

# **PRINCIPIUL SISTEMELOR DE COMUNICAȚII CU SPECTRU DISTRIBUIT (DISPERSAT)**

**CURS 7 SC**



1. Ce înseamnă noțiunea de spectru distribuit?
2. Proprietățile spectrului distribuit
3. Spectrul distribuit cu secvență directă
4. Spectrul distribuit cu salt în frecvență



# Noțiunea de spectru distribuit

- Modulația/propagarea/transmisia cu spectru distribuit se referă la un proces în care spectrul unui mesaj se distribuie pe o banda de frecvență de 20 până la 1000 de ori mai mare decât banda semnalului original
- Conform unor surse această tehnica a fost aplicată prima dată de binecunoscutul cercetător Nikola Tesla în jurul anilor 1900 pentru securizarea semnalelor de telecomandă a unui submarin
- Alte surse susțin că noțiunea de spectru împrăștiat a fost inventată de către o actriță americană Hedy Lamarr și asociatul său George Antheil în 1941, pentru a face mai sigură ghidarea torpilelor prin unde radio



# Noțiunea de spectru distribuit

- Se pare că invenția a fost “dată uitării” până în anii 1962, când armata SUA a folosit această tehnică pentru a securiza comunicațiile între navele militare (bineînțeles după ce a expirat brevetul celor care l-au inventat)
- Până în 1981 metoda a fost folosită exclusiv în aplicații militare
- Astăzi se folosește în sistemele de navigație(GPS, GLONASS), telefonie mobilă(CMDA), radare și rețele de calculatoare wireless.



# Proprietățile spectrului distribuit

## 1. Probabilitatea mică de interceptare(PMI)

- Densitatea spectrală de putere a semnalului emis este redusă până la un prag, sub care pentru un dispozitiv care nu cunoaște secvența de distribuire este greu să detecteze existența unei transmisiuni
- Această proprietate prezintă interes în special pentru aplicațiile militare dar și în unele tipuri de comunicații civile unde se dorește protecția emisiei la accesările neautorizate



# Proprietățile spectrului distribuit

## 2. Securitate / Probabilitate mică de decodare

- În plus față de distanța mică de detectare la care un “ascultător” neautorizat ar putea intercepta o transmisie, procesul de distribuire în sine adaugă securitate.
- Un dispozitiv care dorește să recepționeze trebuie să cunoască secvența la recepție și sincronizarea, pentru a fi capabil să găsească transmisia.
- În esență această metodă este o formă de criptare



# Proprietățile spectrului distribuit

## 3. Imunitatea la interferențe / Rezistența la bruiaj

-Neplăcerile cauzate de un semnal de interferență, intenționat (bruiaj) sau neintenționat (interferență) sunt reduse, spectrul de putere de interferență fiind împrăștiat și astfel redus.

## 4. Transmiterea discretă a puterilor mari de emisie

-Spectrul împrăștiat dă posibilitatea transmiterii semnalelor de putere mare pe purtătoare cu densitate spectrală de putere mică evitându-se astfel bruiajul tuturor aparatelor radio din jur. (De exemplu în cazul radarelor cu putere mare de emisie)



# Proprietățile spectrului distribuit

## 5. Rejecția multicale

-Semnalul radio urmând căi de lungime diferită, la receptor pe lângă semnalul util pot apărea și replici ale acestuia întârziate în timp. Spectrul distribuit presupune o rată de bit mai mare decât cea a semnalului original și astfel biții numiți și *chips* sunt mai scurți ca și durată decât biții mesajului. Dacă timpul de întârziere dintre unda directă și cea reflectată este mai mare decât durata unui chip nu mai există corelație între codul recepționat și codul local al receptorului. Spectrul semnalului reflectat este împrăștiat și apare ca un spectru cu densitate de putere scăzută.

-Această proprietate poate fi folosită la recepția semnalelor sateliților unde unda directă este recepționată aproape în același timp cu unda reflectată de pe obiectele din imediata apropiere a receptorului.



# Tipuri de spectru distribuit

Există două tipuri de bază de spectru împrăștiat:

- Primul tip utilizează o secvență directă rapidă, un cod pseudo-aleator, care împrăștie spectrul semnalului original
- Spectru distribuit cu salt de frecvență

