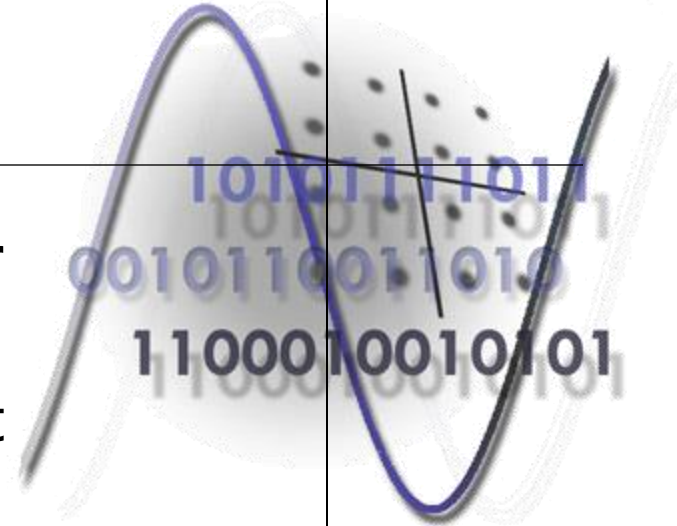


Curs 11

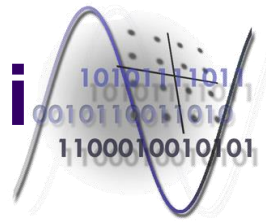
Tehnici de cooperare prin codare

Zsolt Polgar

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

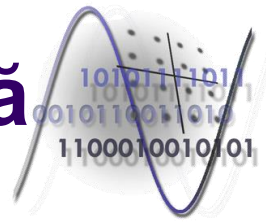


Conținutul cursului



- Tehnici de codare distribuită;
- Codare Turbo distribuită;
- Codare separată NC și de canal (“Separate Network and Channel Coding” - SNCC);
- Codare separată NC și de canal cu complexitate redusă (“Low Complexity Separate Network and Channel Coding” - LC-SNCC);
- Codarea combinată NC și de canal (“Joint Network and Channel Coding” - JNCC);

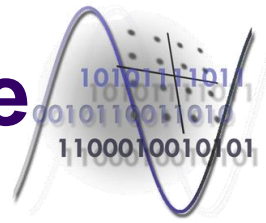
Tehnici de codare distribuită



● Considerații generale

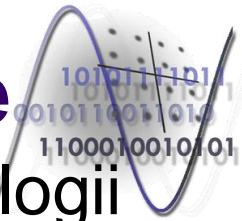
- Majoritatea schemelor de cooperare propuse în literatură pentru rețele celulare consideră că un nod releu (RN) deservește un singur terminal utilizator (UT);
 - O astfel de schemă are limitări în ceea ce privește eficiența utilizării resurselor și eficiența spectrală asigurată;
- Acest dezavantaj se poate evita prin utilizarea unor scheme de cooperare în care releul deservește mai multe terminale;
 - Asigură o utilizare mai eficientă a resurselor adiționale asigurate de RN și creșterea diversității prin creșterea numărului de UT-uri;
 - Implementarea unei astfel de tehnici de cooperare se poate realiza prin utilizarea codării distribuite;
 - Asigură scăderea BER și PER și utilizarea mai eficientă a resurselor;
 - Este necesară adaptarea algoritmilor de selecție a releelor;

Tehnici de codare distribuite

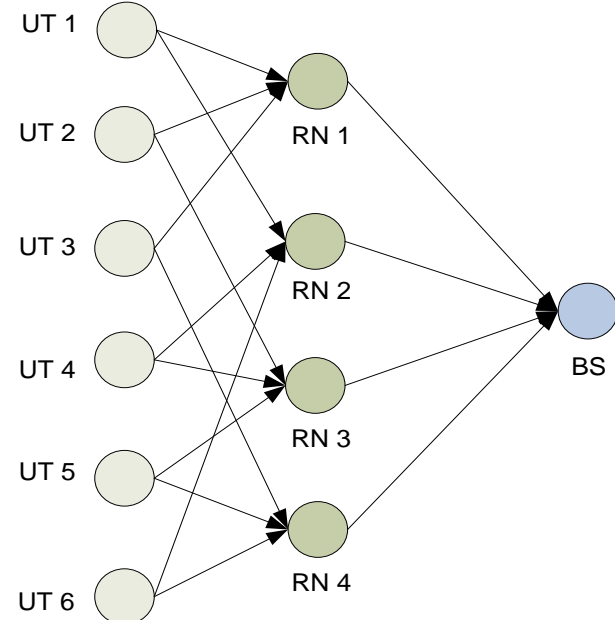
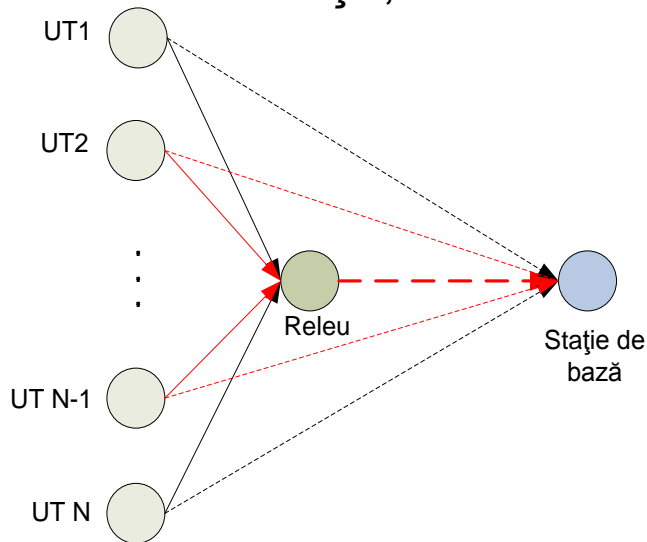


- Tehnicile de codare distribuită se bazează pe extinderea protocolului DF;
 - Se asigură în special câștig de codare și mai puțin câștig de diversitate;
 - Se pot utiliza și tehnici adaptive (sau selective) care activează sau modifică codarea cooperativă în funcțiile de condițiile de transmisie – de ex. în funcție de probabilitatea de decodare a legăturilor sursă - releu;
 - Scheme de codare distribuită mai complexe sunt reprezentate de tehnicile “Network Coding” (NC);
 - Codarea NC se poate combina cu codarea de canal (folosită pe linkurile sistemului cooperativ) pentru a se îmbunătăți performanțele de BER, PER și de eficiență spectrală;

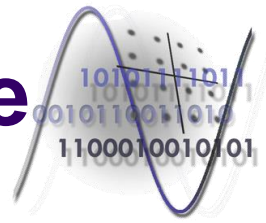
Tehnici de codare distribuite



- Scenarii de cooperare prin codare bazate pe topologii mai complexe:
 - Un releu deservește mai mulți utilizatori:
 - Un cluster de relee deservește mai multi utilizatori;
 - Tehnicile bazate pe NC sunt o soluție posibilă;
 - Codorul este distribuit în rețea; decodorul este localizat în nodul destinație;

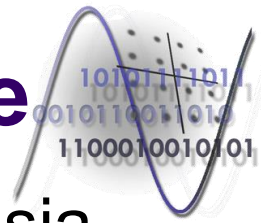


Tehnici de codare distribuite

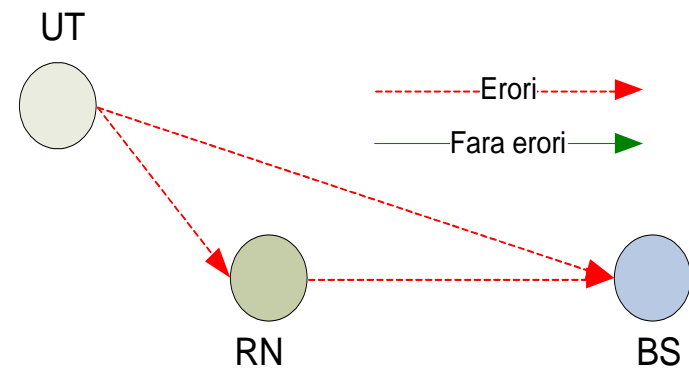
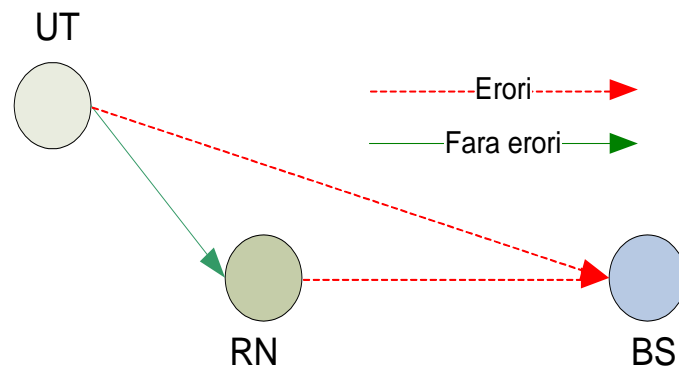


- Diferența dintre codarea distribuită și NC:
 - Codarea distribuită are o complexitate mai mică, nu combină date la mai mulți utilizatori și nu presupune utilizarea unui cod de separat – este practic codul de canal al canalului cu cooperare;
 - Tehnicile de codare cooperativă ce se pot aplica depind de sensul de transmisie:
 - Posibilitățile de codare distribuită nu sunt identice în uplink și în downlink;
 - Există tehnici de codare care sunt adaptate doar unui sens de transmisie și tehnici care se pot aplica la o transmisie bidirecțională - “two-way relay channel”, tehnica care utilizează FEC distribuit și NC;
 - Tehnica NC se poate adapta mai bine transmisiei uplink – există mai multe surse care transmit la o destinație;

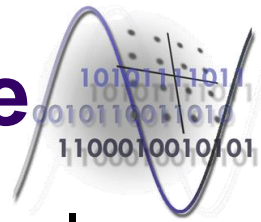
Tehnici de codare distribuite



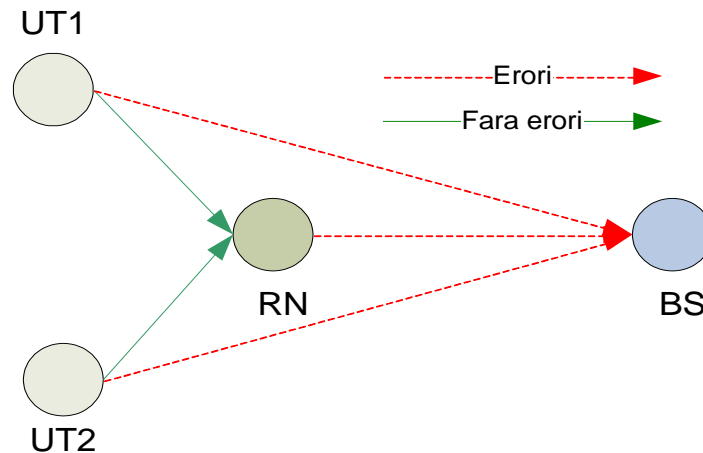
- Scenarii de utilizare a codării distribuite în transmisia uplink;
 - Se consideră situațiile în care releul deservește unu respectiv doi utilizatori – în acest caz este vorba de realizarea unei multiplexări la releu, resursele releului fiind partajate între cele două transmisii;
 - Se vor considera situațiile în care canalul sursă – releu este “error free” sau nu;



