

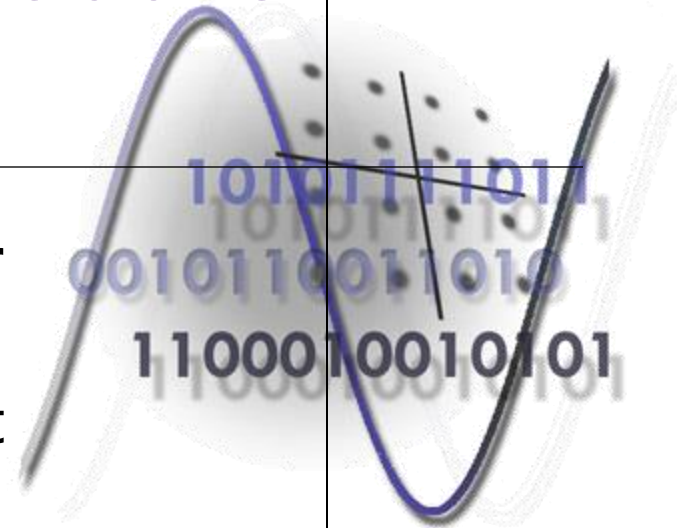
# Curs 12

# Tehnici de cooperare prin codare

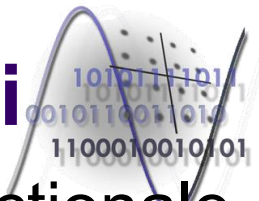
---

Zsolt Polgar

Communications Department  
Faculty of Electronics and  
Telecommunications,  
Technical University of Cluj-Napoca

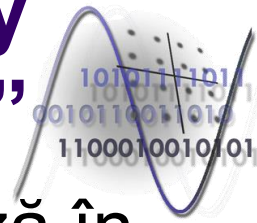


# Conținutul cursului



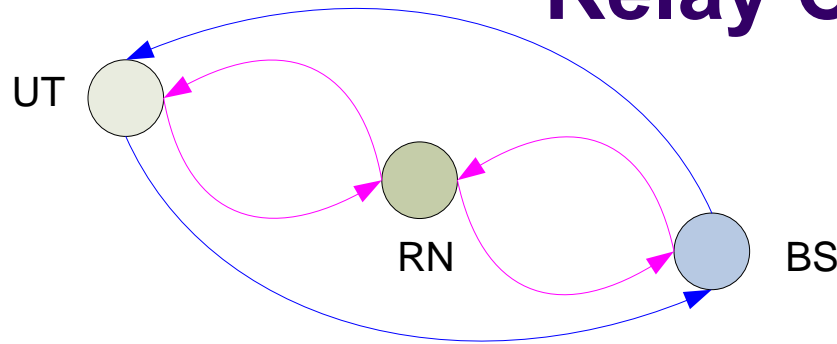
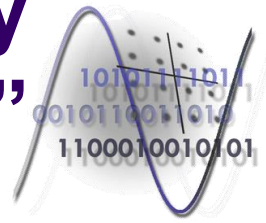
- Codare distribuită și NC pentru transmisii bidirecționale asistate de releu - “Two Way Relay Channel”;
- Tehnici NC utilizate în cluster de coperare MSMR (Multiple Source Multiple Relay).

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Aceste tehnici de codare distribuită se utilizează în structuri cooperative care asigură transmisia atât în uplink cât și în downlink;
  - Se utilizează un releu care deservește o singură stație mobilă, dar în ambele direcții de transmisie;
  - Se utilizează atât codarea distribuită cât și NC;
  - Tehnicile de codare distribuită folosite sunt versiuni ale adaptate pentru transmisii bidirecționale ale algoritmilor SNCC și JNCC;
- Scenariul considerate:
  - Se presupune că atât UT și BS generează fluxuri continue de date și că aceste fluxuri au valori identice;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Se consideră două sub-cazuri particulare:
  - Un caz simetric cu canale UT-RN și RN-BS identice, adică RN este plasat la mijloc între MS și RN;
    - Canalele UT – RN și RN – BS au SNR cu 10dB mai mare decât canalele directe UT – BS;
    - Toate canalele sunt afectate de fading Rayleigh bloc;
  - Un caz asimetric caracterizat de un canal fix RN-BS și de un canal variabil UT-RN, adică UT se mișcă;
    - Canalul RN – BS este fix și are SNR mediu de 20dB; canal RN – UT la fel ca și în scenariul simetric;
    - Toate canalele sunt afectate de fading Rayleigh bloc;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Principiile transmisiei cooperative și funcționalitățile releului:
  - Schema de transmisie este OFDMA; S sub-purtătoare și E perioade de simbol;
  - Lățime de bandă chunk:  $BW_{ch} = f_s \cdot S$ , durată chunk:  $T_{ch} = E(1+G)/f_s$ , rată chunk  $C_{ch} = 1/T_{ch}$ ;  $f_s$  – separarea dintre subpurtătoare, G – intervalul de gardă;
  - Fiecare chunk are U sub-purtătoare utile;  $U = E \cdot S$  în cazul de față și se consideră un bit pe simbol QAM;
  - Se consideră două moduri de duplexare:
    - Toate nodurile pot transmite în același timp (Sim); se utilizează resurse de frecvență diferite; întârziere de un  $T_{ch}$ .
    - RN recepționează de la UT și BS în perioade de chunk diferite (Con); se pot utiliza aceleași resurse de frecvență; întârziere de  $3 T_{ch}$ ;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Descrierea algoritmului de codare cooperativă:
  - Procesul de cooperare are loc în trei faze:
    - **Faza 1:** UT trimite blocurile codate cu codul de canal la RN și la BS; ambele noduri decodează aceste blocuri și le stochează;
    - **Faza 2:** BS trimite blocurile codate cu codul de canal la RN și la UT; ambele noduri decodează aceste blocuri și le stochează;
    - **Faza 3:** RN combină cele două blocuri decodate conform unei strategii de codare NC, reencodează blocul rezultat și le trimite la UT și la BS; UT și BS decodează separat datele lor utilizând datele de pe recepția directă și pe cele de la releu;
      - Cele trei faze se pot suprapune parțial în timp dacă se utilizează resurse de frecvență separate;

First phase

Second phase

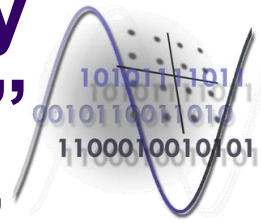
Third phase

MS broadcast data

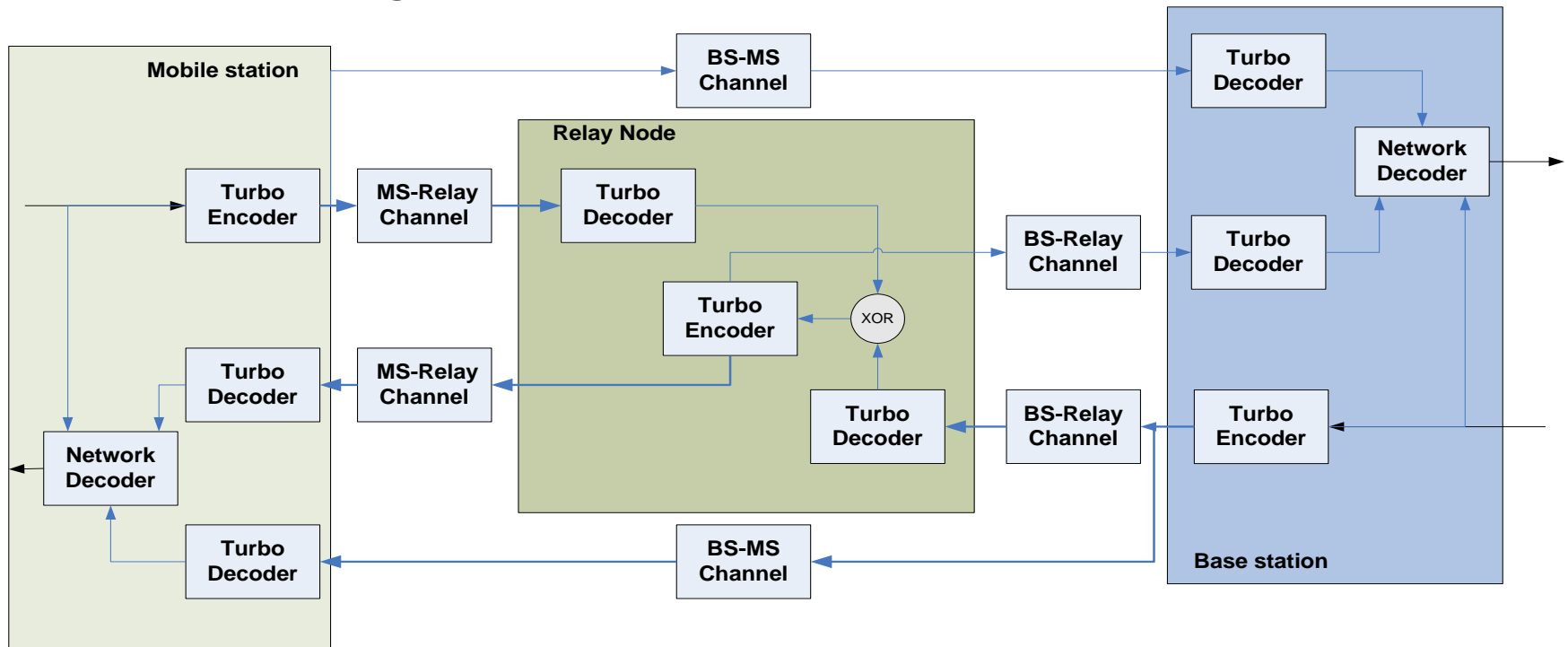
BS broadcast data

Relay broadcast combined data

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”