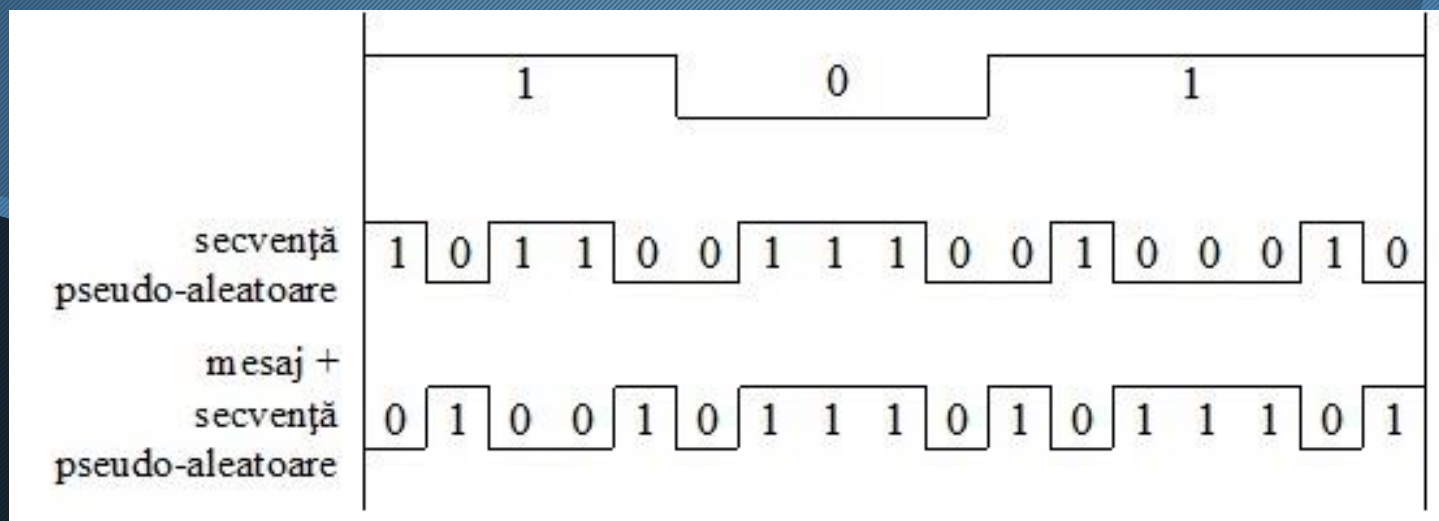
Mai există și combinația celor două tipuri(hibrid), în care semnalul este mai întâi împrăștiat de către secvență directă, apoi se produce saltul în frecvență, pentru împrăștiere, mai departe a semnalului.



# Spectrul distribuit cu secvență directă

## DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

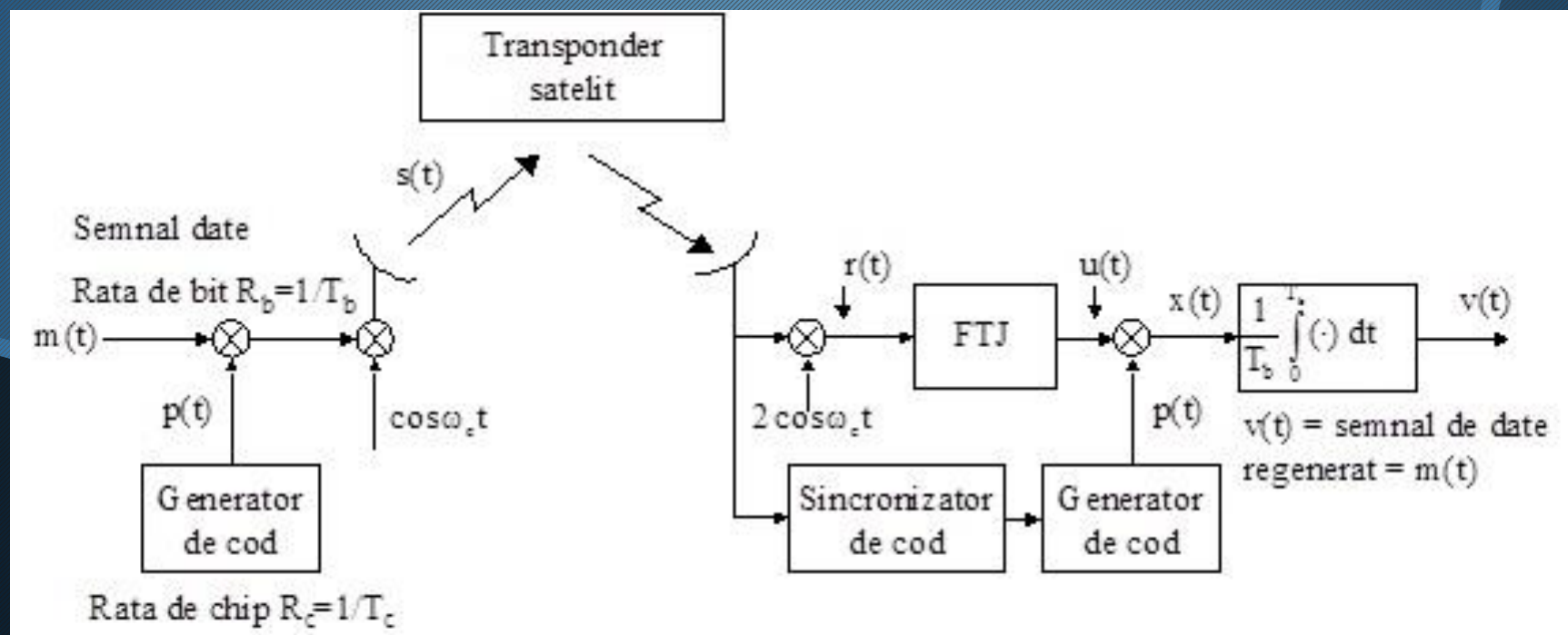
În DSSS, un mesaj digital  $m(t)$  se combină modulo-2 cu un cod pseudoaleator  $p(t)$  în care rata de chip este mai mare decât cea a mesajului original.





