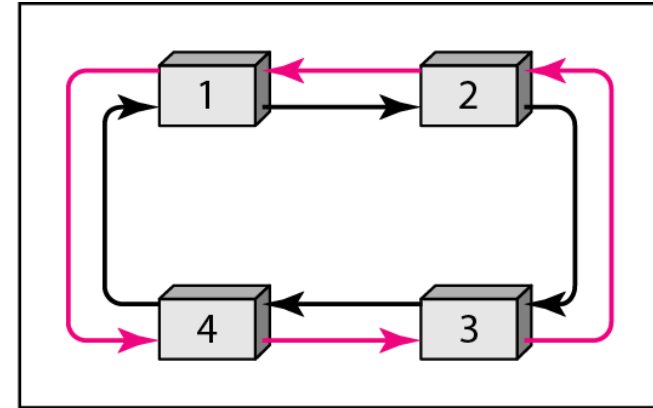
- Accesul cu jeton – statiile din retea sunt organizate intr-un inel logic: fiecare isi cunoaste predecesorul si succesorul;
- Jetonul – da dreptul statiei de a avea acces la mediu; necesit amangement;
- Intr-o topologie fizica de inel – statiile dau jetonul succesoriului;
- In topologia de inel dublu – se utilizeaza un al doilea inel care opereaza in sens invers;
- Se poate utiliza si in topologii fizice de bus sau stea

Acces cu jeton (token)

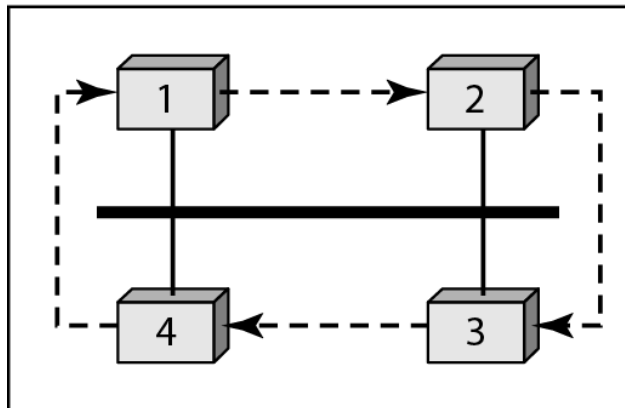
Topologii
fizice
pentru
accesul
cu jeton