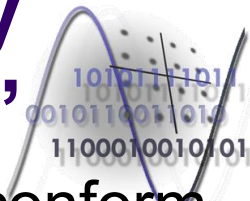


- Tehnică de codare “Two Way Relay Channel” bazată pe algoritmul SNCC;



- UT și BS codează  $N_i$  biți de informație utilizând un cod turbo cu rata  $R_m=1/3$ ;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Blocurile obținute de lungime  $3 N_i$  se puncturează conform unui algorithm de adaptare de debit [utilizat în LTE] obținându-se rata de codare  $R_c$ ; atât UT și BS transmit cuvintele de cod de lungime:  
$$N_c = \frac{N_i}{R_c}$$
- UT recepționează blocul codat de la BS pe canalul direct, iar BS recepționează blocul codat de la UT tot pe legătura directă; ambele noduri decodează cuvintele de cod recepționate și așteaptă date adiționale de la releu;
- Releul recepționează blocurile codate pe legăturile UT-RN și BS-RN; decodează aceste blocuri și efectuează o operație de XOR – cea mai simplă codare NC;

$$x_{j,RN} = x_{j,UT} \oplus x_{j,BS}, j = \overline{1, N_i}$$

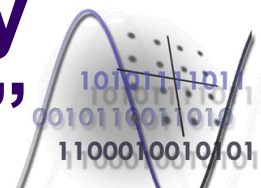


# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Releul recodează datele combinate utilizând același cod turbo cu rata  $R_c$  și transmite acest bloc (broadcast) pe canalele RN-BS și RN-UT;
- Blocurile recepționate de la releu sunt decodate turbo la UT și BS și se verifică integritatea lor; cele două echipamente terminale realizează decodarea NC după următoarea regulă:
  - *Dacă blocurile recepționate pe legătura directă sunt “error-free” decodorul NC generează la ieșire aceste blocuri;*
  - *Dacă blocul recepționat pe calea directă este eronat și blocul recepționat de la releu este “error-free” datele corecte se pot obține printr-o operație XOR între blocul decodat de la releu și datele inițiale ale nodului;*
  - *Dacă ambele blocuri recepționate au erori decodorul generează blocurile recepționate pe calea directă sau de la releu – este de regulă o legătură mai bună;*

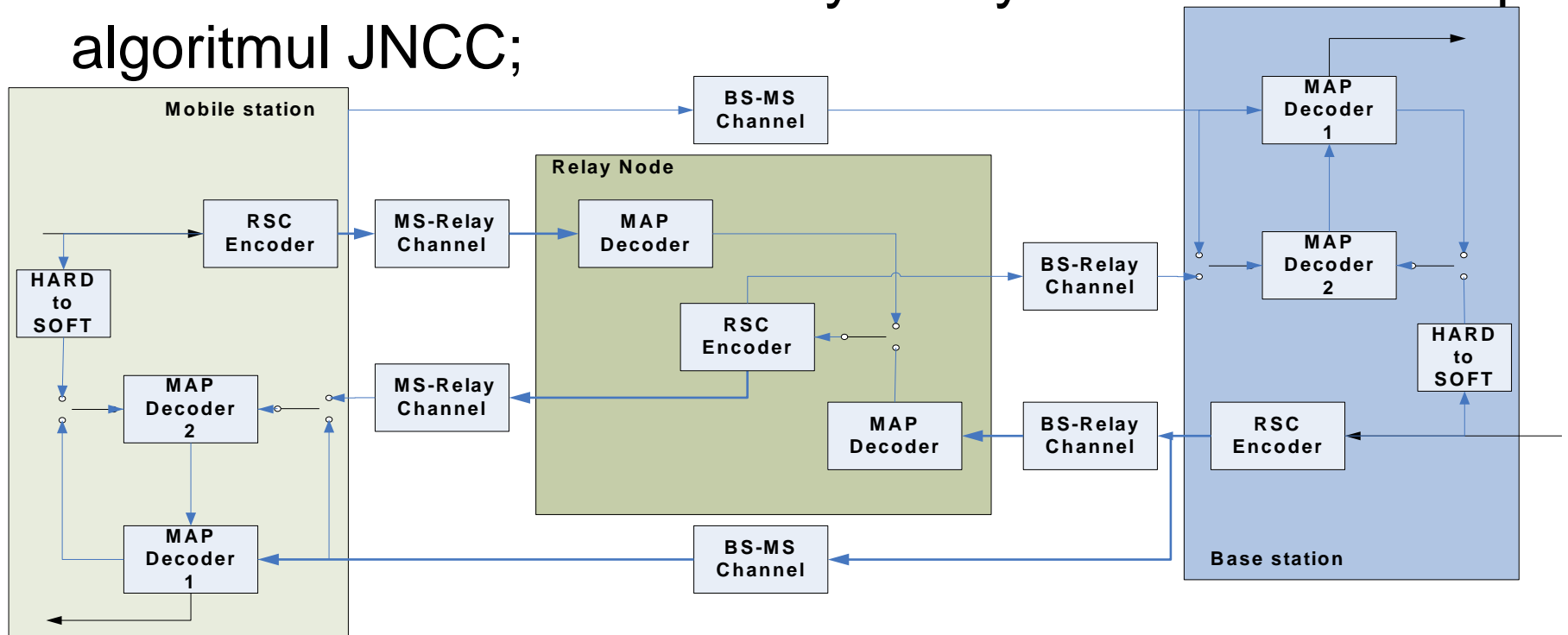
# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Aceeași regulă de decodare se aplică atât la UT cât și la BS;
- Rata de codare globală este similară cu cea de la algoritmul

$$\text{SNCC: } R_g = \frac{2 \cdot N_i}{3 \cdot N_{UT}} = \frac{R_{UT}}{1.5}$$

- Tehnică de codare “Two Way Relay Channel” bazată pe algoritmul JNCC;

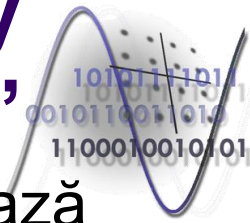


# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



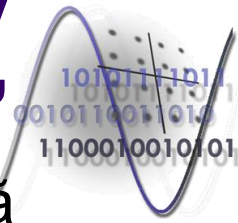
- Atât MS cât și BS codează  $N_i$  biți de informație folosind un codor RSC de rată 0.5;
  - Blocurile codate sunt puncturate utilizând un algoritm de adaptare de debit pentru a se obține o rata de codare  $R_{UT}$  cu care datele se trimit atât la BS cât și la UT pe canalele directe cât și la RN pe canalele UT(BS) – RN;
- Releul decodează datele recepționate în primele două faze, întreșese datele recepționate de la UT și BS, multiplexează cele două fluxuri de date și apoi le aplică codorului RSC de la releu;
  - Fluxul de date rezultat se codează folosind același codor RSC; din blocul codat rezultat se rețin doar biții de control care se puncturează din doi în doi;
    - este o metodă de puncturare, dar nu singura posibilă; depinde de resursele disponibile pe legătura RN – destinație;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- La recepție, atât în UT cât și în BS, se implementează câte un decodor JNCC compus din două decodoare MAP care procesează cele două blocuri codate recepționate;
  - Aceste două blocuri codate împreună cu datele proprii ale nodurilor terminale sunt folosite pentru a efectua decodarea turbo;
- Într-o prima fază decodorul MAP 2 (vezi figura) calculează informația extrinsecă  $L_{RN}$  folosind observațiile de pe canalul RN-BS(UT) pentru biții de control adiționali, observațiile de pe canalul UT-BS și proprii biți de informație;
- În primul pas al iterației informația extrinsecă calculată este de-întreșută și se aplică decodorului MAP 1 conform regulii de combinare de la releu;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- În al doilea pas al iterației decodorul MAP 1 calculează informația extrinsecă  $LE_{UT(BS)}$  folosind observațiile de pe canalul UT-BS și informația extrinsecă de la decodorul MAP 2.
- Informația extrinsecă obținută de decodorul MAP 1 este întrețesută și trimisă la decodorul MAP 2 conform regulii de combinare pentru iterația următoare;
- Evaluarea teoretică a îmbunătățirii în PER asigurat de algoritmul 2w-SNCC
  - La destinație (BS sau UT) datele sunt decodate corect dacă pachetul este decodat corect pe canalul UT-BS sau pachetul de pe legătura directă nu se poate decoda corect, dar releul poate decoda corect pachetele recepționate respectiv se poate decoda corect pachetul de la releu;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Condițiile menționate, pentru cele două sensuri se pot scrie:

$$PER_{SNCC}^{uplink} = 1 - \left[ (1 - PER_{UT-BS}) + (1 - PER_{UT-RN}) \cdot (1 - PER_{RN-BS})^2 \cdot PER_{UT-BS} \right]$$