# Spectrul distribuit cu secvență directă

Schema bloc a unui sistem de comunicație prin satelit cu DSSS:





## Spectrul distribuit cu secvență directă

- Mesajul original  $m(t)$  este feliat(cu rata de chip) rezultând un șir de date cu lărgimea de bandă mai mare (egală cu cea a secvenței pseudo-aleatoare).
- După ce s-a adunat codul, semnalul este convertit la frecvența purtătoarei rezultând:

$$s(t) = m(t) \cdot p(t) \cdot \cos \omega_c t$$

- La recepție semnalul este demodulat coerent(în fază) prin multiplicarea semnalului recepționat cu o replică a purtătoarei. Semnalul  $r(t)$  de la ieșirea filtrului trece-jos este:

$$r(t) = m(t) \cdot p(t) \cdot \cos \omega_c t (2 \cos \omega_c t) = m(t) \cdot p(t) + m(t) \cdot p(t) \cdot \cos 2 \omega_c t$$



## Spectrul distribuit cu secvență directă

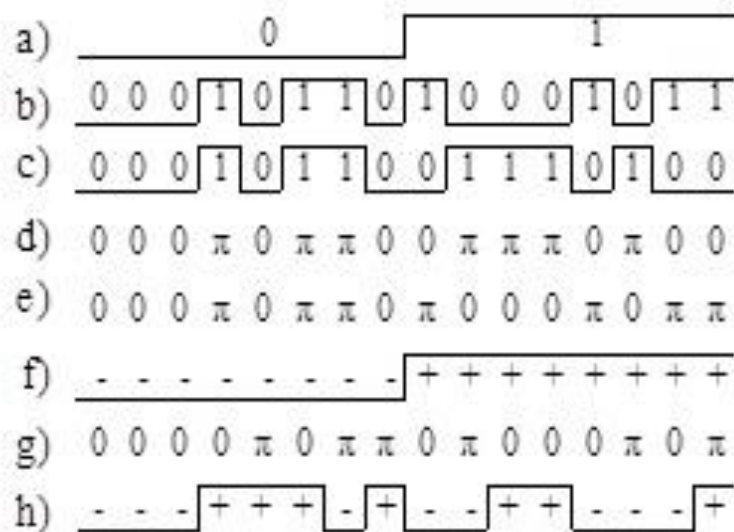
FTJ elimină componentele de frecvență înaltă și reține doar componenta de joasă frecvență  $u(t)=m(t)p(t)$ . Această componentă este apoi multiplicată cu codul local  $p(t)$ , în fază cu codul recepționat.  $p(t)p(t)$  fiind egal cu 1, la ieșire rezultă:

$$x(t) = m(t)p(t)p(t) = m(t)$$

Semnalul este apoi integrat pe durata unui bit, pentru a filtra zgomotul. Mesajul inițial este reconstituit la ieșirea integratorului.



# Spectrul distribuit cu secvență directă



mesaj

secvență pseudo-aleatoare

mesaj + secvență pseudo-aleatoare

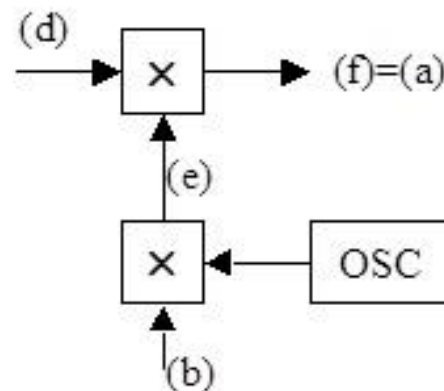
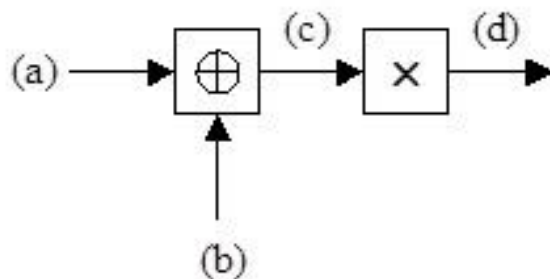
faza purtătoarei

faza oscilatorului receptorului

purtătoarea  $\times$  oscilator receptor (faza)

faza oscilator receptor, deplasată cu un slot

purtătoarea  $\times$  faza mutata a oscilatorului





## Spectrul distribuit cu secvență directă

- Pe baza celor 2 figuri de mai sus, considerăm o parte dintr-un mesaj digital (a) și un cod pseudo-aleator mai rapid (b)
- Suma modulo-2 ,  $(a) \oplus (b) = (c)$  se folosește pentru modularea unei purtătoare sinusoidale, utilizând modulația BPSK (În acest sistem 1 și 0 sunt reprezentate de aceeași purtătoare dar cu fază opusă)
- Faza purtătoarei modulate, relativ la o undă nemodulată este dată de  $(d) =$  unda modulată care se transmite
- În receptor o purtătoare similară este modulată PSK de către același cod pseudo-aleator ca cea de la emisie  $\Rightarrow (e)$  care se sincronizează cu unda care sosește de la emițător. Dacă cele două sunt în fază ieșirea este unu, dacă sunt în antifază ieșirea va fi -1. Rezultă (f) care este mesajul reconstituit.



# Spectrul distribuit cu secvență directă

- Factorul de împrăștiere (câștig de procesare) - mărimea caracteristică împrăștierii semnalului și reprezintă numărul de chips per bit:

$$10\log(\text{numărul de chips/bit})$$

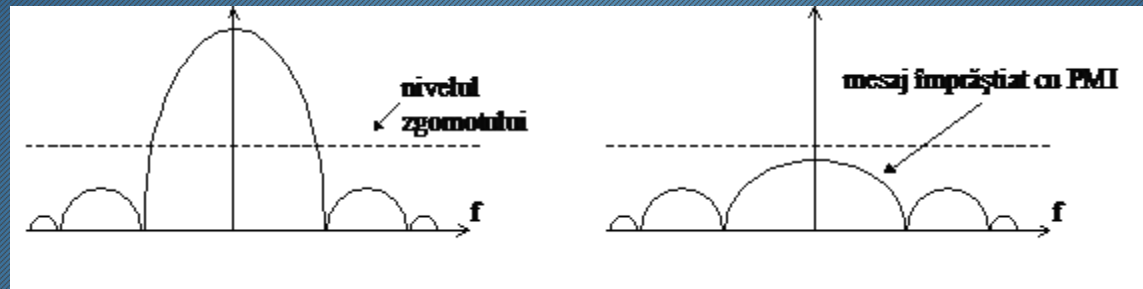
$$10\log[\text{rata de bit a codului} / \text{rata de bit a mesajului}] [\text{dB}]$$

- Mărimea benzii de frecvență transmise este produsul dintre banda mesajului și factorul de împrăștiere.