Tehnici de codare distribuite

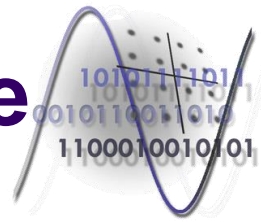


- Scenariu cu codare distribuită și multiplexare la releu;



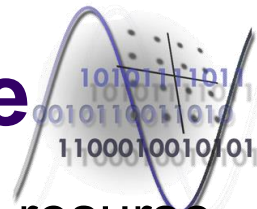
- Principiile schemei de transmisie și funcționalitățile releului:
 - Schemă de transmisie OFDMA care alocă la fiecare utilizator un chunk (unitate de alocare a resurselor) compus din S sub-purtătoare și E simboluri OFDM; purtătoarea canalului are frecvența F ;

Tehnici de codare distribuite



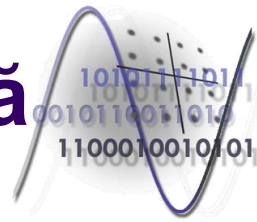
- Parametrii transmisiei:
 - Lărgimea de bandă: $BW_{ch} = f_s \cdot S$, unde f_s este separația dintre subpurtătoare;
 - Perioadă chunk: $T_{ch} = E(1+G)/f_s$; rată chunk $C_{ch} = 1/T_{ch}$; G este intervalul de gardă;
 - Numărul de simboluri QAM utile din chunk este U ;
- Releul poate lucra în mod full-duplex sau semi-duplex;
 - În modul de lucru full-duplex releul utilizează resurse de frecvență diferite (chunk-uri) diferite pentru emisie și recepție;
 - Protocol de cooperare va avea și în acest caz două etape de cooperare, dar timpul efectiv de transmisie cooperativă se va reduce datorită suprapunerilor celor două faze de la releu;
 - Timp de cooperare T_{ch} dacă releul deservește un UT; dacă releul deservește doi UT care au alocate resurse de frecvență diferite timpul de cooperare este tot T_{ch} ;

Tehnici de codare distribuite



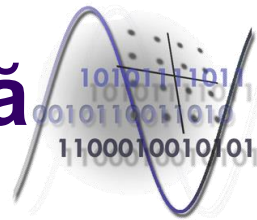
- În modul de lucru half-duplex releul utilizează aceleași resurse de frecvență atât pentru emisie cât și pentru recepție;
 - Timp de cooperare $2T_{ch}$ dacă releul deservește un UT și de $3T_{ch}/2 = 1.5 T_{ch}$ dacă deservește doi UT;
- Descrierea algoritmului:
 - În prima fază a transmisiei cooperative sursa trimite un cuvânt de cod către releu și destinație;
 - Releul decodează cuvântul de cod și în îl reencodează utilizând același cod, dar cu anumiți parametri modificați astfel încât să se genereze alți biți de control; releul trimite către destinație noul cuvânt de cod sau numai biții de control;
 - Destinația realizează o decodare combinată a celor două transmisii;
 - Se obține un câștig de codare și un anumit câștig de diversitate;

Codarea Turbo distribuită



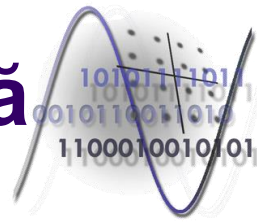
- Codurile corectoare sunt coduri convoluționale sistematice recursive puncturate (Recursive Systematic Convolutional code - RSC);
 - Aceste coduri permit adaptarea ușoară a debitului și generarea de biți de control suplimentari prin puncturare;
 - Rata codului părinte este R_p , iar rata codului puncturat este R_{UT} ; decodarea se realizează cu un decodor MAP (Maximum A Posteriori Probability) (8 iterații pe bloc codat reprezintă o soluție acceptabilă);
- Algoritmul de codare distribuit utilizează două faze:
 - Faza 1:
 - Fiecare stație mobilă (UT_i) codează N_i biți de informație utilizând același cod RSC de rată $R_p = 0.5$; biții de control generați sunt puncturați utilizând un algoritm de adaptare de debit (“Rate Matching”) propus pentru sistemul LTE, obținându-se rata transmisiei directe $R_{MS} = 0.75$ (în cazul de față); numărul de biți de control generați este:
$$N_{MS}^j = \frac{N_i^j}{R_{MS}}$$

Codarea Turbo distribuită



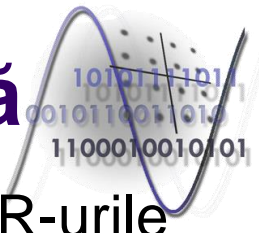
- cuvântul de cod obținut se trimite la RN și la UT pe canalele corespunzătoare utilizând resursele dedicate; BS demodulează aceste cuvinte de cod, calculează LLR-urile biților și așteaptă datele adiționale de la RN;
- Faza 2:
 - RN decodează blocurile recepționate utilizând un decodor MAP, întrețese separat biții decodați pe fiecare cale (N_i^j biți), apoi reencodează fiecare flux utilizând același cod convoluțional părinte; se aplică pentru fiecare flux în parte algoritmul de adaptare de debit, selectându-se din fiecare sursă un număr de biți de control suplimentari N_a^j ; în cazul particular considerat $N_a^j = N_{iUT}^j/2$; biții de control obținuți se de la cele două surse se multiplexează și se trimit pe canalul RN-BS.
- Observații: biții de control generați de UT și RN pot să nu fie legați de toți biții de informație sau pot fi biți de control de pe cele două căi legați de aceiași biți de informație – este nevoie de o selecție corespunzătoare a schemei de puncturare;

Codarea Turbo distribuită



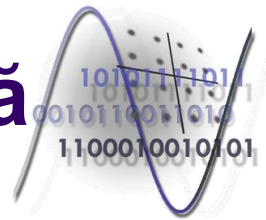
- Algoritm de decodare:
 - Receptorul din BS demodulează blocul recepționat de la RN și calculează valorile LLR ale biților (separat pentru fiecare flux); decodorul reface cuvintele generate de codul părinte pe baza schemei de puncturare umplând pozițiile lipsă cu zerouri;
 - Fiecare pereche de decodare MAP realizează un decodor turbo pentru un flux utilizator UT_i ;
 - cele două decodare componente schimbă informație extrinsecă și implementează un decodor turbo de rată globală:
$$R_g = \frac{N_i^j}{N_{MS}^j + N_a^j}$$
 - Dacă avem condiția: $N_a^j = N_{UT}^j/2$, atunci rata globală a codului turbo este:
$$R_g = \frac{N_i}{N_{UT} + N_{REL}} = \frac{N_i}{N_{UT} \cdot 1.5} = \frac{R_{UT}}{1.5}$$
 - Cele două decodare MAP 1 și 2 formează un decodor turbo pentru UT_i , folosind observațiile de pe canalul direct UT_i -BS (decodor MAP 1) și de pe canalul RN-BS (decodor MAP 2);

Codarea Turbo distribuită



- Observație: releul transmite numai biți de control – LLR-urile “apriori” ale biților de informație se obțin numai de pe calea directă, fapt ce poate reduce performanțele deoarece dezechilibrează decodorul turbo;.
- Performanțele algoritmului de codare Turbo distribuită;
 - Evaluarea performanțelor s-a realizat pe baza determinării câștigului de codare și a eficienței spectrale; ca și referință se utilizează transmisia directă cu un cod turbo cu aceeași rată; rata de codare considerată este 0.5;
 - Parametrii codurilor RSC utilizate și cei ai simulării sunt prezentați în tabelul următor:

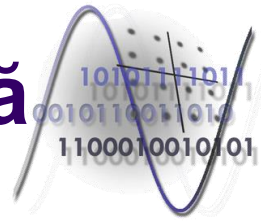
Codarea Turbo distribuită



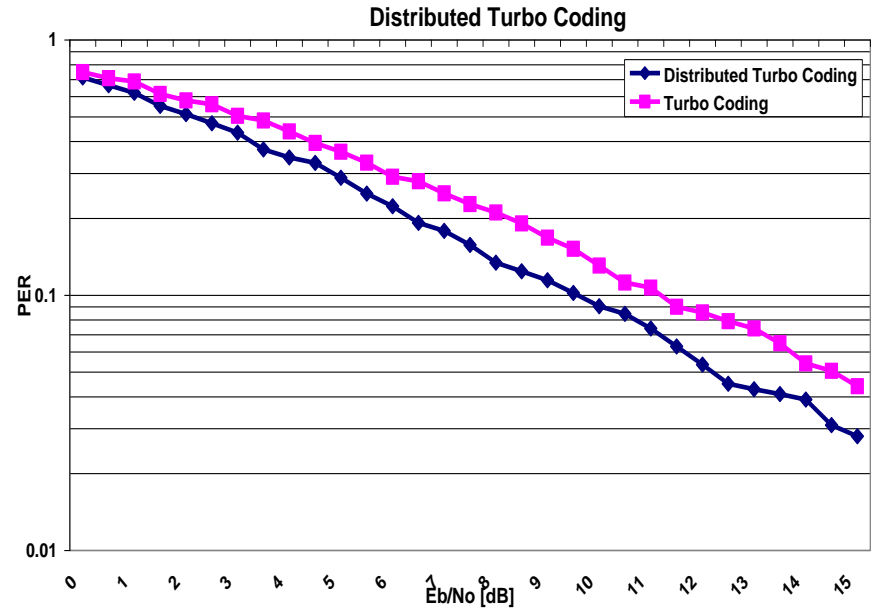
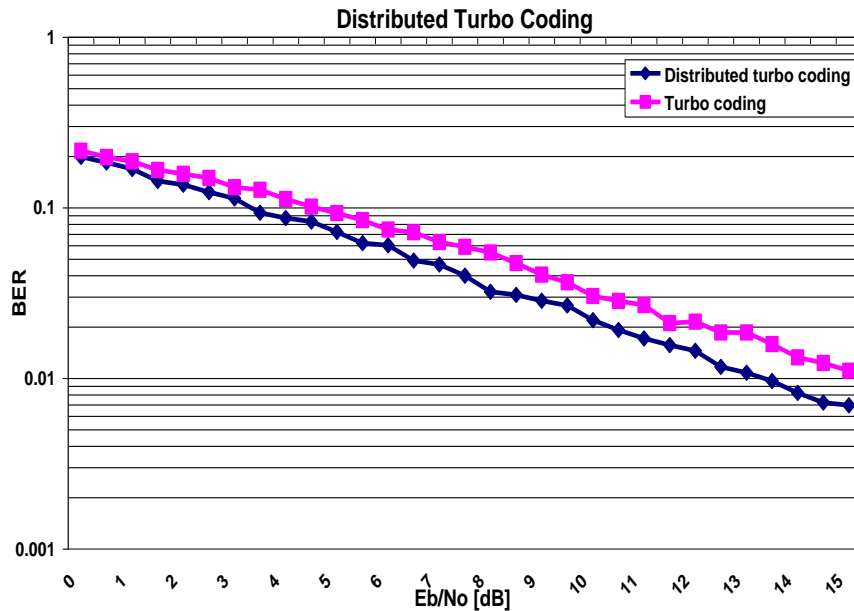
Polinom generator "feedback"	13 _g
Polinom generator "feedforward"	15 _g
Rată cod părinte	0.50
Rată de codare UT (R_{UT})	0.75
Nr. de iterații cod turbo	8
Nr. blocuri pentru fiecare valoare E_b/N_0	2000
Nr. biți informație/bloc	1500