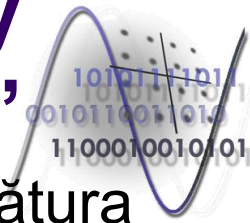
$$PER_{SNCC}^{downlink} = 1 - \left[ (1 - PER_{UT-BS}) + (1 - PER_{BS-RN}) \cdot (1 - PER_{RN-UT})^2 \cdot PER_{UT-BS} \right]$$

- Îmbunătățirile în PER aduse de schema 2w-SNCC se pot exprima prin factorul de îmbunătățire în PER,  $PERIF_{SNCC}$ , definit ca și raportul dintre PER asigurat pe legătura UT-BS prin utilizarea algoritmului 2w-SNCC,  $PER_{SNCC}$ , și prin transmisia directă,  $PER_{UT-BS}$ ;

$$PERIF_{SNCC}^{uplink} = \frac{PER_{SNCC}^{uplink}}{PER_{UT-BS}} = 1 - (1 - PER_{UT-RN}) \cdot (1 - PER_{RN-BS})^2$$

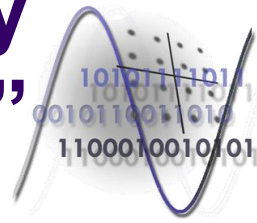
$$PERIF_{SNCC}^{downlink} = \frac{PER_{SNCC}^{downlink}}{PER_{UT-BS}} = 1 - (1 - PER_{BS-RN}) \cdot (1 - PER_{RN-UT})^2$$

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Inversul acestui factor arată de câte ori PER de pe legătura directă este redusă de către algoritmul 2w-SNCC;
- Evaluarea eficienței spectrale
  - Considerând transmisia continuă pe canalele UT<sub>i</sub>-BS și RN-BS (cazul Sim), intervalul de timp între două transmisiile consecutive este de un  $T_{ch}$ , în timp ce lărgimea de bandă necesară pentru ambele direcții (downlink și uplink) este  $3 BW_{ch}$ ; întârzierea de transmisie este tot de un  $T_{ch}$ ;
    - Deci pentru o singură direcție (downlink sau uplink) lărgimea de bandă necesară este de  $1.5 BW_{ch}$ ;
  - Considerând transmisia consecutivă (cazul Con) intervalul de timp între două transmisiile consecutive este de  $3 T_{ch}$ , în timp ce banda ocupată este de numai  $BW_{ch}$ .
    - Timpul de cooperare mediu pentru o direcție (downlink sau uplink) este de  $1.5 T_{ch}$ ;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Eficiența spectrală se exprimă ca și raportul dintre throughput și lărgimea de bandă utilizată;
- Eficiența spectrală în cele două cazuri considerate, Sim și Con este dată de:

$$\eta_{2_{wx}}(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{(1+G) \cdot E \cdot S \cdot 1.5 \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) =$$

$$= \frac{R_{UT}}{(1+G) \cdot 1.5} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) \quad \text{Con}$$

$$\eta_{2_w}(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G) \cdot E \cdot S \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) =$$

$$= \frac{R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G)} \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_{2_{wx}}) \quad \text{Sim}$$

- G este intervalul de gardă și are valoarea  $1/8T_s$ ,  $R_{UT} = 0.75$ , este rata de codare pe transmisia directă; x semnifică direcția de transmisie (uplink sau downlink);



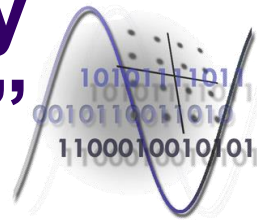
# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



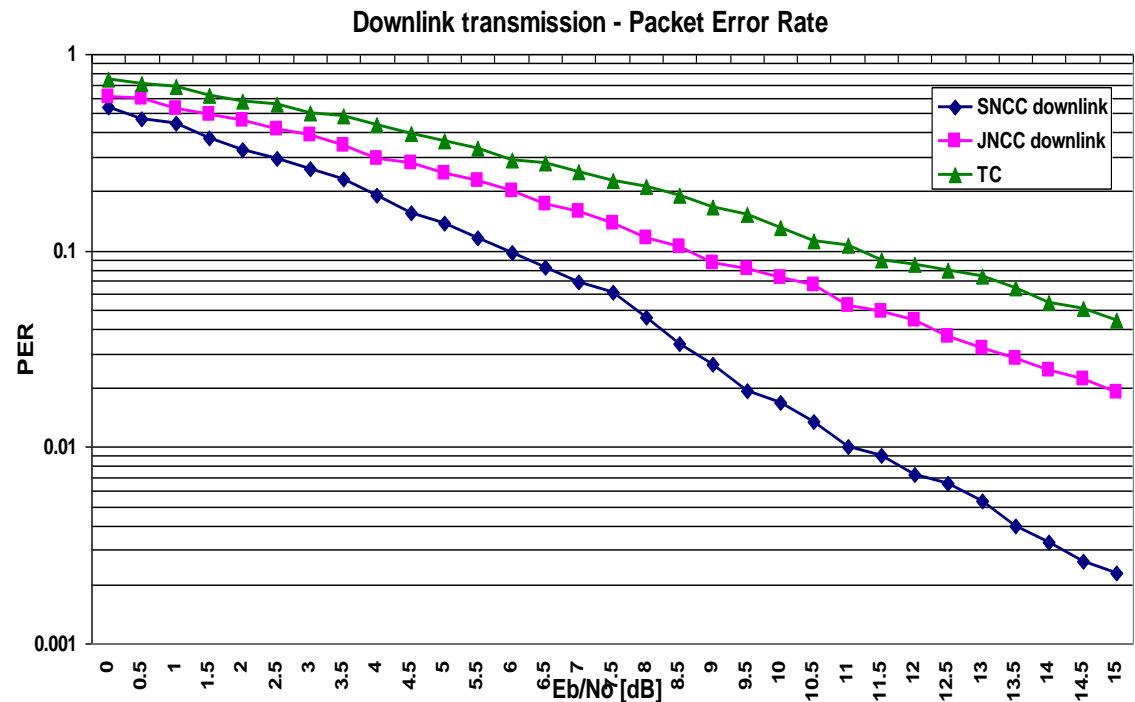
- Pentru transmisia directă (Dir) mesajele se transmit într-un  $T_{ch}$  și se utilizează o bandă egală  $BW_{ch}$ ; rata de codare se consideră tot  $R_g = 0.5$ ; eficiența spectrală este dată de:  
$$\eta_d(\text{SNR})[\text{bps / Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_g}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_d) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_d) \quad \text{Dir}$$

- Performanțele de BER și PER ale algoritmului:
  - Performanțele algoritmilor 2w-SNCC and 2w-JNCC se evaluează în scenarii simetrice și asimetrice - legat de poziția releului;
  - Parametrii codurilor RSC utilizate sunt cele folosite pentru evaluarea algoritmilor DCC, SNCC și JNCC – cursul 8.3, slide 16.

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”

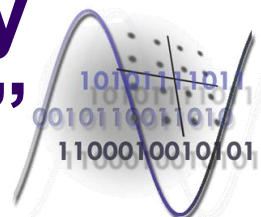


- Performanțe BER și PER scenariu simetric:

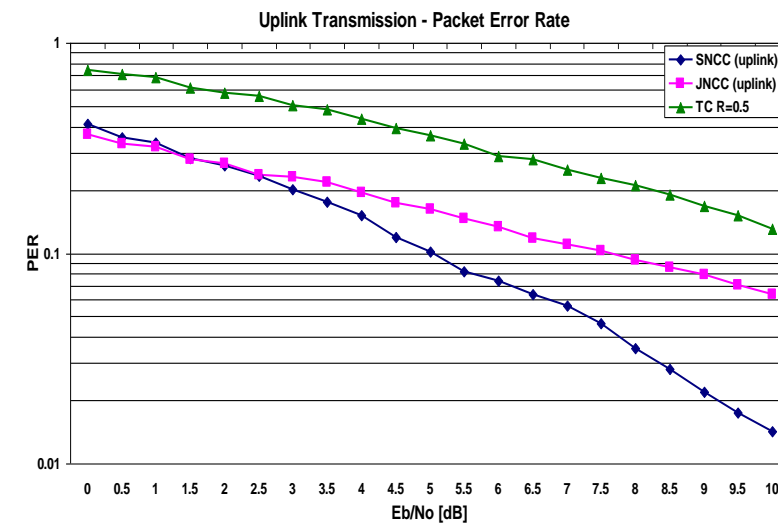
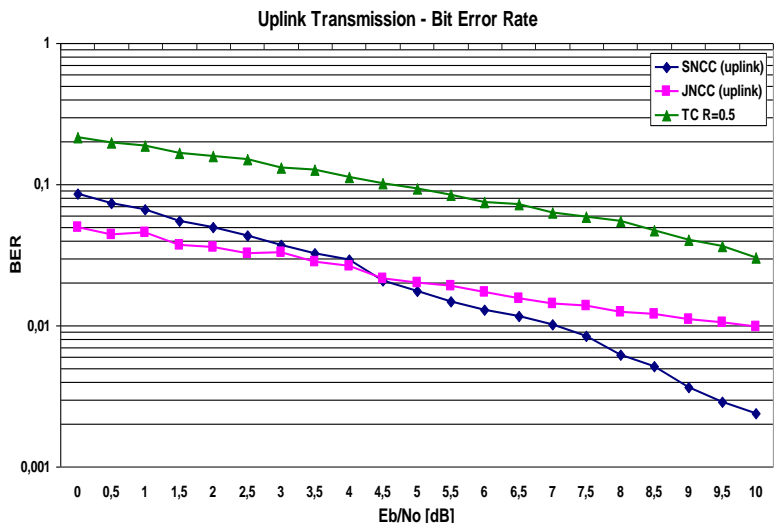
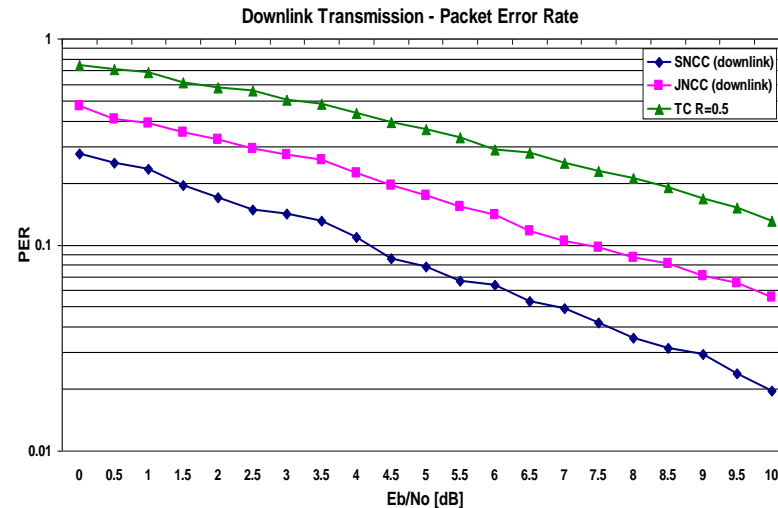
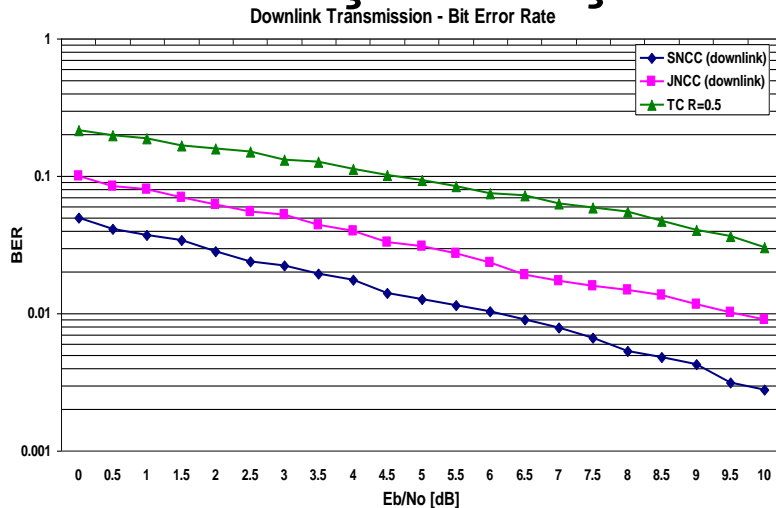


- Performanțele mai bune asigurate de SNCC se pot explica prin utilizarea în procesul de decodare a datelor inițiale și prin codurile de canal mai puternice: coduri turbo în loc de RSC;

# Tehnici de codare pentru "Two Way Relay Channel"



## ● Performanțe BER și PER scenariu asimetric:

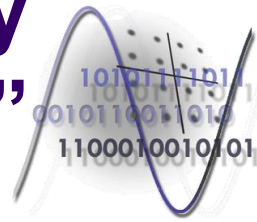


# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”

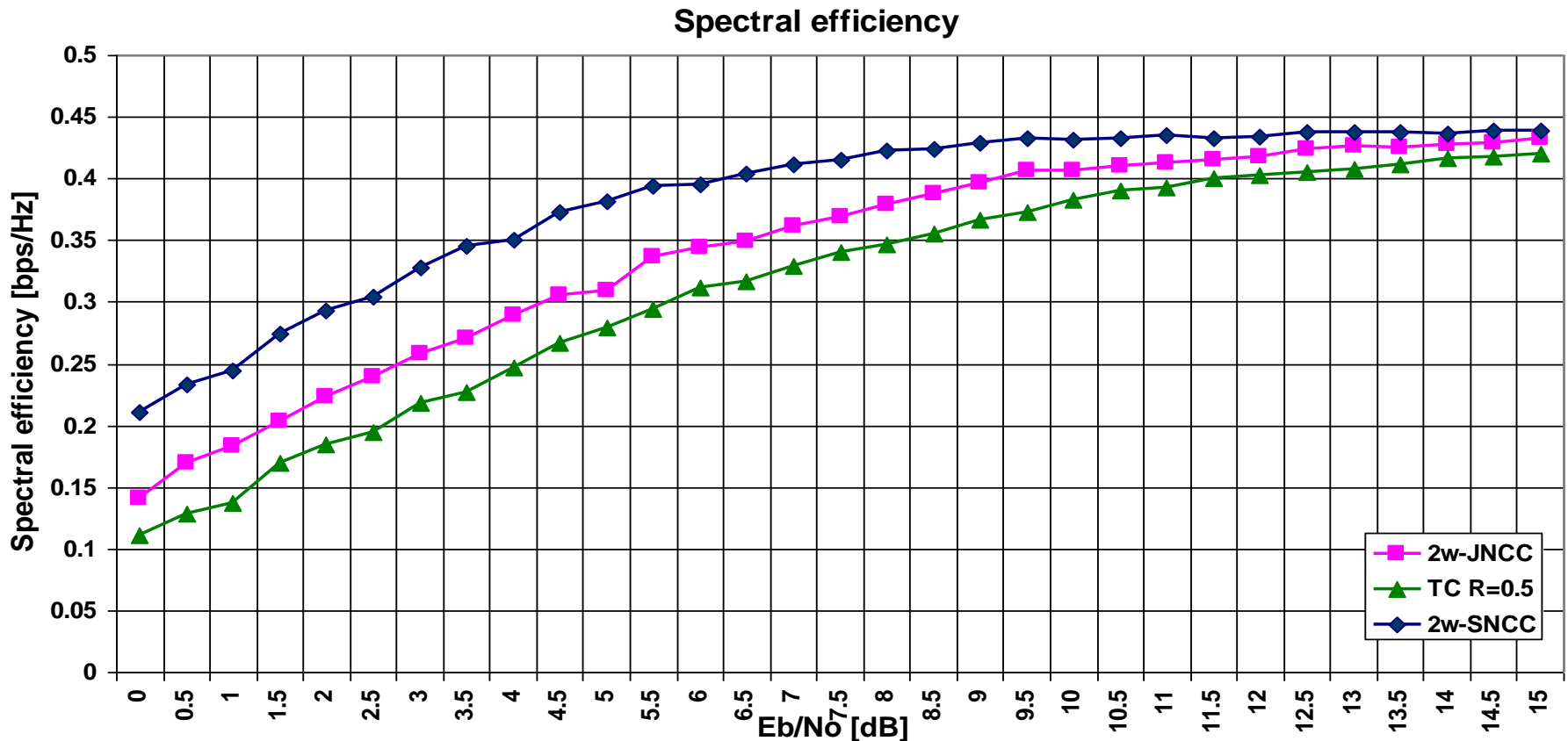


- Pe legătura downlink se obțin performanțe de BER și PER mai bune pentru algoritmul 2w-SNCC decât pentru algoritmi 2w-JNCC și TC;
- Pentru legătura uplink 2w-SNCC asigură performanțe mai bune de PER; 2w-JNCC asigură performanțe mai bune de BER dacă  $E_b/N_0$  de pe canalul UT-RN este sub un anumit prag;
  - SNCC asigură performanțe bune numai dacă calitatea canalului UT-RN este peste un anumit prag;
- Performanțele mai bune asigurate în downlink comparativ cu performanțele asigurate în uplink se explică prin faptul că canalul BS-RN este mai bun decât canalul UT-RN;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