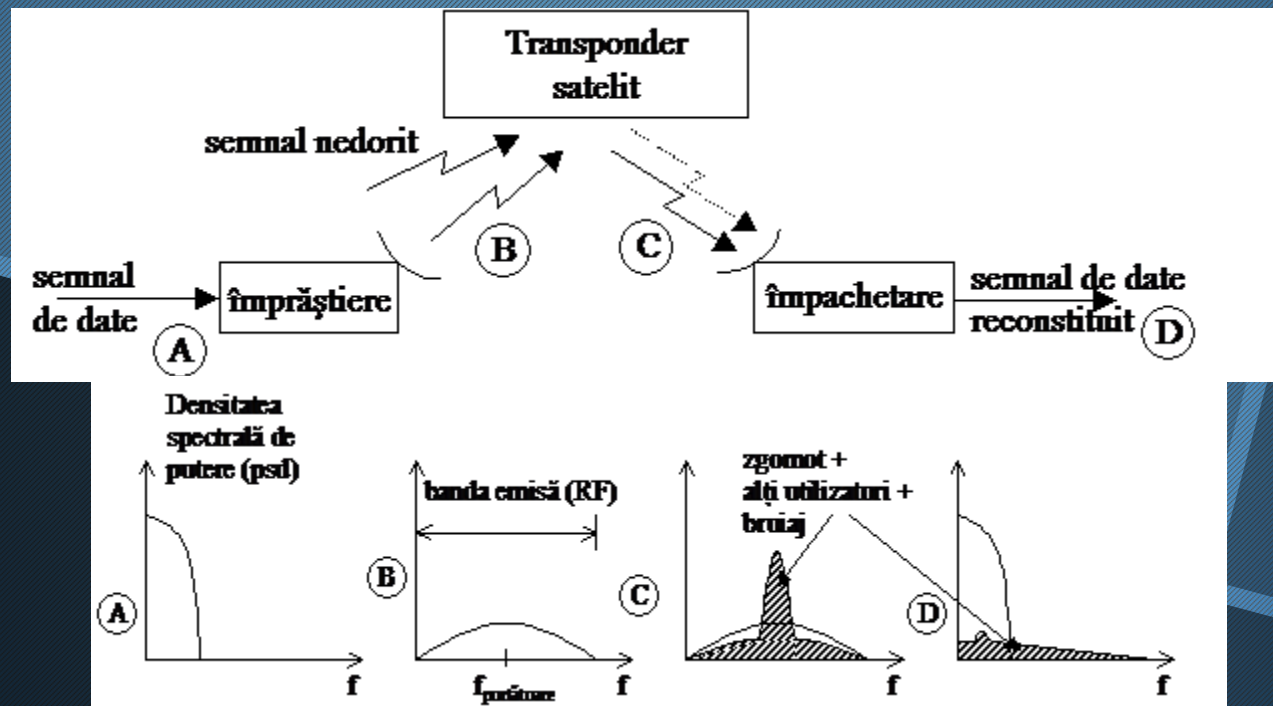


# Spectrul distribuit cu secvență directă

- Dacă se dorește îndeplinirea PMI, densitatea spectrală de putere ar trebui redusă pe cât se poate (sub zgomotul ambiental)



- Anti-bruiaj / suprimarea interferențelor





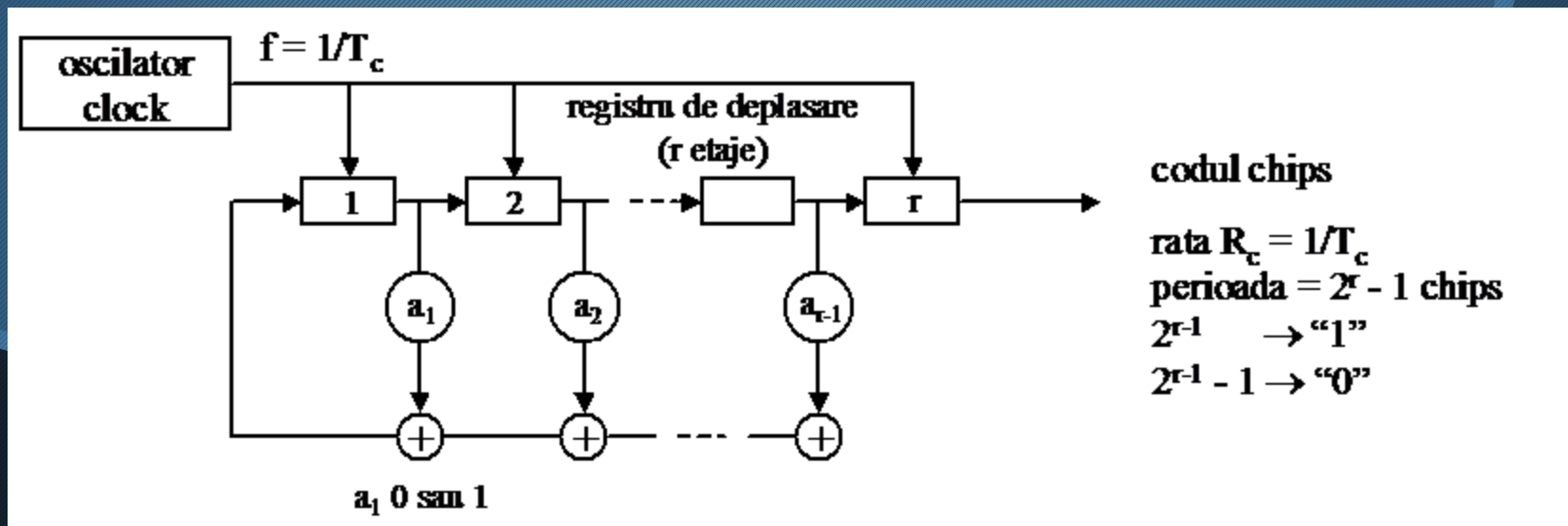
# Spectrul distribuit cu secvență directă