- Valoarea de BER la care se calculează câștigul de codare obținut prin cooperare, CCG , este $BER_0 = 0.01$;
 - Performanțele de BER sunt date în funcție de raportul E_b/N_0 ;
 - Modelul de canal utilizat în teste este cel al canalului afectat de fading bloc Rayleigh (nu se consideră propagare multicale);
 - Canalele UT – RN se consideră atât fără cât și cu erori; se consideră canale de tip AWGN;
 - Canalul RN – BS are un SNR mai mare cu 6dB decât SNR-ul de pe canalul UT – BS;

Codarea Turbo distribuită

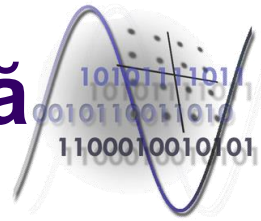


- Canal UT - RN fără erori;

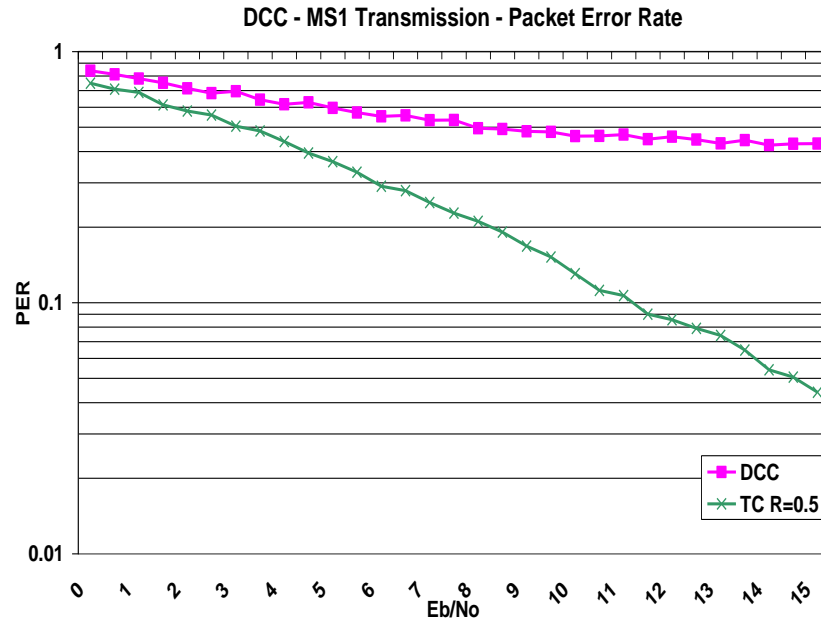
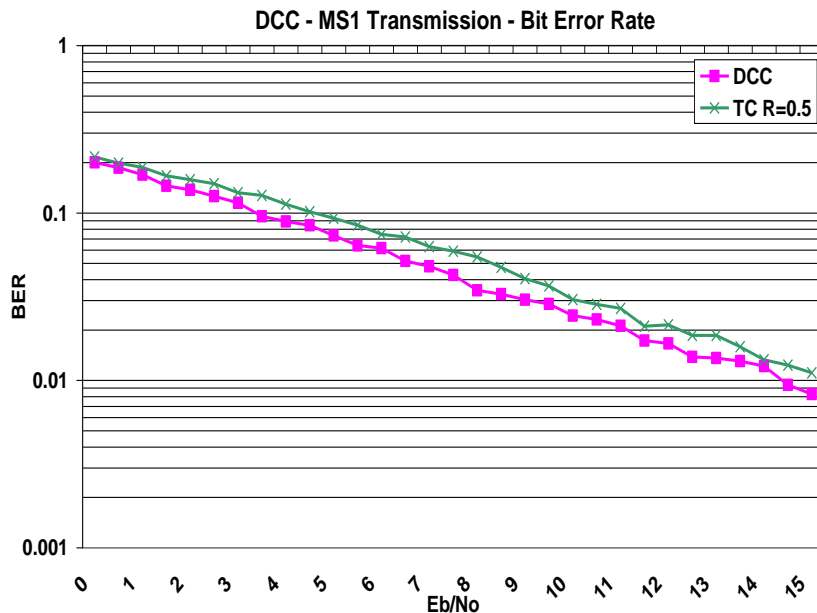


- Câștigul obținut este relativ redus

Codarea Turbo distribuită

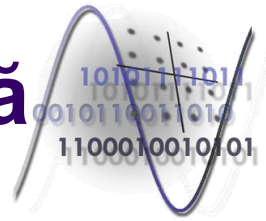


- Canal UT - RN cu erori;



- Pentru valori relativ mari ale BER pe canalul UT – RN este posibil ca codarea cooperativă să aibă BER și PER mai slabe (PER chiar foarte slab);

Codarea Turbo distribuită



● Performanțe de eficiență spectrală:

$$\eta_{c2}(\text{SNR})[\text{bps} / \text{Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{(1+G) \cdot E \cdot S \cdot 1.5 \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{c2})$$

$$= \frac{R_{UT}}{(1+G) \cdot 1.5} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) \quad \text{Sim} - 2\text{UT};$$

$$\eta_{c1}(\text{SNR})[\text{bps} / \text{Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{2 \cdot BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{c1}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{(1+G) \cdot E \cdot S \cdot 2 \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{c1})$$

$$= \frac{R_{UT}}{(1+G) \cdot 2} \cdot (1 - \text{PER}_{c1}) = 0.33 \cdot (1 - \text{PER}_{c1}) \quad \text{Sim} - 1\text{UT};$$

$$\eta_{c2}(\text{SNR})[\text{bps} / \text{Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G) \cdot E \cdot S \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{c2})$$

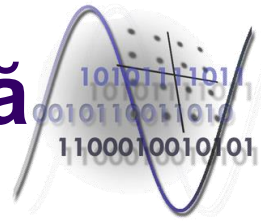
$$= \frac{R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G)} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = 0,44 \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) \quad \text{Con} - 2\text{UTs}$$

$$\eta_{c1}(\text{SNR})[\text{bps} / \text{Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{2 \cdot (1+G) \cdot E \cdot S \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{c2})$$

$$= \frac{R_{UT}}{2 \cdot (1+G)} \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) = 0,33 \cdot (1 - \text{PER}_{c2}) \quad \text{Con} - 1\text{UTs}$$

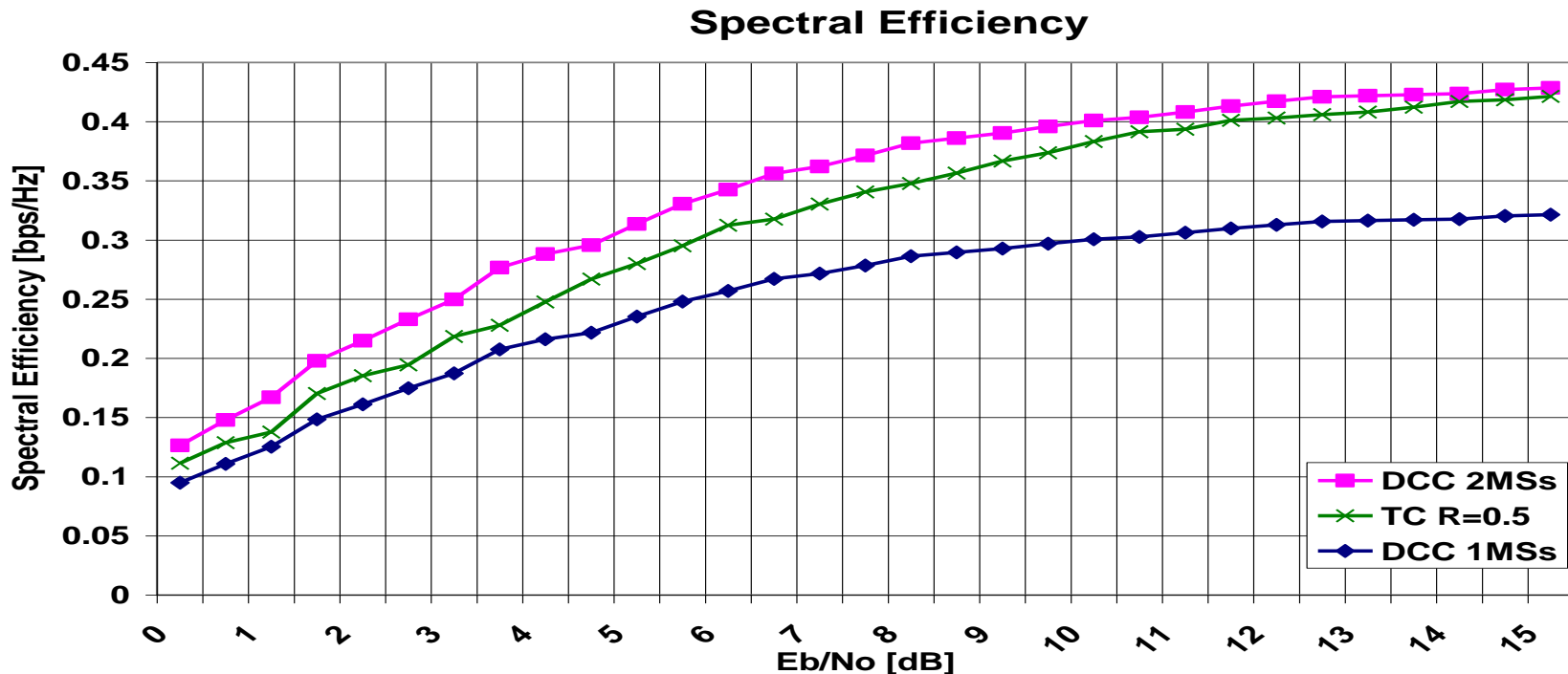
● Sim – “full duplex” ; Con – “half duplex”

Codarea Turbo distribuită

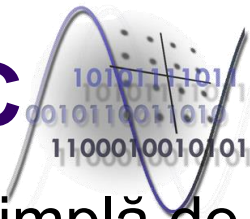


- Eficiență spectrală transmisie directă:

$$\eta_d(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{\text{ch}} \cdot U \cdot n \cdot R_g}{\text{BW}_{\text{ch}}} \cdot (1 - \text{PER}_d) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_d) \quad \text{Dir}$$

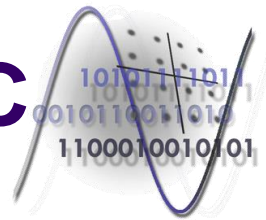


- Complexitate: este necesar un decodor MAP în RN și unul turbo în BS pentru 1UT și de două decodoare pentru 2UT;