- Performanțe de eficiență spectrală



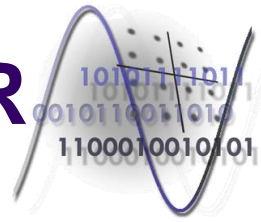
- Rată de codare  $R_c = 0.5$ , scenariu simetric, schemă de transmisie Sim;

# Tehnici de codare pentru “Two Way Relay Channel”



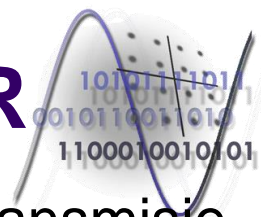
- Eficiențele spectrale obținute sunt determinate în mod semnificativ de diferențele de PER – vezi rezultatele anterioare;
- Eficiențele spectrale mai bune asigurate de algoritmi 2w-SNCC și 2w-JNCC se explică și prin modul mai eficient de utilizare a resurselor; prin folosirea NC resursele timp-frecvență ale releului sunt utilizate pentru a transmite biți de control suplimentari pentru ambele sensuri de transmisie; resursele timp-frecvență ale legăturilor directe sunt utilizate numai pentru a transmite o parte din biții de control;
- Aceeași rată de codare pe legătura directă și aceeași resurse timp-frecvență în condițiile utilizării codurilor turbo asigură performanțe PER mai slabe datorită calității mai slabe a canalelor directe; acest fapt duce și la scăderea eficienței spectrale;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

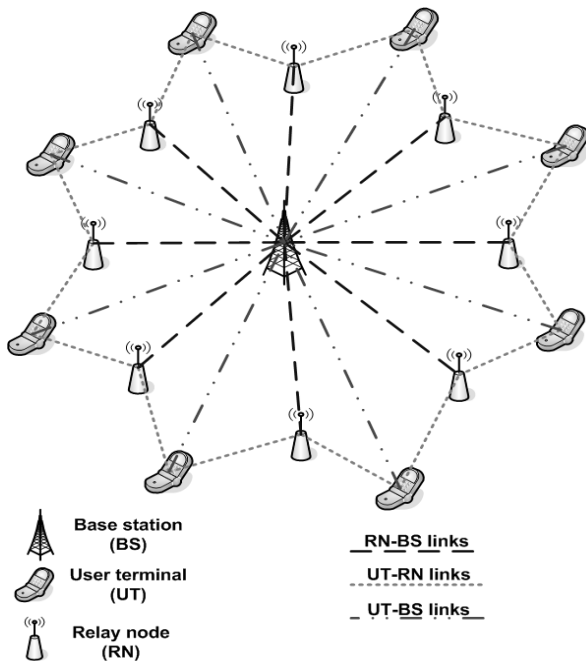


- **Conceptul de “Network on graph”;**
  - Se referă la descrierea unei rețele celulare cooperative ca și un graf bipartit și definește structurile necesare pentru o reprezentare pe bază de graf;
    - O astfel de abordare permite o reprezentare mai convenabilă a elementelor rețelei și a conexiunilor dintre ele;
      - Se pot evidenția mai ușor procesările efectuate la nivelul rețelei și se pot analiza mai ușor performanțele rețelei cooperative;
  - Figura următoare prezintă un exemplu de rețea celulară cu cooperare; elementele rețelei sunt: stația de bază (BS), nodurile releu (RN), terminalele utilizator (UT) și legăturile dintre aceste elemente:
    - Legăturile UT-RN, RN-BS și UT-BS;

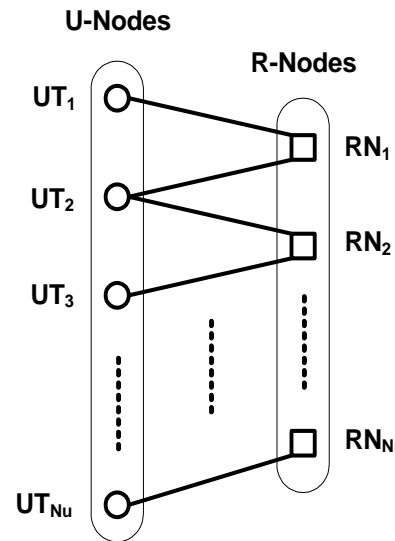
# Cooperarea codată în clusterare MSMR



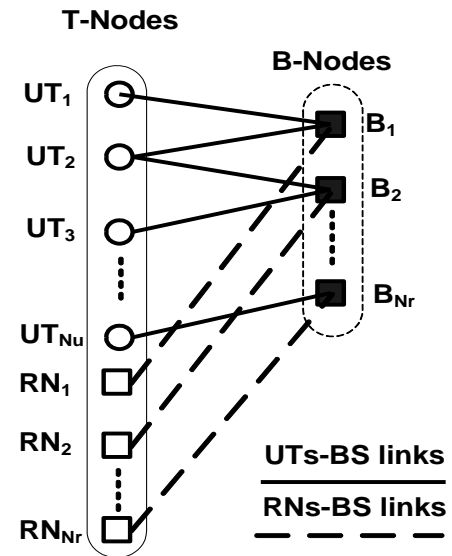
- Legăturile UT-RN și RN-BS sunt necesare pentru o transmisie cooperativă; utilizarea legăturilor directe UT-BS depinde de schema de cooperare utilizată;
- Numărul de legături UT-RN la un releu depinde de asemenea de algoritmul de cooperare utilizat;



Rețea celulară cooperativă ;



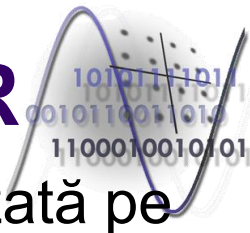
Graf de cooperare ;



Graf de cooperare extins;

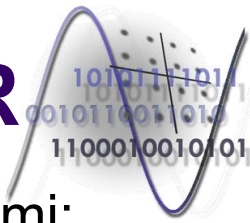


# Cooperarea codată în cluster MSMR



- Se consideră utilizarea unei strategii de cooperare bazată pe NC pentru sensul de transmisie uplink;
  - Un releu deservește mai multe terminale și este conectat la mai multe legături UT-RN; se utilizează și legăturile directe în procesul de cooperare;
- Reprezentarea de tip graf se poate utiliza pentru a descrie cooperarea în toată celula sau procesul de cooperare a unui grup de elemente (membrii) ale celulei – cluster de cooperare;
- Descrierea unui cluster de cooperare ce include  $N_u$  terminale de utilizator și  $N_r$  releu – vezi figura;
- Graful de cooperare – vezi figura;
  - Arată pentru fiecare terminal care este releul cu care cooperează; indică de asemenea legăturile UT-RN utilizate în cluster;
  - În cazul strategiei de cooperare NC indică pentru fiecare RN care dintre blocurile generate de UT-uri se combină;

# Cooperarea codată în clustere MSMR



- Pentru a reprezenta acest graf trebuie definite două mulțimi:
  - Mulțimea U, al terminalelor,  $U = \{UT_1, \dots, UT_{Nu}\}$ ;
  - Mulțimea R, al nodurilor,  $R = \{RN_1, \dots, RN_{Nr}\}$ ;
  - O reprezentare matricială ce indică legăturile dintre terminale și relee,  $A[Nr \times Nu]$ , unde:

$$A[j, i] = \begin{cases} 1, & \text{daca } RN_j \text{ si } UT_i \text{ sunt conectate} \\ 0, & \text{daca } RN_j \text{ si } UT_i \text{ nu sunt conectate} \end{cases}$$

- Graful de cooperare arată “cine cooperează cu cine”; pentru acest lucru se definesc următoarele mulțimi:
  - Pentru fiecare RN se definește mulțimea vecinilor UT din setul U – este vorba de setul de terminale care sunt deservite de un releu anume (releul j);

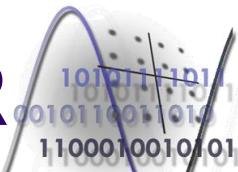
$$nR_j = \{UT_i \mid A[j, i] = 1, i = \overline{1, Nu}\}$$

- Pentru fiecare UT se definește mulțimea vecinilor RN;

$$nU_i = \{RN_j \mid A[j, i] = 1, j = \overline{1, Nr}\}$$

- Graful de cooperare extins – modelează procesările în RN și BS;

# Cooperarea codată în clusterare MSMR

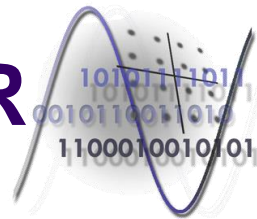


- Pentru graful extins se definește mulțimea de noduri  $T$ ,  $T = \{T_1, \dots, T_j, \dots, T_{Nu+Nr}\}$ ; se obține prin reunirea mulțimilor de noduri  $U$  și  $R$  definite anterior; se poate defini submulțimea  $TU = \{T_1, \dots, T_{Nu}\}$  reprezentând nodurile  $U$  și submulțimea  $TR = \{T_{Nu+1}, \dots, T_{Nu+Nr}\}$  reprezentând nodurile  $R$ ;
- Mulțimea nodurilor  $B$ ,  $B = \{B_1, \dots, B_{Nr}\}$ , indică ecuațiile care trebuie rezolvate de către decodorul de canal;
- Graful de cooperare extins include reprezentarea legăturilor UT-BS și RN-BS; se utilizează matricea  $A' = [A \times I]$ , unde  $I$  este matricea identitate  $[Nr \times Nr]$  ;
- La fel ca și în cazul grafului de cooperare se pot defini mulțimi de vecini atât pentru nodurile  $T$  cât și pentru nodurile  $B$ ;

$$nB_j = \{T_i \mid A'[j,i] = 1, i = \overline{1, Nu + Nr}\}$$

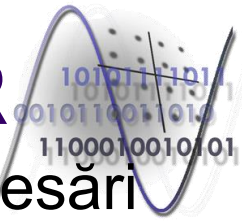
$$nT_i = \{B_j \mid A[j,i] = 1, j = \overline{1, Nr}\}$$