- Codul receptorului împachetează mesajul și îl aduce în lărgimea de bandă a mesajului inițial, dar împrăștie interferența în acord cu raportul de împrăștiere. Raportul de împrăștiere este, deci, raportul anti-bruiaj obținut sau câștigul de procesare reprezintă îmbunătățirea raportului semnal util / interferență



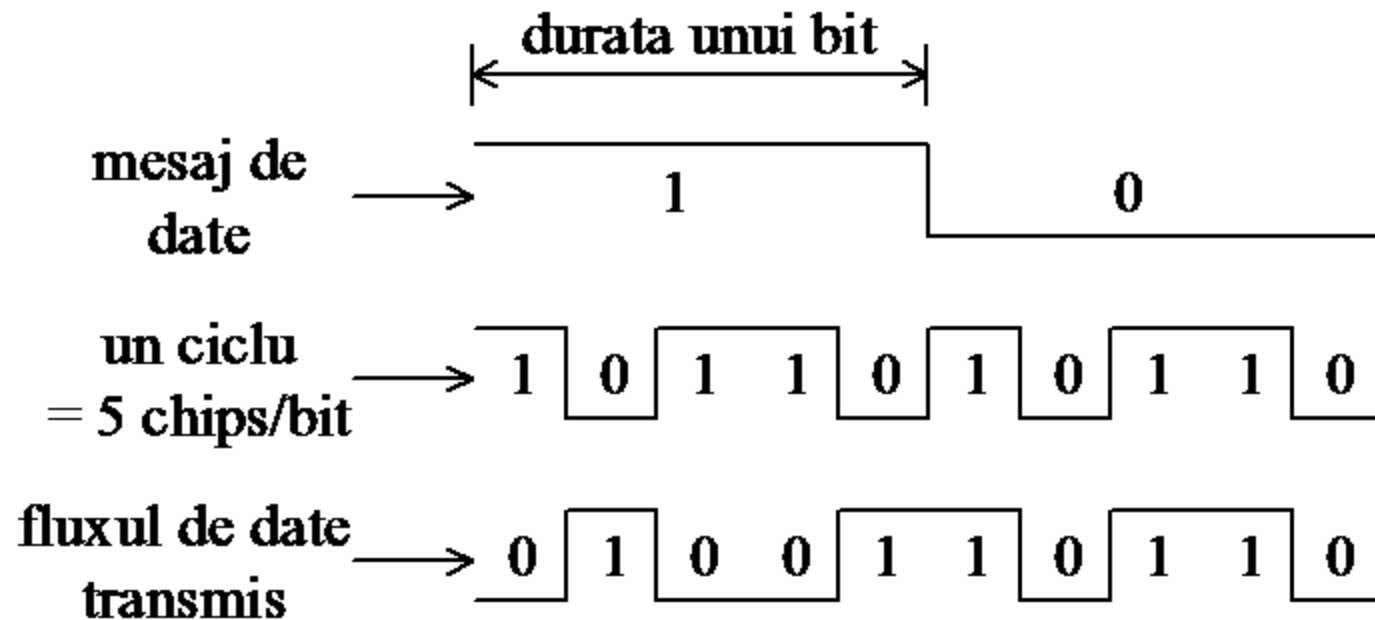
# Spectrul distribuit cu secvență directă

- Codul pseudo – aleator reprezintă o secvență pseudo-aleatoare generată de un registru de deplasare cu reacție inversă. Secvența de ieșire se repetă la fiecare  $2^r - 1$  chips, unde  $r$  reprezintă numărul de etaje ale registrului de deplasare.