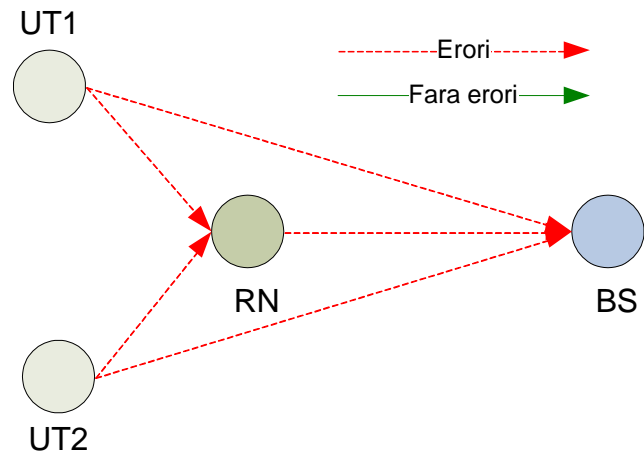
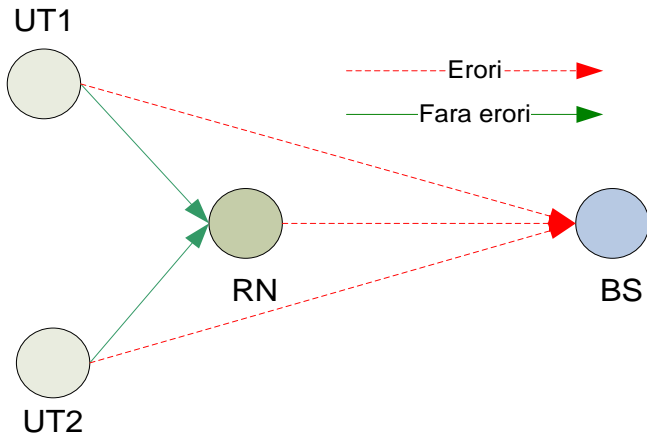


- Acest algoritm combină codarea de canal cu o formă simplă de NC;
 - Se permite utilizarea mai eficientă a resurselor releului atunci când mai multe terminale sunt conectate la releu; se asigură și corecția unui număr de blocuri eronate;
 - Câteva scenarii de analiză simple legate de SNCC (2UT conectați la același RN):
 - Scenariu simetric în care canalele UT – RN sunt fără erori;
 - Scenariu simetric în care canalele UT – RN sunt cu erori;
 - Scenariu asimetric în care canalele UT – RN sunt fără erori;
 - În scenariile simetrice ambele terminale sunt ajutate de releu, fiind poziționate mai prost față de acesta;
 - În scenariul asimetric doar unul dintre relee este ajutat de către releu, celălalt terminal fiind poziționat mai bine – acest terminal este practic un releu pentru celălalt terminal;

Cooperarea SNCC

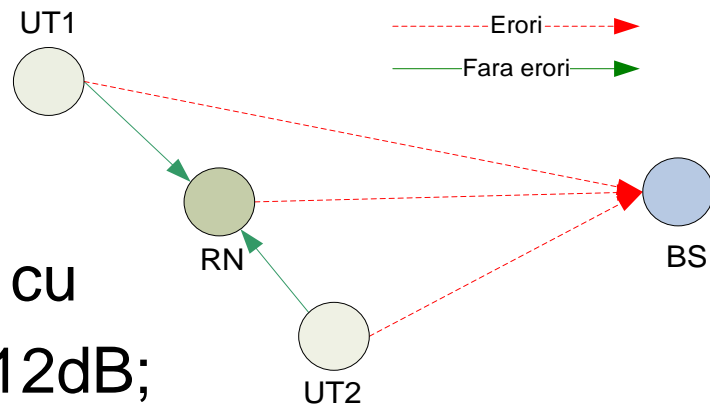


- Scenarii simetrice:

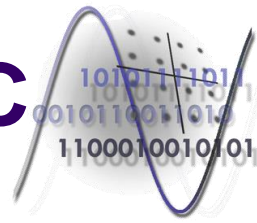


- Scenariu asimetric:

- Se consideră că canalul RN – BS are un SNR mai bun cu 6dB, iar canalul UT2 – BS cu 12dB;

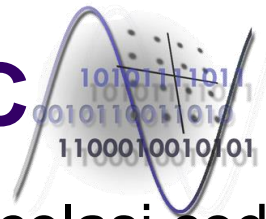


Cooperarea SNCC



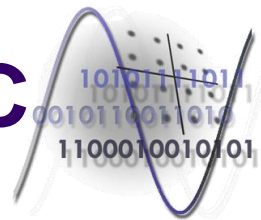
- Descrierea algoritmului de codare cooperativă:
 - Algoritmul se bazează pe separarea proceselor de codare a canalului și de codare a rețelei;
 - Codarea rețelei este utilizată pentru a eficientiza utilizarea resurselor atunci când releul deservește mai multe terminale;
 - Codarea rețelei are loc în domeniul binar, utilizând datele binare generate de către decodoarele de canal;
 - Fiecare UT codează N_i biți de informație utilizând același codor turbo și aceeași schemă de puncturare; rata de codare obținută pe canalele UT^i -RN și UT^i -BS este R_{UT} iar lungimea cuvântului de cod este N_{UT} ;
 - Stația de bază salvează blocurile recepționate pe căile directe și așteaptă informații adiționale de la RN;
 - RN decodează datele recepționate de la UT și le combină utilizând o operație XOR :
$$\mathbf{x}_{j,REL} = \mathbf{x}_{j,UT^1} \oplus \mathbf{x}_{j,UT^2}, j = 1, N_i$$

Cooperarea SNCC

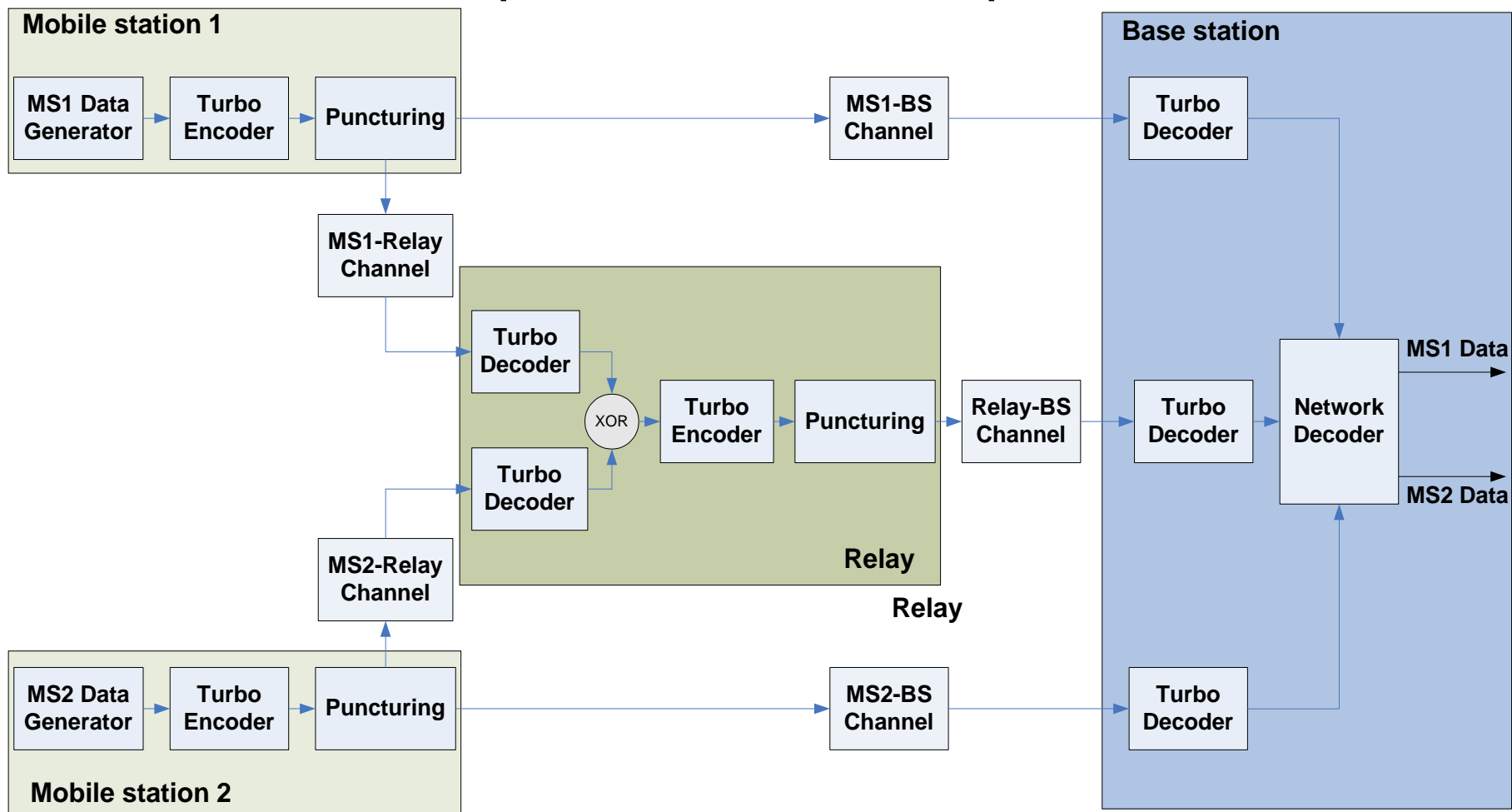


- Releul codează secvența binară combinată utilizând același cod turbo și aceeași schemă de puncturare; rata de codare și lungimea blocurilor de date sunt identice cu cele de pe legătura directă, adică R_{UT} și N_{UT} ;
- BS decodează blocurile recepționate pe căile directe și verifică integritatea acestor blocuri utilizând controale CRC;
 - Dacă cuvintele recepționate pe calea directă sunt corecte atunci decodarea s-a încheiat cu succes; dacă ambele blocuri sunt eronate atunci decodarea nu este posibilă;
 - Se poate observa că este vorba de o decodare bloc cu bloc;
 - Dacă doar unul dintre blocurile recepționate pe calea directă este eronat atunci se verifică integritatea blocului recepționat de la releu și se efectuează decodarea NC;
 - Se corectează blocul eronat pe baza blocului corect și a celui recepționat de la releu;
 - Dacă blocul recepționat de la releu este eronat atunci nu se poate realiza decodarea;

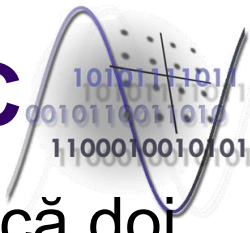
Cooperarea SNCC



- Schema bloc a procesului de cooperare SNCC



Cooperarea SNCC

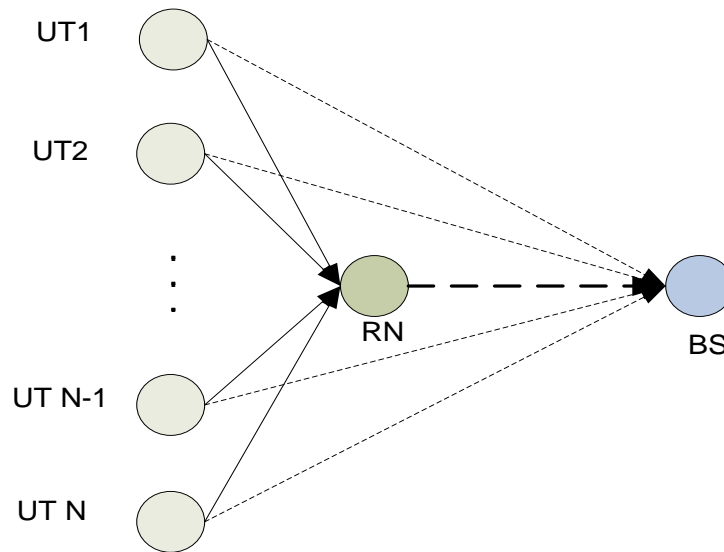
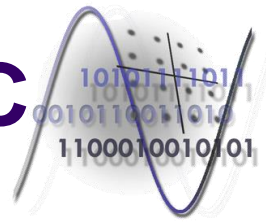