# Cooperarea codată în clusterare MSMR

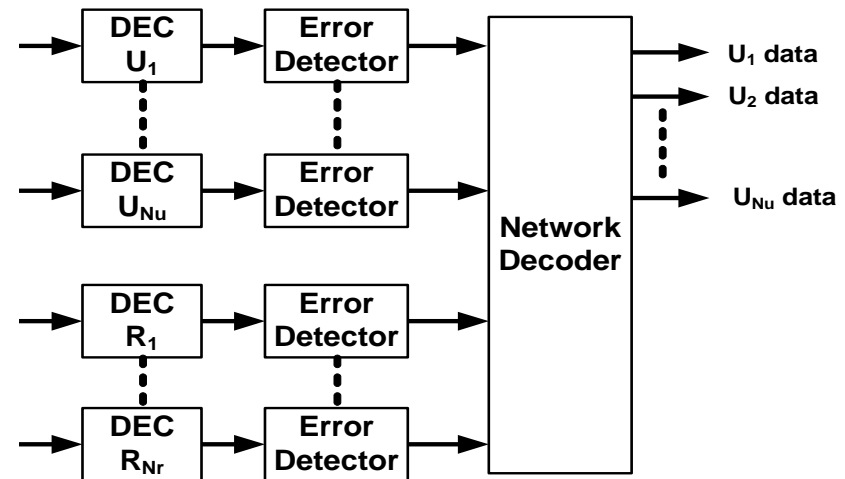
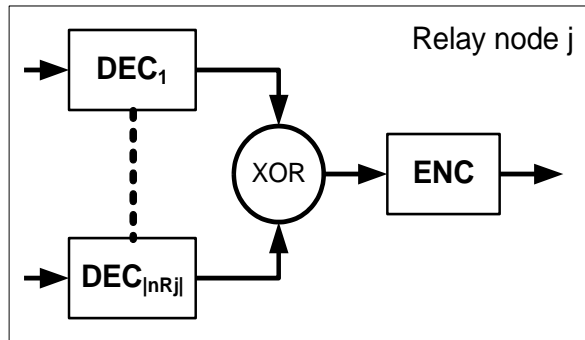


- Pentru a realiza analiza performanțelor este necesară să se cunoască calitatea fiecărei legături implicate în cooperare; se definește mulțimea  $TL = \{TL_1, \dots, TL_i, \dots, TL_{Nu+Nr}\}$  ce reprezintă calitatea legăturilor din clusterul cooperativ; este compus din indicatorii de calitate ai legăturilor UT-BS,  $\{TL_1, \dots, TL_{Nu}\}$  și a legăturilor RN-BS,  $\{TL_{Nu+1}, \dots, TL_{Nu+Nr}\}$ ; legăturile UT-RN se consideră “error-free”;
  - Performanțele schemei de cooperare se exprimă în funcție de parametrii  $BLER(link)$ , fiind necesară o mapare a parametrilor de calitate a legăturilor în parametrii BLER;
- **Strategia de cooperare bazată pe NC:**
  - O strategie de cooperare posibilă este bazată pe utilizarea NC pe legăturile RN-BS – un releu poate deservi mai multe terminale utilizând aceleași resurse fizice;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

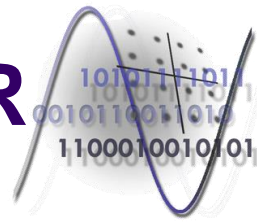


- Structura codorului și a decodorului de rețea – procesări realizate în releu și în BS;



- Descrierea algoritmului de codare NC;
  - Fiecare terminal trimite un pachet cu  $N_i$  biți de informație utilizând un cod de canal cu rata  $R_{UT}$  – cuvintele de cod au lungimea  $N_C$  ;
  - Fiecare releu decodează blocurile codate de la terminale, le combină prin operația de XOR la nivel de bit și reencodează blocul obținut cu același cod de canal;
    - Restricție impusă numai pentru o analiză mai simplă;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

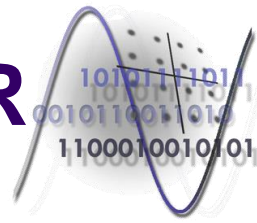


- Este de interes rata de codare globală pe fiecare legătură UT-BS; această rată se poate calcula astfel (ținând cont de biții suplimentari generați de fiecare releu care deservește un UT):

$$R_g^{UT_i} = \frac{N_i}{N_c \cdot \left( 1 + \sum_{R_j \in nU_i} \frac{1}{|nR_j|} \right)} = \frac{N_i}{N_c} \cdot \frac{1}{1 + \sum_{R_j \in nU_i} \frac{1}{|nR_j|}} = R_{UT} \cdot \frac{1}{1 + \sum_{R_j \in nU_i} \frac{1}{|nR_j|}}$$

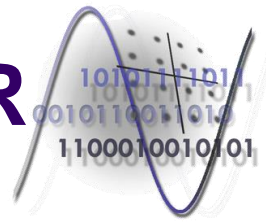
- Descrierea algoritmului de decodare NC:
  - La stația de bază toate blocurile recepționate de la UT-uri, pe legăturile UT-BS și de la RN-uri pe legăturile RN-BS sunt decodate și se verifică dacă sunt corecte;
    - Decodorul NC primește ca și intrări blocurile decodate și informațiile de la blocul de detecție a erorilor;
  - Ideea de bază a decodorului este de a se recupera blocul eronat recepționat de la un UT pe baza blocurilor recepționate de la alte UT-uri și de la releele care ajută terminalul în discuție;

# Cooperarea codată în cluster MSMR



- Pașii algoritmului de decodare NC (pe scurt):
  - Se verifică dacă blocurile recepționate de la terminale sunt corecte; dacă se detectează un bloc eronat se identifică toate nodurile B care sunt vecine cu nodul T care a “generat” blocul recepționat eronat;
  - Pentru fiecare nod B identificat se verifică dacă pentru toate nodurile T vecine, blocurile recepționate sunt corecte cu excepția blocului în cauză, care trebuie recuperat;
  - Dacă se găsește un nod B care satisface condiția de la punctul anterior, atunci blocul de date se poate recupera utilizând o operație XOR la nivel de bit între blocurile recepționate corect de la vecinii T ai nodului B în discuție;
  - Dacă un bloc eronat nu se poate recupera algoritmul trece la următorul bloc eronat, pe care încearcă să-l recupereze;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

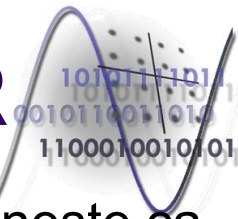


- **Analiza algoritmului de decodare NC:**

- Din punctul de vedere al decodorului legăturile sunt modelate ca și canale cu ștergeri, cu probabilitatea de eroare pe bloc  $BLER(link)$ ;
  - Dacă se cunosc valorile de  $BLER$  se pot evalua performanțele decodorului;
  - Cazul cel mai defavorabil pentru decodorul de rețea este reprezentată de situația în care nu se poate recupera nici un bloc eronat – reprezintă starea de “outage”;
  - *Evenimentul de “outage”* este evenimentul în care decodorul de rețea ajunge în starea de “outage”;
  - *Evenimentul de “outage”* apare în cazul în care toate blocurile eronate transmise de nodurile T formează un “outage set”;



# Cooperarea codată în clustere MSMR



- Similar definiției de “*stopping set*”, “*outage set-ul*”,  $S$ , se definește ca și un subset al setului de noduri  $T$ , astfel încât toate nodurile  $B$  vecine cu nodurile  $T$  din mulțimea  $S$  au cel puțin două legături cu mulțimea  $S$ ;
- Conform definiției “*outage set-ului*”, o submulțime,  $S$ , a mulțimii nodurilor  $T$  este un “*outage set*” dacă se îndeplinește următoarea condiție:

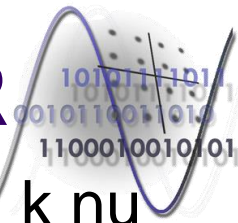
$$\text{card} \left\{ B_j \in B \mid \sum_{T_i \in S} A' [j, i] = 1 \right\} = 0$$