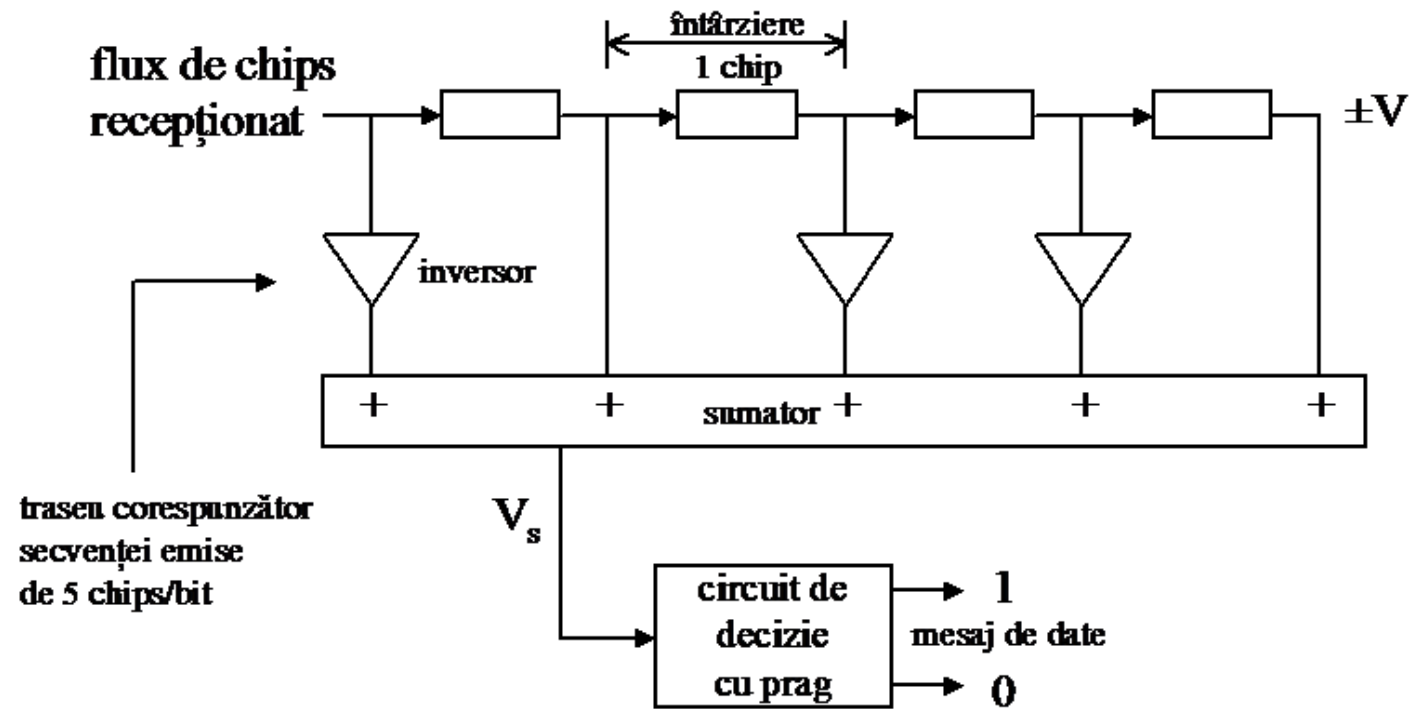


# Spectrul distribuit cu secvență directă

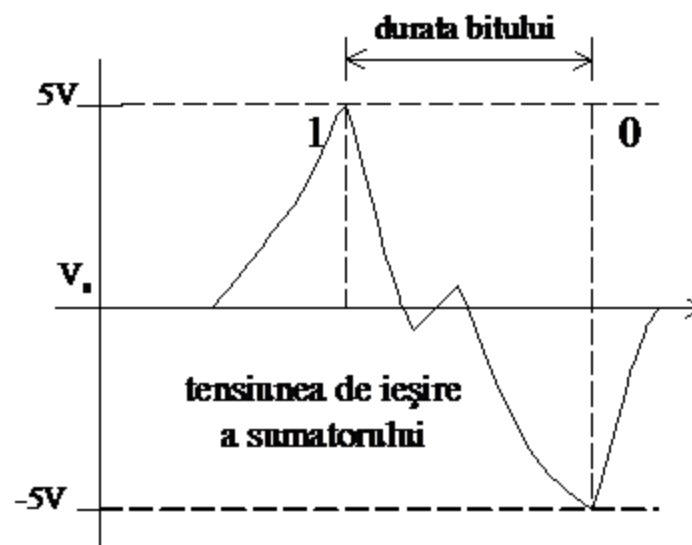


**CODAREA**





## DECODAREA





# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

Spectrul unui mesaj care sare rapid de la o frecvență la alta utilizează efectiv o lărgime de bandă mai mare decât cea a mesajului original, deci, saltul în frecvență poate fi considerat o formă de transmisie cu spectru împrăștiat. Rata de salt utilizată în practică variază de la câteva salturi / secundă până la câteva mii de salturi / secundă.

Mesajul binar  $m(t)$  se transmite cu rata  $R_b = 1/T_b$  și este codat NRZ (Non Return to Zero). El modulează o purtătoare de frecvență generată de un sintetizator PLL controlat de un generator de cod pseudo-aleator, ce lucrează la rata de chip  $R_c$ . Semnalul emis este

$$s(t) = m(t)\cos\omega_c(t)t$$



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## Factorul de împrăștiere

Banda totală a sistemului cu salt în frecvență este  
$$\text{banda mesajului} \times \text{numărul de canale}$$