- Schema de cooperare permite ca RN să servească doi utilizatori folosind doar o singură unitate de resurse;
- Rata de codare globală în situația în care se trimit două blocuri de informație de N_i biți utilizează trei blocuri codate de lungime N_{UT} este:

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

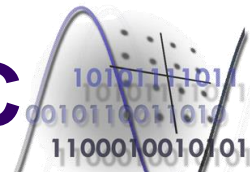
- Evaluarea teoretică a performanțelor algoritmului SNCC
 - Se urmărește analiza probabilității de eroare pe bloc în funcție de numărul de UT-uri deservite de releu; ca referință se utilizează transmisia directă;
 - Pentru analiză se va considera cazul general în care avem N terminale UT_j , $j=1, \dots, N$;

Cooperarea SNCC



- Un pachet transmis de către UT^j , $j=1, \dots, N$ este decodat corect de către algoritmul SNCC fie dacă pachetul este decodat corect pe calea directă UT^j -BS sau dacă pachetul este decodat eronat pe calea directă și toate celelalte pachete de pe căile directe și pachetul de pe calea RN-BS sunt decodate corect;

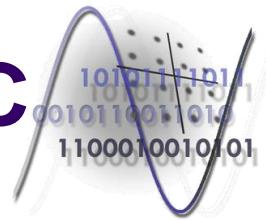
Cooperarea SNCC



- Probabilitatea de eroare pe bloc (pachet) pe canalele UT_i-BS asigurat de algoritmul SNCC este dat de:

$$PER_{SNCC}^{UT_j} = 1 - \left[\left(1 - PER_{UT_j}\right) + PER_{UT_j} \cdot \left(1 - PER_{RN}\right) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \left(1 - PER_{UT_i}\right) \right] =$$
$$= PER_{UT_j} - PER_{UT_j} \cdot \left(1 - PER_{RN}\right) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \left(1 - PER_{UT_i}\right)$$

- Se poate defini un factor de îmbunătățire a parametrului PER, factorul $PERIF_{SNCC}^{UT_j}$, față de transmisia directă;
 - Inversul acestui factor arată de câte ori este micșorat parametrul PER de pe calea directă prin utilizarea SNCC;
 - Valoarea acestui factor trebuie să fie cât mai mică; $0 < PERIF_{SNCC}^{UT_j} < 1$;
 - Acest paramteru crește odată cu creșterea numărului de terminale deservite de RN – numărul de UT trebuie să fie mic pentru a se obține performanțe bune de PER; trebuie considerate și probleme legate de semnalizare – un număr de 2 UT deservite este o valoare acceptabilă;

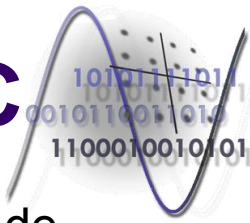


- Factorul de îmbunătățire a PER-ului:

$$\begin{aligned}
 PERIF_{SNCC}^{UTj} &= \frac{PER_{SNCC}^{UTj}}{PER_{UTj}} = \frac{PER_{UTj} - PER_{UTj} \cdot (1 - PER_{RN}) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N (1 - PER_{UTi})}{PER_{UTj}} = \\
 &= 1 - (1 - PER_{RN}) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N (1 - PER_{UTi}) \Rightarrow PER_{SNCC}^{UTj} = PERIF_{SNCC}^{UTj} \cdot PER_{UTj}
 \end{aligned}$$

- Evaluarea eficienței spectrale pentru situația cu două terminale:
 - Eficiența spectrală asigurată de schema de codare cooperativă este afectată semnificativ de schema de transmisie utilizată și de funcționalitățile disponibile la releu;
 - Intervalul de timp și banda utilizată de transmisia cooperativă depind de modul în care se realizează aloarea resurselor pe canalele UT_i-BS și RN-BS;
 - Mai exact dacă se alocă intervale de timp sau de frecvență separate pentru fiecare din canalele amintite – vezi discuția de la codarea distribuită;

Cooperarea SNCC



- În cazul modului de lucru “full-duplex”, adică se utilizează resurse de frecvență separate pentru canalele UT – RN și RN – BS intervalul de timp dintre două transmisii ale sursei este T_{ch} , iar banda alocată unei transmisii este $1.5 BW_{ch}$; se consideră că se utilizează o singură unitate de alocare în frecvență pe fiecare canal, dar unități diferite;
- În cazul modului de lucru “half-duplex” se utilizează o singură unitate de alocare de frecvență pe fiecare canal, ortogonalitatea transmisiilor asigurându-se în timp; intervalul de timp mediu echivalent între două transmisii ale unui utilizator este $1.5 T_{ch}$ în timp ce banda alocată este egală cu BW_{ch} ;

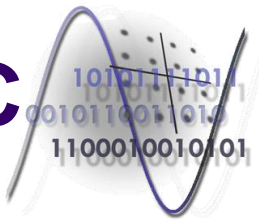
$$\eta_{SN}(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) =$$

$$= \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{(1+G) \cdot E \cdot S \cdot 1.5 \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) = \frac{R_{UT}}{(1+G) \cdot 1.5} \cdot (1 - \text{PER}_{SNCC}) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) \quad \text{Con}$$

$$\eta_{SN}(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) =$$

$$= \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G) \cdot E \cdot S \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) = \frac{R_{UT}}{1.5 \cdot (1+G)} \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) = 0,44 \cdot (1 - \text{PER}_{SN}) \quad \text{Sim}$$

Cooperarea SNCC



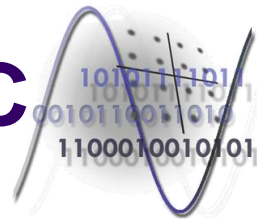
- Eficiența spectrală a transmisiei directe:

$$\eta_d(\text{SNR})[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{\text{ch}} \cdot U \cdot n \cdot R_g}{\text{BW}_{\text{ch}}} \cdot (1 - \text{PER}_d) = 0.44 \cdot (1 - \text{PER}_d) \quad \text{Dir (b)}$$

- Performanțele algoritmului SNCC:

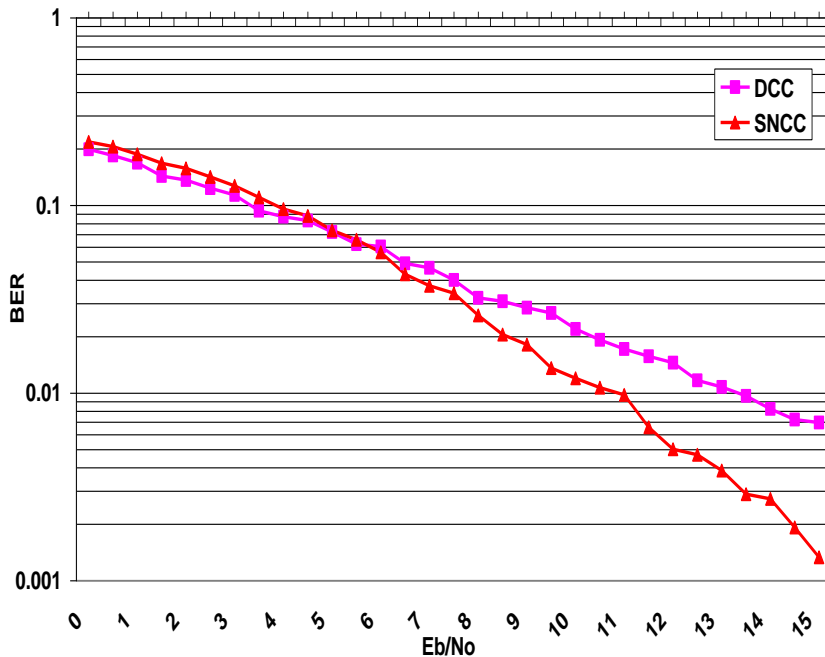
- Se consideră: $G=1/8 T_s$, $R_{\text{UT}} = 0.75$, $R_g = 0.5$;
- Câștigul de codare se evaluează în funcție de raportul the E_b/N_0 și la valoarea $\text{BER}_0 = 0.01$.
- Parametrii simulării sunt cei specificați la codarea distribuită – vezi tabel de pe slide 16;
- Sistemul de referință este tansmisia directă folosind codarea turbo cu rata 0.5, respectiv codarea turbo distribuită cu aceeași rată gobală;
- Canalele sunt considerate afectate de fading bloc cu excepția legăturilor UT – RN, care sunt considerate AWGN; vezi slide pentru condițiile test;

Cooperarea SNCC

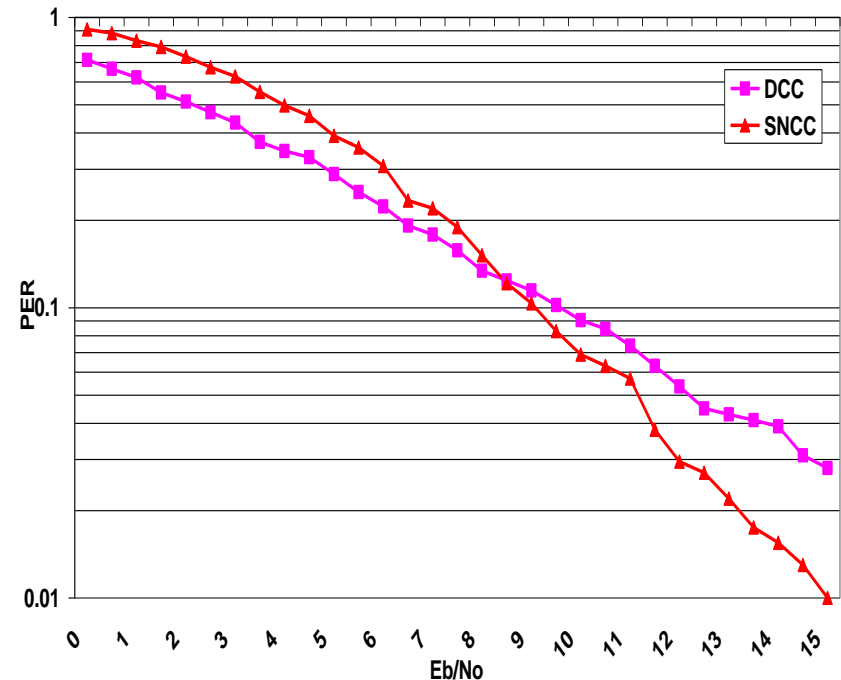


- Performanțe BER și PER pentru un scenariu simetric fără erori pe legăturile UT – RN;