- Probabilitatea de “*outage*” este definită ca și probabilitatea de a avea  $k$  blocuri eronate care formează un “*outage set*”;

$$P_{\text{outage}} = \sum_k^{N_u + N_r} P_{OS}^k \cdot P_{k\text{-err}}$$

- Unde  $P_{OS}^k$  este probabilitatea unui “*outage set*” de lungime  $k$  conform grafului extins de cooperare;  $P_{k\text{-err}}$  este probabilitatea de a avea  $k$  blocuri eronate;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

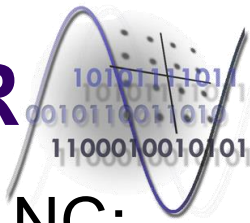


- Probabilitatea de a avea un “*outage set*” de lungime  $k$  nu este aceeași pentru toate “*outage set-urile*” de lungime  $k$ , datorită legăturilor de calitate diferite legate de “*outage set*”;
  - Pentru simplificare se va considera că probabilitatea “*outage set-urilor*” de lungime  $k$  este egală: 
$$P_{OS}^k = \frac{N_{OS}^k}{C(T, k)}$$
  - Unde  $C(T, k)$  reprezintă numărul tuturor submulțimilor de lungime  $k$  ale mulțimii nodurilor  $T$ , iar  $N_{OS}^k$  reprezintă numărul tuturor “*outage set-urilor*” de lungime  $k$ ;
- Luând în considerare calitatea tuturor legăturilor, probabilitatea de a avea  $k$  blocuri eronate este:

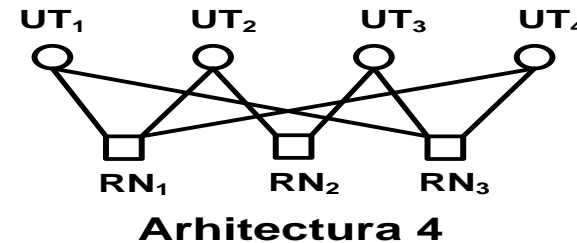
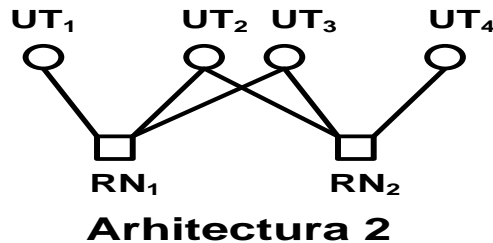
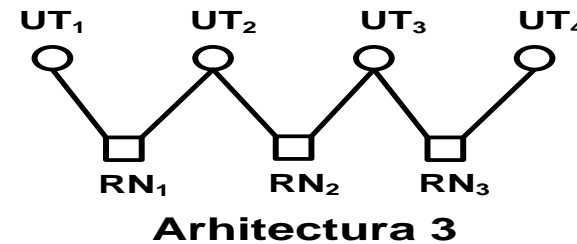
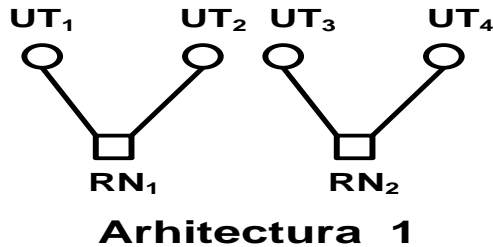
$$P_{k-er} = \sum_{T' \in T^{(k)}} \left( \prod_{t_i \in T'} BLER(TL_{t_i}) \cdot \prod_{t_i \in T \setminus T'} (1 - BLER(TL_{t_i})) \right)$$

- Unde  $T^{(k)}$  reprezintă familia tuturor submulțimilor de lungime  $k$  ale mulțimii nodurilor  $T$ ;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

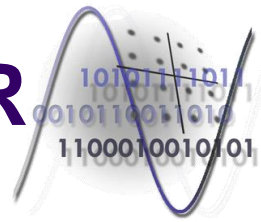


- Performanțe ale algoritmilor de cooperare bazate pe NC:
  - Topologiile (arhitecturile) considerate pentru evaluarea performanțelor – 4 terminale utilizator și 2 respectiv 3 noduri releu;
  - Grafurile de cooperare sunt următoarele:



- Toate terminalele au același  $E_b/N_0$  pe toate canalele UT-BS și au un  $E_b/N_0$  mai mare cu 6dB pe canalele RN-BS; canalele UT-RN sunt considerate “quasi error free”; se consideră canale AWGN;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

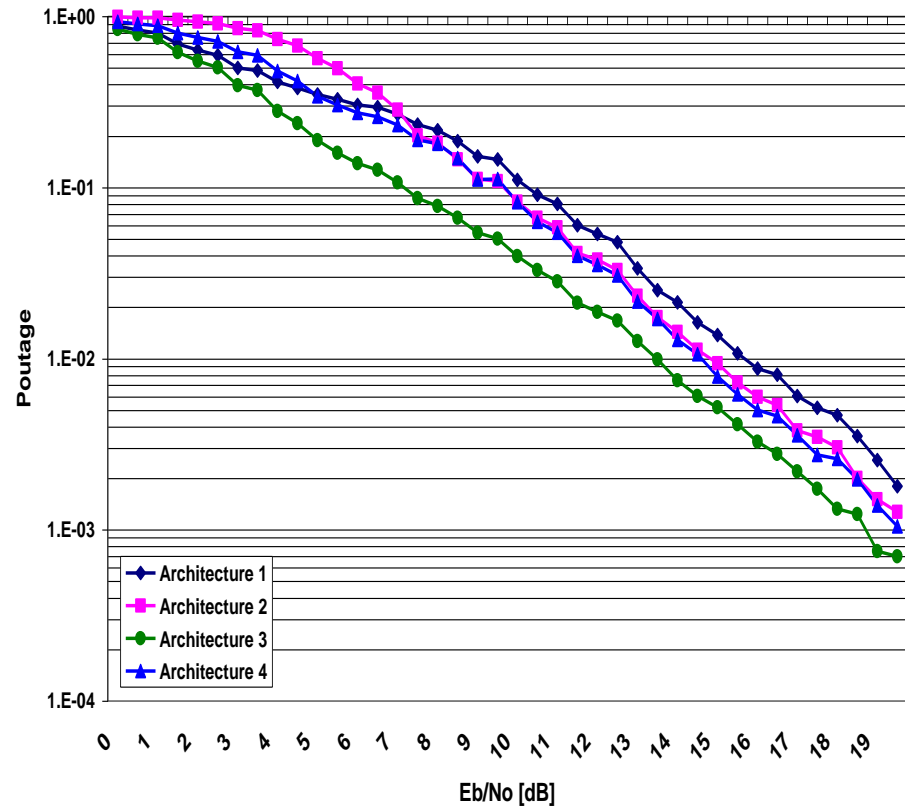
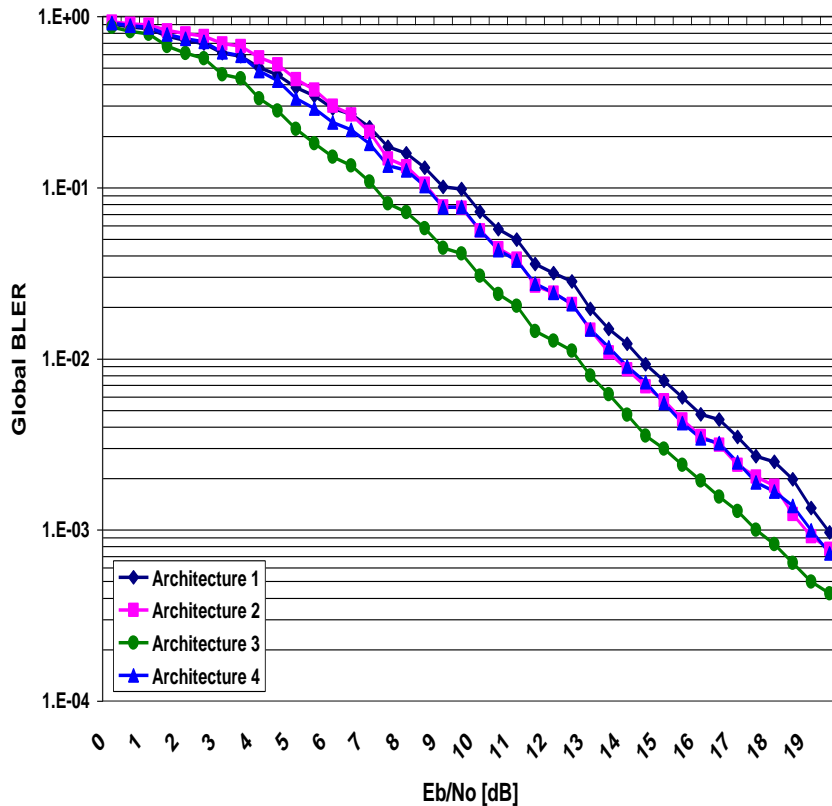
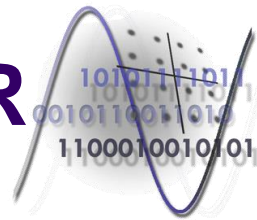