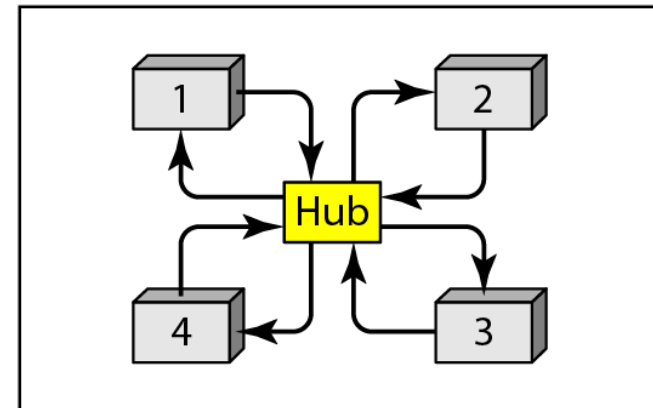
a. Physical ring



b. Dual ring



c. Bus ring



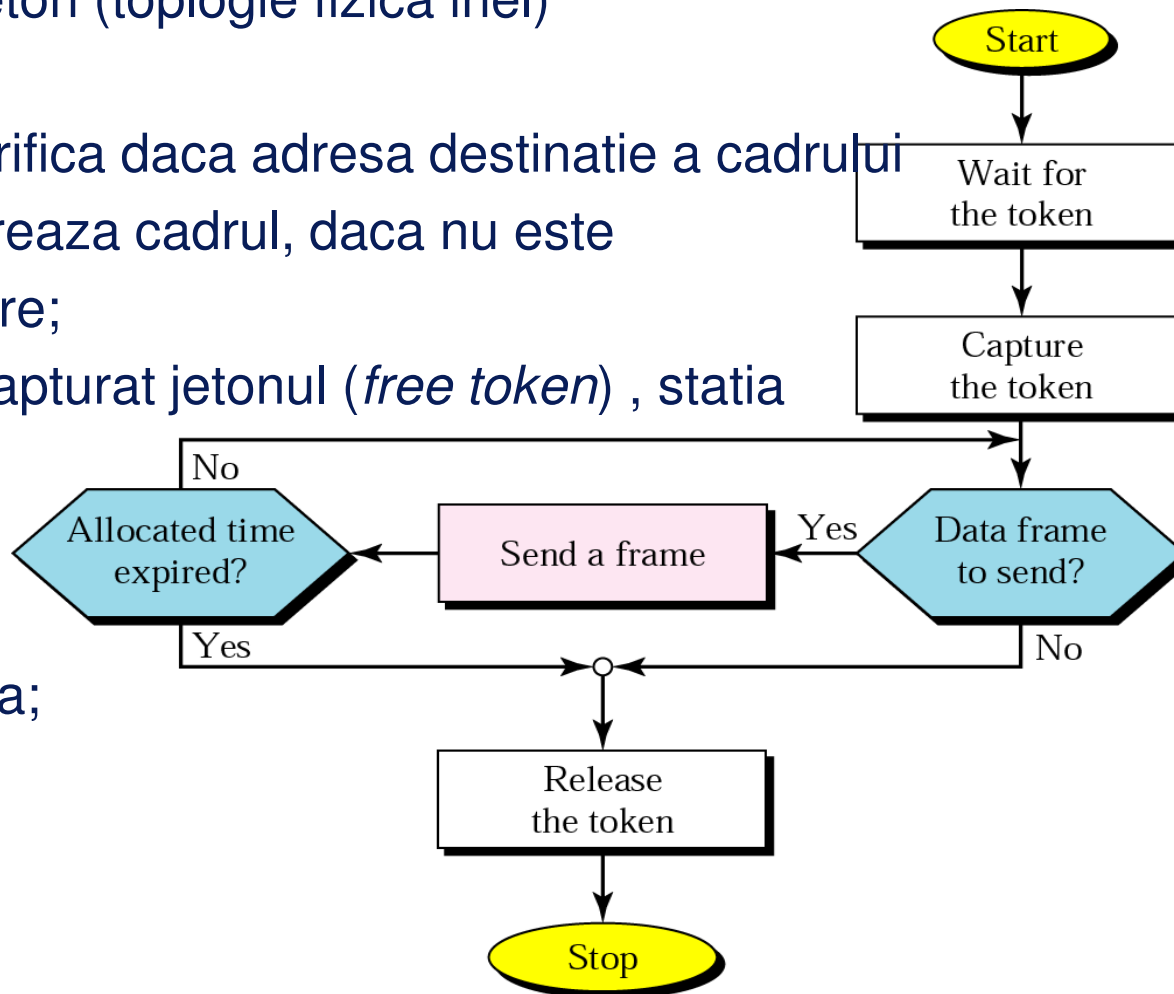
d. Star ring

Acces cu jeton (token)

Procedura accesului cu jeton (topologie fizica inel)

Moduri ale statiei:

- Ascultare: statia verifica daca adresa destinatie a cadrului este ai ei, daca da prelucreaza cadrul, daca nu este retransmis cu 1 bit intirziere;
- Transmisie: dupa ce a capturat jetonul (*free token*) , statia transmite cadrele de date si le elimina dupa ce au parcurs bucla, iar la sfirsit reintroduce jetonul in retea;



TDMA

- Utilizatori diferiti utilizeaza diferite sloturi temporale din acelasi canal radio + interval de garda -> asigurarea ortogonalitatii;
- Se poate aplica doar transmisiunilor digitale in banda de baza sau modulate cu purtatoare sinusoidala