SNCC - MS1 Transmission Bit Error Rate

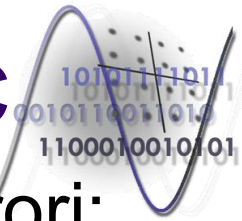


SNCC - MS1 Transmission - Packet Error Rate

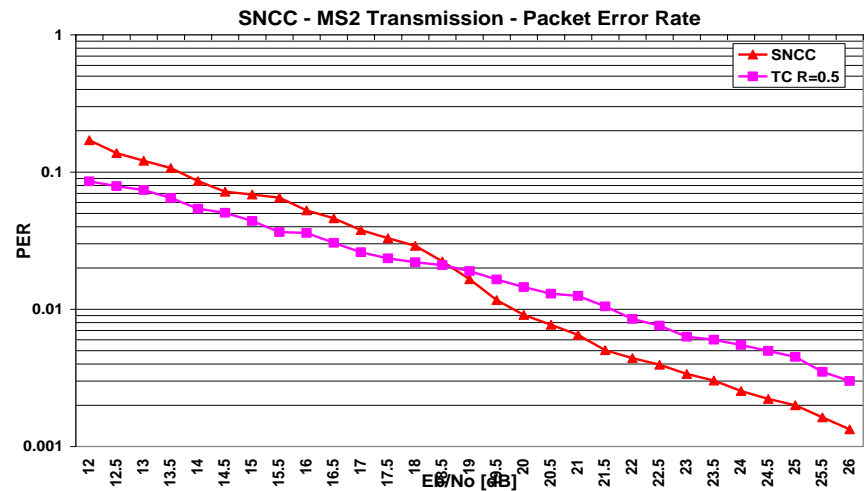
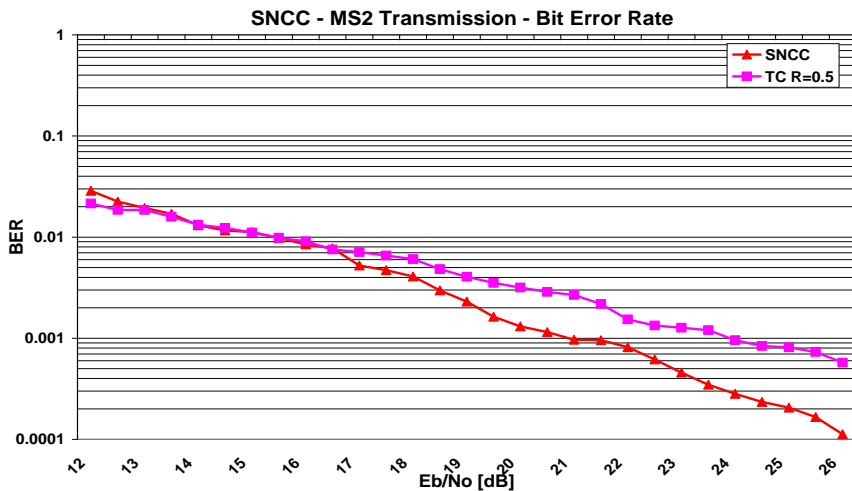
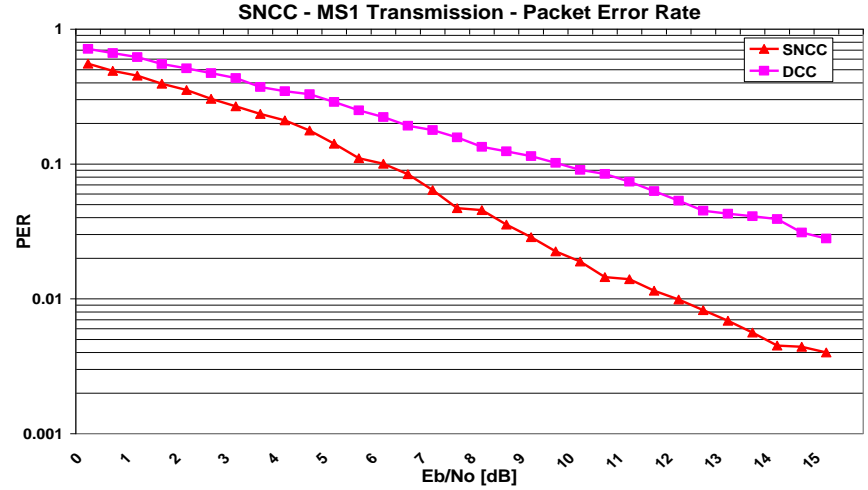
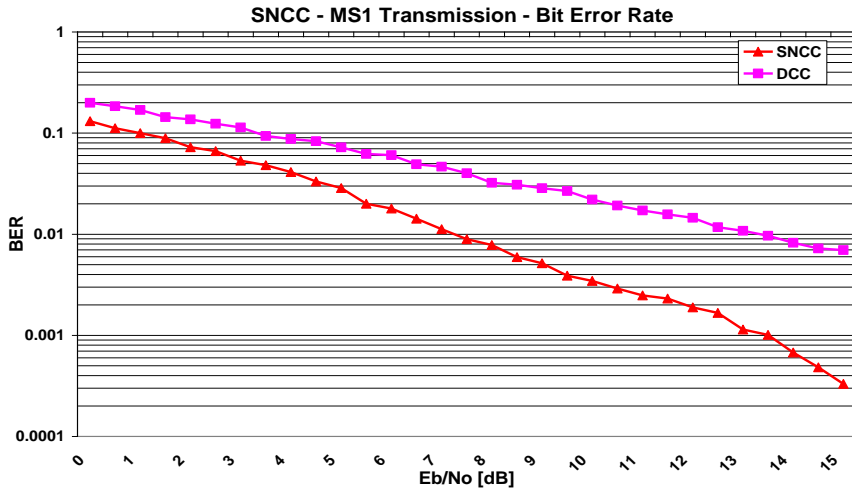


- SNCC asigură performanțe de BER și PER mai bune decât codarea distribuită numai la valori “mari” ale SNR de pe legătura directă;

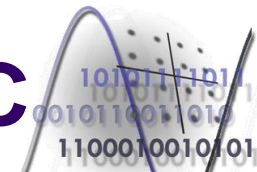
Cooperarea SNCC



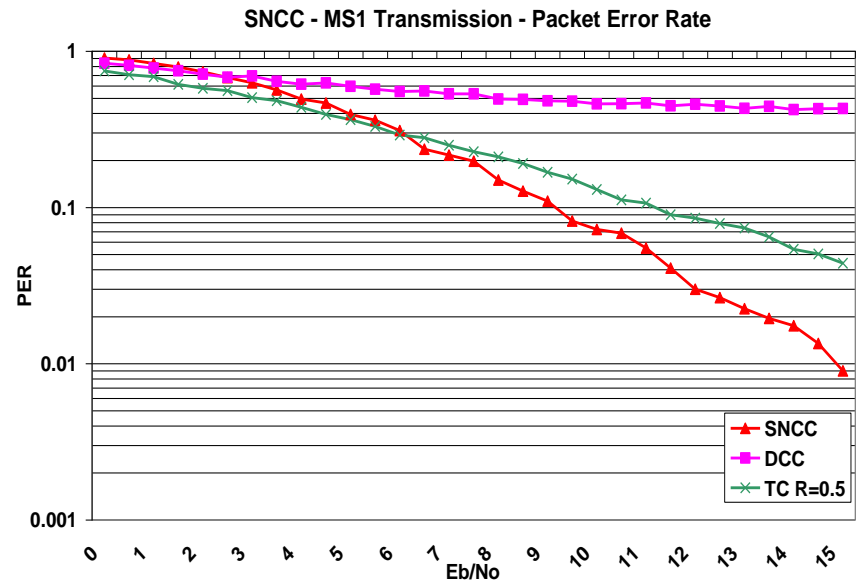
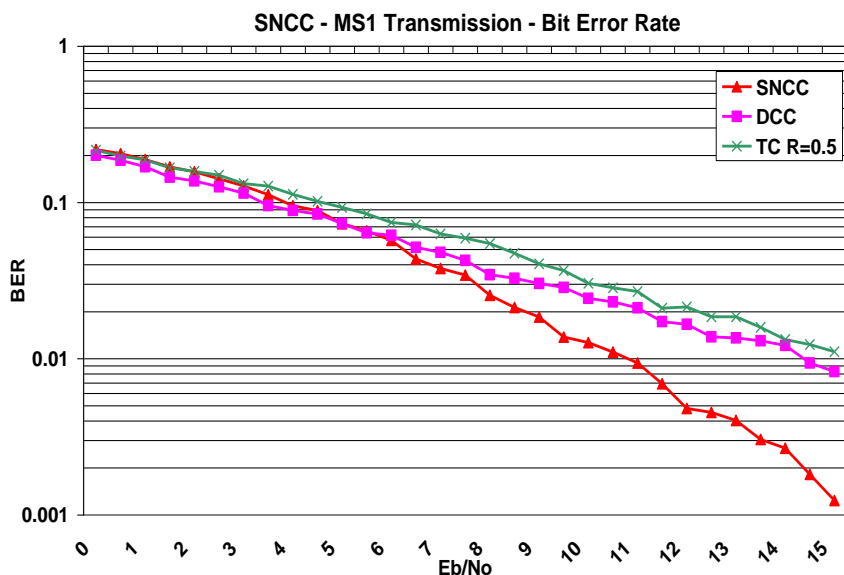
● Scenariu asimetric cu legături UT – RN fără erori;



Cooperarea SNCC

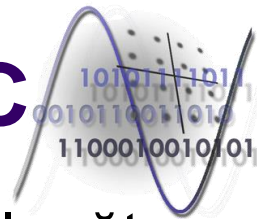


- Îmbunătățirea de performanțe este semnificativă pentru UT1 situat mai departe de BS și este redusă sau chiar negativă pentru UT2 situat mai aproape de BS;
- Scenarii simetrice cu canale UT – RN afectate de erori;