- Parametrii codurilor de canal utilizate sunt următorii:

Polinom generator “Feedback”	13 <sub>8</sub>
Polinom generator “Feedforward”	15 <sub>8</sub>
Rată cod “Mamă”	0.50
Rată cod UT	0.75
Nr. iterații decodare turbo	8

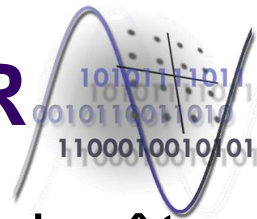
- Performanțele globale sunt exprimate în parametrul BLER global – reprezintă raportul dintre numărul total de blocuri incorecte după decodarea NC supra numărul total de blocuri transmise de toate terminalele.
  - Figurile următoare prezintă performanțele de BLER globale pentru topologiile (arhitecturile) considerate;

# Cooperarea codată în cluster MSMR



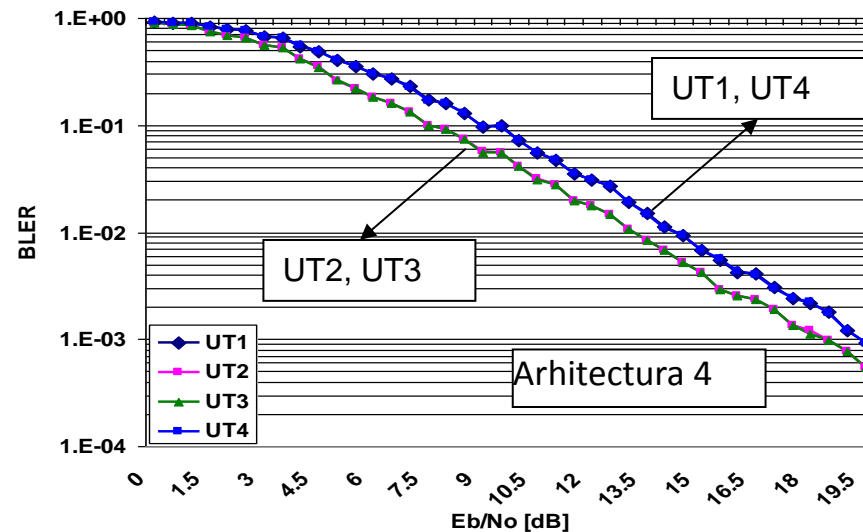
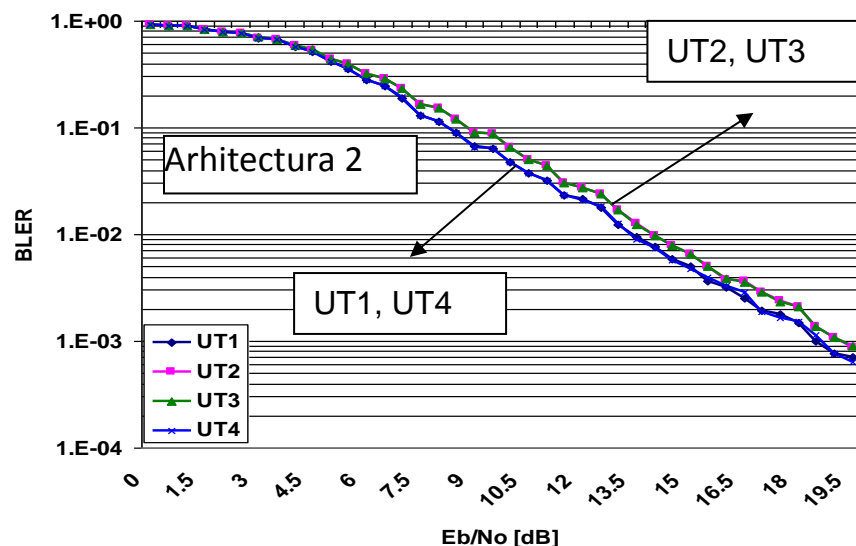
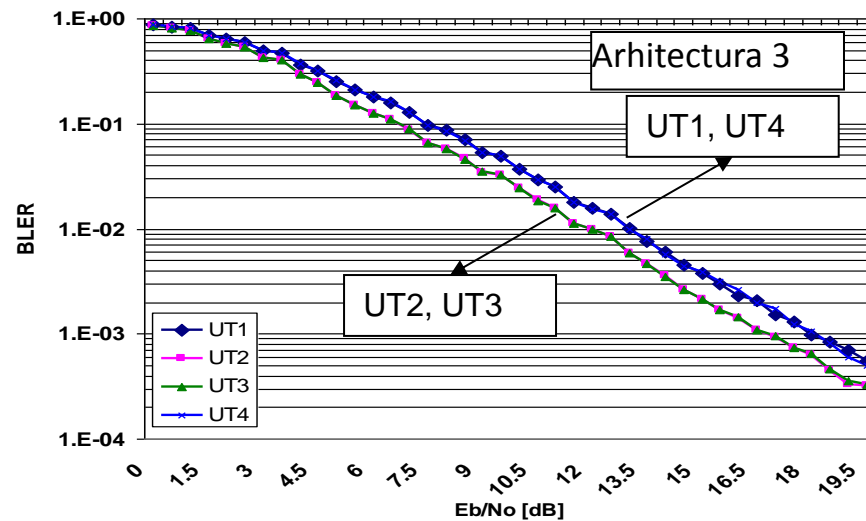
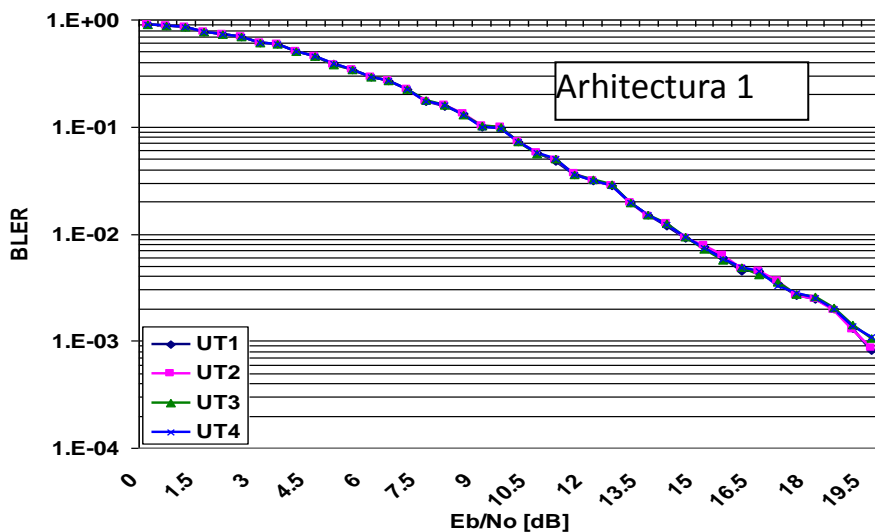
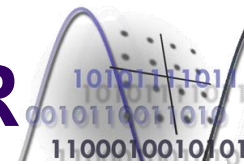
- Observație: probabilitatea de “outage” este un indicator global al performanțelor clusterelor de cooperare;

# Cooperarea codată în clustere MSMR

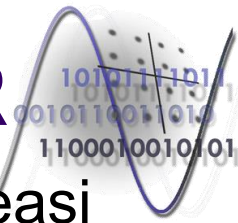


- Arhitectura 2 are performanțe globale mai bune decât cele ale arhitecturii 1 - are mai multe conexiuni;
  - Creșterea numărului de conexiuni duce la schimbarea grafului de cooperare și al parametrilor acestuia; se schimbă numărul și structura “*outage set-urilor*” respectiv probabilitatea de a avea astfel de seturi;
- Creșterea numărului de relee nu duce neapărat la reducerea probabilității de outage;
  - Arhitectura 4 cu trei noduri releu are performanțe similare cu cele ale arhitecturii 2 cu numai două noduri releu;
- În figurile următoare se prezintă performanțele individuale ale terminalelor din arhitecturile considerate;

# Cooperarea codată în clusterare MSMR



# Cooperarea codată în cluster MSMR



- Cu excepția arhitecturii 1 cooperarea nu asigură aceleași performanțe pentru fiecare terminal utilizator;
  - Diferențele între performanțele de BLER ale terminalelor se pot explica prin afilierea fiecărui terminal utilizator și nod releu la “*outage set-uri*” diferite;
  - De ex. arhitectura 3 asigură performanțe de BLER mai bune pentru UT2 și UT3 decât pentru UT1 și UT4;
    - UT1 și UT4 formează împreună cu releele la care sunt conectate “*outage set-uri*” de lungime 2, iar UT2 și UT3 nu formează “*outage set-uri*” de lungime 2 – aceste “*outage set-uri*” mici au probabilitate mai mare de apariție și în consecință au influență mai mare;
- Performanțele globale ale clusterului de cooperare se pot îmbunătăți prin construcția corespunzătoare a grafului de cooperare;
- Performanțele individuale de BLER pot fi estimate cu o anumită acuratețe utilizând “*outage set-urile*”;