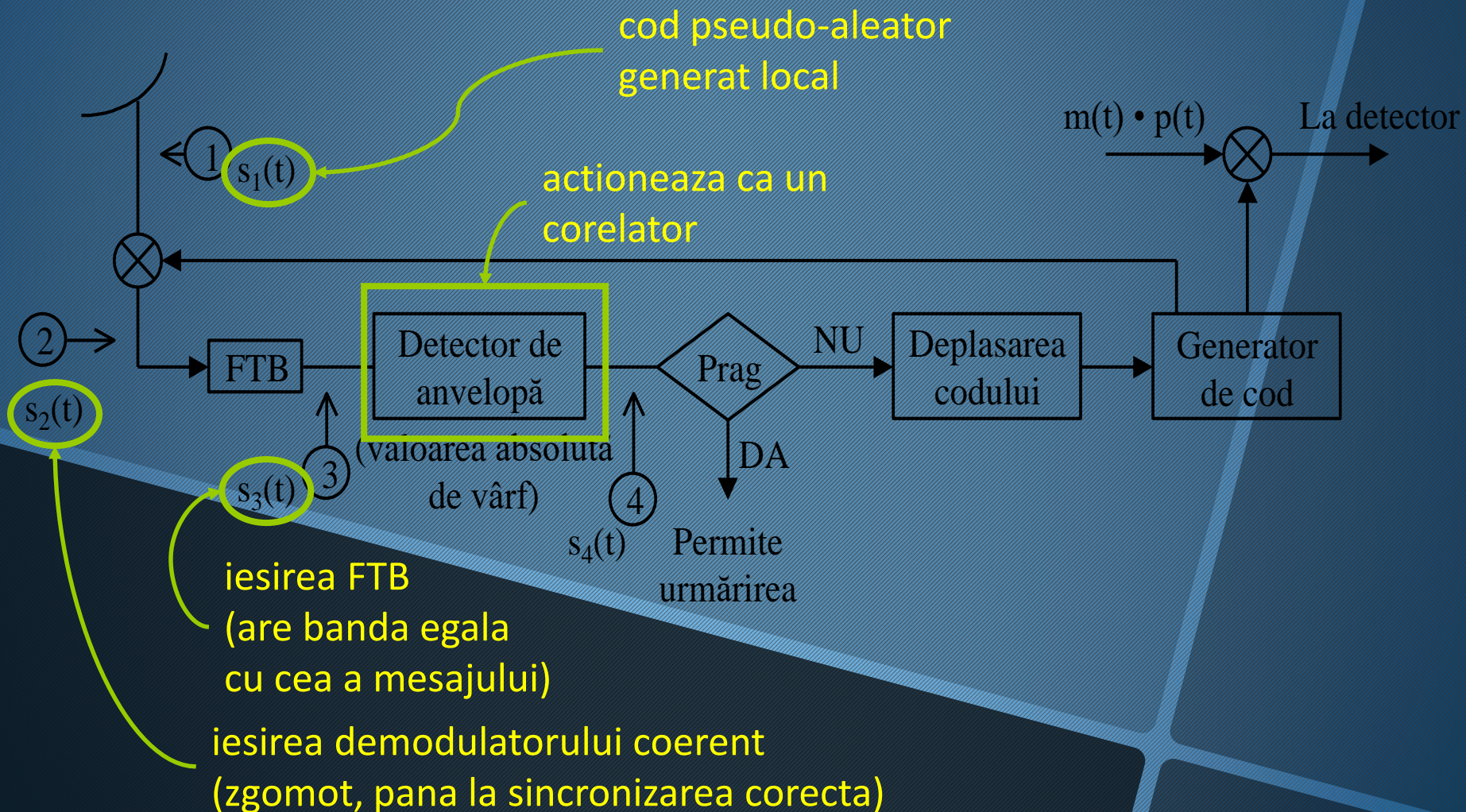
Aceasta presupune că există suficient spațiu de gardă în canalul mesajului, pentru a evita interferența dintre canalele adiacente. Acest lucru devine important când se operează în prezența altor sisteme cu salt în frecvență.

## Sincronizarea

Sincronizarea generatorului de secvență pseudo-aleatoare din receptor cu fluxul de date pseudo-aleatoare sosite este esențială pentru recuperarea mesajului original. Sincronizarea constă în 2 etape: achiziția secvenței și urmărirea.



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență





# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

În esență, se face o estimare (ghicire) a punctului atins în secvența de cod pseudo-aleatoare. Secvența receptorului este setată după această poziție estimată. Estimarea punctului atins de secvența pseudo-aleatoare se face din cunoașterea duratei în care codul a funcționat.

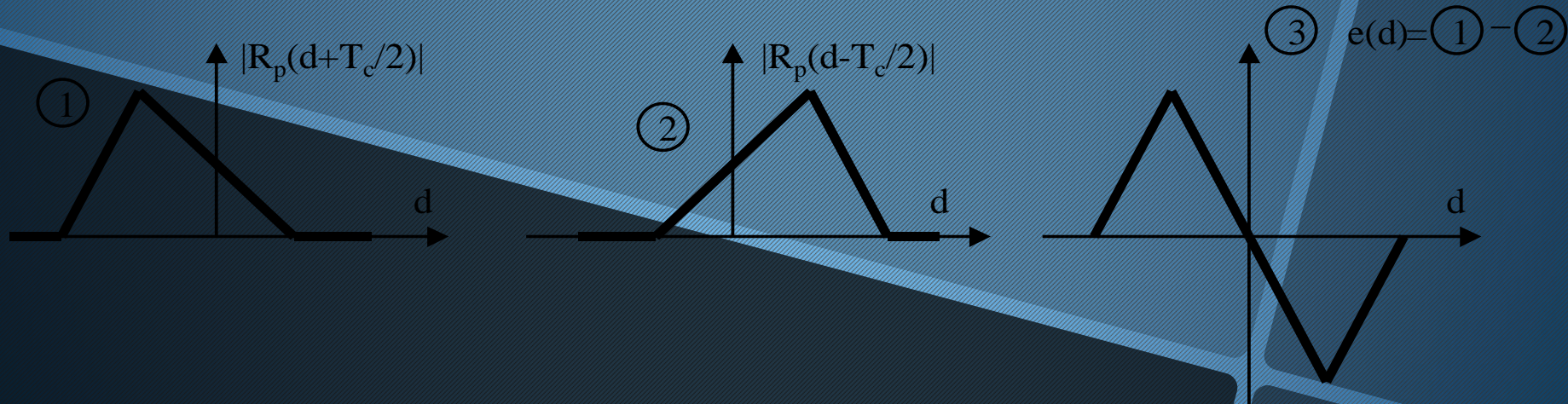
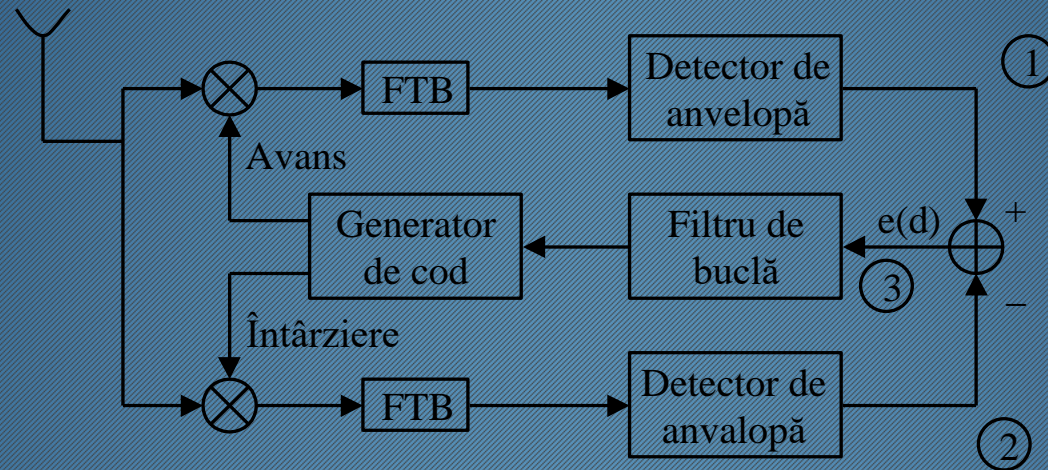
Receptorul acum încearcă să decodeze fluxul de date de intrare și presupunând că nu este poziționat în punctul corect, la ieșirea receptorului va fi zgomot.