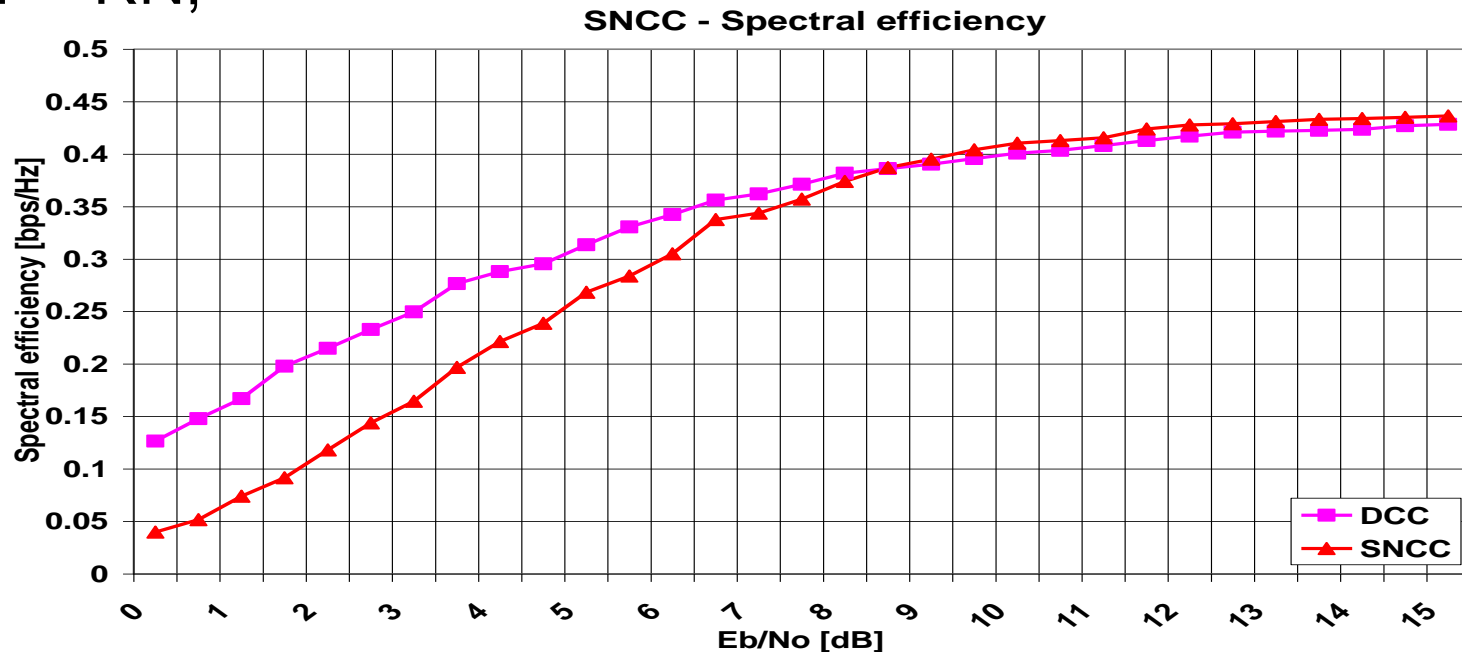


- Câștigurile asigurate de SNCC sunt mai mari decât cele ale DCC în condițiile în care avem erori pe legătura UT – RN;

Cooperarea SNCC

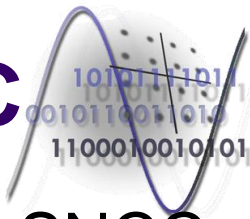


- Eficiența spectrală pentru cazul simetric fără erori pe legătura UT – RN;



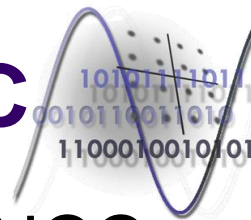
- Eficiența spectrală a algoritmului SNCC la SNR mic este mai mică datorită PER mai mare decât cel al algoritmului DCC;
- Dacă avem erori situația se poate modifica datorită faptului că PER SNCC este mai mic decât PER DCC;

Cooperarea LC-SNCC

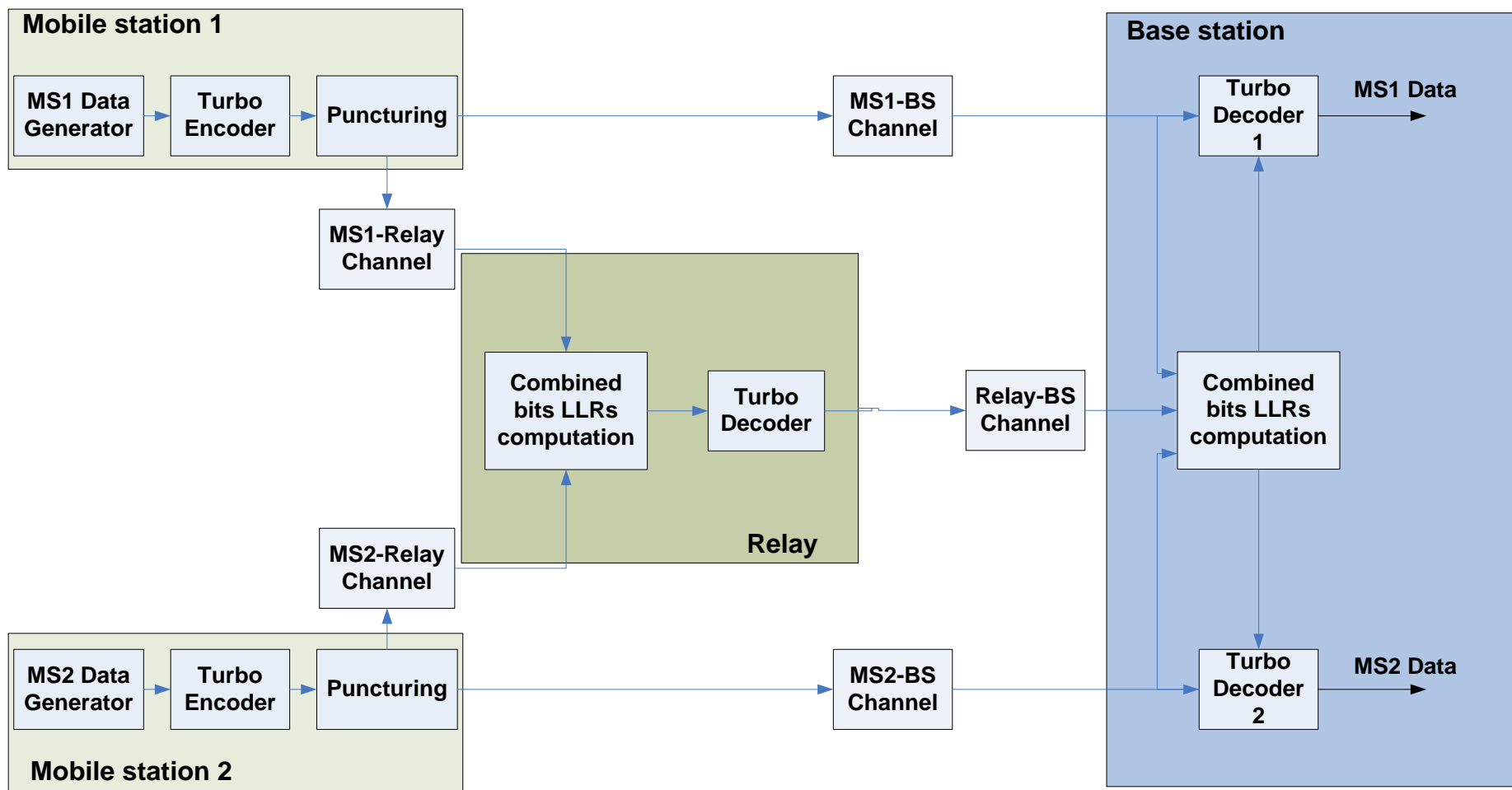


- LC-SNCC este o variantă simplificată a algoritmului SNCC;
 - Se consideră cazul în care releul deservește două terminale;
- Scenariile de analiză considerate:
 - Se consideră scenariile de analiză descrise la algoritmul SNCC – vezi slide 22;
- Descrierea algoritmului:
 - Ideea de bază a acestui algoritm este reducerea complexității algoritmului SNCC prin utilizarea proprietății de liniaritate a codurilor turbo, adică combinația liniară a două cuvinte de cod turbo este tot un cuvânt de cod turbo;
 - Algoritmul SNCC necesită două decodări și un codor turbo la releu – se încearcă reducerea complexității la RN;

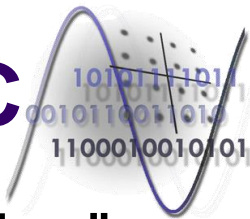
Cooperarea LC-SNCC



- Schema bloc a procesului de cooperare LC-SNCC;

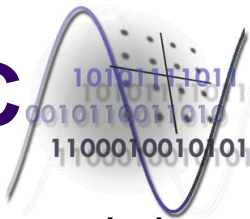


Cooperarea LC-SNCC



- Prin utilizarea conceptului de “soft network coding” se reduce complexitatea algoritmului SNCC în RN și BS;
- Considerând liniaritatea codurilor turbo și faptul că procesul de codare NC este o mapare liniară ordinea acestor procese poate fi inversată – vezi fig. slide 37;
 - Această inversare se poate realiza prin calcularea la RN a parametrilor LLR a datelor (biților) recepționați de la UT^1 ($X1$) și de la UT^2 ($X2$) urmată de calculul parametrului LLR pentru biții fluxului codat; pe baza acestor valori LLR are loc decodarea turbo la releu – este nevoie de un singur decodor turbo la releu;
 - Parametrul LLR a secvenței codate NC $X1 \oplus X2$ se poate calcula pe baza observațiilor de pe canalele UT^i -RN astfel:

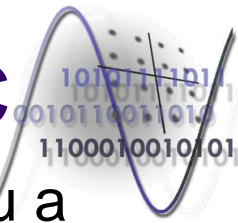
Cooperarea LC-SNCC



$$LLR_{X1 \oplus X2} = \ln \left(\frac{1 + e^{(LLR_{X1} + LLR_{X2})}}{e^{LLR_{X1}} + e^{LLR_{X2}}} \right) \approx \text{sign}(LLR_{X1}) \cdot \text{sign}(LLR_{X2}) \cdot \min(|LLR_{X1}|, |LLR_{X2}|) \quad (a)$$

- Prin decodarea turbo a valorilor LLR se obține blocul de date codat NC după decodarea de canal, bloc care este transmis pe canalul RN-BS fără nici o codare de canal - aceasta este o altă modificare a algoritmului SNCC care reduce complexitatea la rețea;
- Stația de bază este echipată doar cu două decodări turbo în loc de trei decodări turbo cerute de algoritmul SNCC;
 - Valorile LLR folosite pentru decodare se extrag de pe canalele UT_i-BS și de pe canalul RN-BS;

Cooperarea LC-SNCC

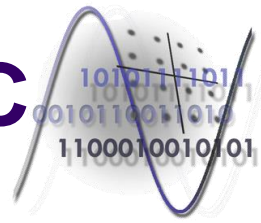


- Valorile LLR de pe canalul RN-BS sunt utilizate pentru a calcula informația adițională pentru cele două decodări turbo ale celor două fluxuri de date;
- Cele două fluxuri sunt decodate turbo separat utilizând observațiile de pe canalul direct și informațiile adiționale de pe canalul RN – BS și de pe cealaltă legătură directă;

$$\text{LLR}_{\text{additional}}^{\text{UT1}} = \ln \left(\frac{1 + e^{(\text{LLR}_{\text{RN}} + \text{LLR}_{\text{UT2}})}}{e^{\text{LLR}_{\text{RN}}} + e^{\text{LLR}_{\text{UT2}}}} \right); \quad \text{LLR}_{\text{additional}}^{\text{UT2}} = \ln \left(\frac{1 + e^{(\text{LLR}_{\text{RN}} + \text{LLR}_{\text{UT1}})}}{e^{\text{LLR}_{\text{RN}}} + e^{\text{LLR}_{\text{UT1}}}} \right);$$