Secvența receptorului va fi avansată bit cu bit până când valoarea de la ieșirea receptorului se ridică peste zgomot și peste un anumit prag setat. Receptorul ar trebui să fie în punctul corect al secvenței, totuși posibil nesincronizat exact pe mijlocul fiecărui bit din fluxul de date. Acest lucru intră în responsabilitatea circuitului de urmărire.



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## Circuitul de urmărire a secvenței





# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## Circuitul de urmărire a secvenței

După ce s-a obținut sincronizarea brută, este problema circuitului de urmărire să găsească punctul de mijloc al fiecarui bit din mesajul de date recepționat și să mențină corect fluxul de date (figura următoare).

Codul pseudo-aleator generat local se divide pe 2 căi, una dintre ele fiind în față cu  $\frac{1}{2}$  bit, iar cealaltă întârziată cu  $\frac{1}{2}$  bit.

Dacă secvența pseudo-aleatoare este centrată pe fluxul de date recepționat, atunci ieșirile celor 2 căi sunt egale. Căile se însumează, iar ieșirea se utilizează ca reacție pentru avansarea sau întârzierea fluxului de date. Dacă ieșirea este 0, nu există deplasare a fluxului de date. Când ieșirea sumatorului este diferită de 0 se face deplasarea potrivită  $\pm$ .



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## Metoda hibridă cu spectru distribuit

Pentru a crește factorul de împrăștiere se folosește o metodă hibridă, care combină DSSS cu FHSS.

Mărimea spectrului împrăștiat care poate fi obținută prin DS sau FH singure este limitată de rata la care poate fi generată secvența. Ca o consecință, pentru creșterea împrăștierii trebuie combinate cele 2 metode. Întâi se utilizează un cod DS pseudo-aleator, apoi se adaugă secvența de salt.

$$\text{Factorul total} = \text{Factorul de împrăștiere DS} \times \text{Factorul de împrăștiere FH}$$

În **CDMA** (Code Division Multiple Access), mesajele sunt transmise în aceeași bandă, în același timp. Separarea se obține prin “imprimarea” mesajelor pe secvențele pseudo-aleatoare. Fiecare mesaj este combinat cu o secvență proprie, orice 2 secvențe având corelație încrucișată 0, ideal, dar practic cât mai mică posibil.



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

## Eficiența spectrală


Se definește  $\Gamma$  ca raportul dintre capacitatea  $R_c$  (bit/sec) a unei purtătoare și banda ocupată  $B$  (Hz)

$$\Gamma_{\text{PSK}} \cong 0,8 ; \Gamma_{\text{QPSK}} \cong 1,6 ; \Gamma_{\text{CDMA}} \cong 0,1$$

## Numărul maxim de accesări

Considerăm cazul unui sistem DS-CDMA în care toate  $N$  purtătoarele au puterea egală  $C$ .

- Rata informației  $\Rightarrow R_b$
- Energia pe bitul de informație  $\Rightarrow E_b = C/R_b$
- Pseudo-zgomot la receptor  $\Rightarrow N_0 = (N-1)C/B_N$ ,  
unde  $B_N$  este banda echivalentă de zgomot a receptorului


$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B_N}{R_b(N-1)} = \frac{R_c}{R_b(N-1)\Gamma}$$



# Spectrul distribuit cu salt în frecvență

Cum calitatea unei legături este stipulată de o rată de eroare dată, valoarea  $E_b/N_0$  este impusă. Din aceasta se deduce numărul maxim de accesări.

$$N_{\max} = 1 + \frac{R_c}{R_b} \Gamma \frac{E_b}{N_0}$$

Capacitatea maximă totală a rețelei este  $N_{\max} \cdot R_b$