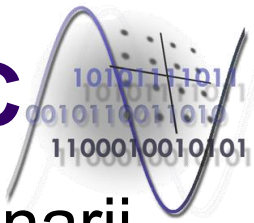
- Prin utilizarea aproximărilor date de relația (a) complexitatea calcului valorilor LLR adiționale se pot reduce semnificativ;
- Deoarece datele generate de releu sunt transmise necodate rata de codare globală crește:

$$R_g = \frac{2 \cdot N_i}{2 \cdot N_{\text{UT}} + N_i} = \frac{2 \cdot N_i \cdot R_{\text{UT}}}{2 \cdot N_i + R_{\text{UT}} \cdot N_i} = \frac{2 \cdot R_{\text{UT}}}{2 + R_{\text{UT}}}$$



- Evaluarea eficienței spectrale:
 - Evaluarea eficienței spectrale se realizează în condițiile descrise la algoritmi anteriori;
 - În cazul unor operații de tip “full-duplex” care asigură o transmisie continuă pe canalele UT_i-BS și RN-BS (scenariul Sim), intervalul de timp dintre transmisia a două mesaje consecutive este T_{ch} , iar banda necesară pentru transmisia unui terminal este: $\frac{2 + R_{MS}}{2} \cdot BW_{ch}$
 - În cazul unor operații “half-duplex” (scenariul Con) se utilizează o lărgime de bandă BW_{ch} , iar intervalul de timp necesar pentru transmisia unui pachet de către un terminal este: $\frac{2 + R_{MS}}{2} \cdot T_{ch}$; R_{MS} -este rata codării pe legătura directă;

Cooperarea LC-SNCC

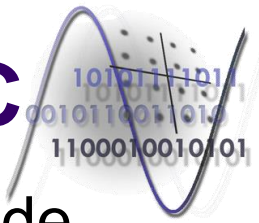


- Eficiența spectrală se calculează în cele două scenarii specificate pentru utilizarea resurselor (Sim și Con):
 - Intervalul de gardă este $G=1/8T_s$, $R_{UT} = 0.75$;
 - Transmisia directă utilizează o rată de codare $R_g=0.5$, un interval de timp de un T_{ch} și o lărgime de bandă egală cu BW_{ch} ;

$$\eta_{LC}(SNR)[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{(1 + G) \cdot E \cdot S \cdot 1.458 \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) =$$
$$= \frac{R_{UT}}{(1 + G) \cdot 1.458} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) = 0.457 \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) \quad \text{Con}$$

$$\eta_{LC}(SNR)[\text{bps/Hz}] = \frac{C_{ch} \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.458 \cdot BW_{ch}} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) = \frac{f_s \cdot U \cdot n \cdot R_{UT}}{1.458 \cdot (1 + G) \cdot E \cdot S \cdot f_s} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) =$$
$$= \frac{R_{UT}}{1.458 \cdot (1 + G)} \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) = 0.457 \cdot (1 - \text{PER}_{LC}) \quad \text{Sim}$$

Cooperarea LC-SNCC



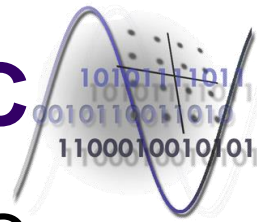
- Eficiență spectrală a transmisie directă este cea dată de relația (b) slide 31;
- Performanțele algoritmului LC-SNCC:
 - Evaluarea performanțelor algoritmului LC-SNCC se realizează în aceeași condiții ca și în cazul algoritmului SNCC;
 - Parametrii codurilor RSC sunt cele din tabelul dat în slide 16, iar scenariile de test sunt cele din slide 22;
- Performanțe de BER și PER:
 - Sunt similare cu cele ale SNCC; performanțele de BER sunt puțin mai bune, iar cele de PER ceva mai slabe (avem altă distribuție a erorilor) – concluziile sunt aproximativ valabile pentru toate scenariile considerate;
- Eficiența spectrală:
 - Este similară cu cea a algoritmului SNCC;

Cooperarea JNCC

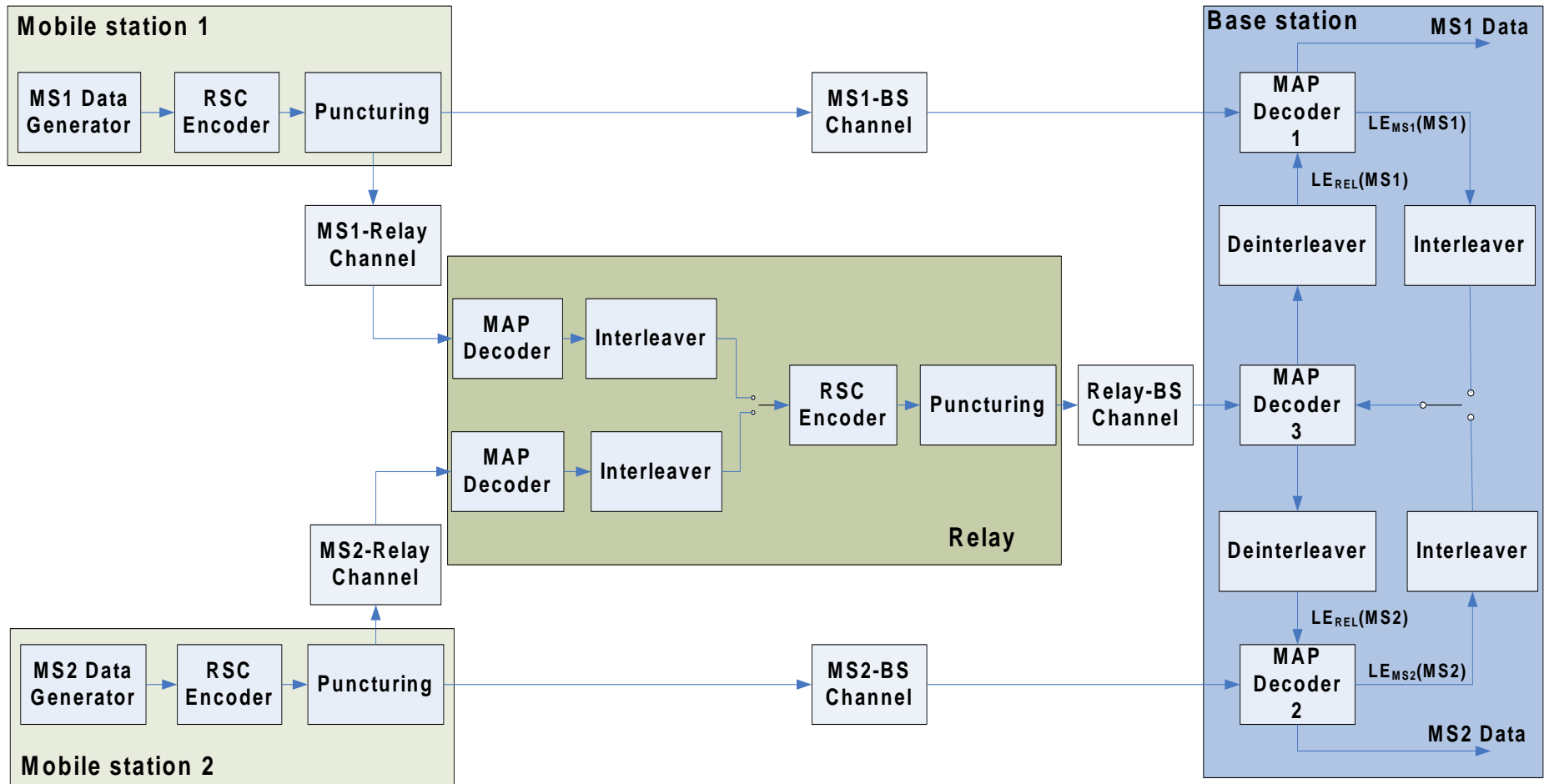


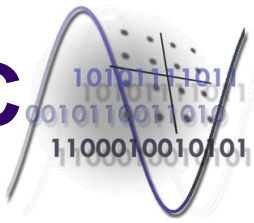
- Algoritmul urmărește utilizarea combinată a codării de canal și a unor forme simple de NC pentru conexiunea uplink;
 - Se presupune că RN deservește două terminale UT^i , $j = 1, 2$.
 - Numărul de terminale conectate la releu se poate extinde, dar acest lucru va duce la complicarea algoritmilor de alocare a resurselor și a semnalizării;
- Scenarii utilizate pentru analiză:
 - Se utilizează aceleași scenarii ca și cele definite în cazul SNCC – vezi slide 22;
 - Se consideră canale cu fading Rayleigh bloc, cu excepția canalelor UT – RN, care se consideră AWGN;

Cooperarea JNCC



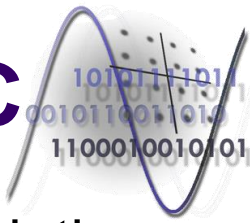
- Schema bloc a procesului de cooperare JNCC





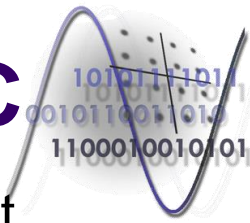
- Descrierea algoritmului:
 - Fiecare din cele două terminale UT codează N_i biți de informație utilizând același codor RSC cu rata R_{UT} și transmite blocurile codate pe canalele UT^i -RN și UT^i -BS;
 - BS realizează demodularea și demaparea soft și calculează valorile (LLR) a biților recepționați și așteaptă valorile adiționale de LLR de pe canalul RN-BS;
 - RN decodează datele recepționate de ambii UT;
 - Cele două fluxuri de date decodate sunt întreșesute și combinate
 - Cele două fluxuri decodate sunt multiplexate și apoi sunt codate cu un cod RSC identic generându-se fluxul de date al RN;
 - Operația de multiplexare din RN se poate considera o formă de NC;

Cooperarea JNCC

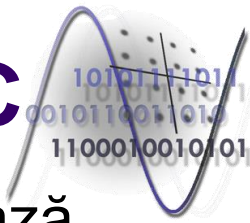


- Releul generează prin codare un număr de $\frac{2 \cdot N_i}{R_{MS}}$ biți codați, care se limitează prin puncturare la $N_{UT} = N_{MS}$ biți de control;
- Rata globală a acestei scheme este egală cu cea asigurată de algoritmul SNCC:
$$R_g = \frac{2 \cdot N_i}{3 \cdot N_{MS}} = \frac{R_{MS}}{1.5}$$
 - Rata de codare globală se calculează considerând că pentru a decoda două blocuri de informație de lungime N_i este necesară transmiterea a trei blocuri codate de lungime $N_{UT} = N_{MS}$;
- Abordarea utilizată asigură că numărul de biți transmiși de releu în unitatea lui de alocare a resurselor este identică cu numărul de biți transmiși de terminale în unitățile lor de alocare;
 - Dacă releul are mai multe resurse se poate modifica schema de puncturare astfel încât să se transmită mai mulți biți de control, ceea ce duce la rate de codare mai mici;

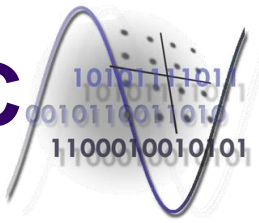
Cooperarea JNCC



- Mesajul transmis pe legătura RN-BS este demodulat și sunt calculate valorile LLR ale biților transmiși pe această legătură;
- Decodorul JNCC utilizează trei decodoare MAP pentru a realiza decodarea turbo a datelor recepționate de la cele două terminale;
- Mesajele fiecărui UT^j sunt decodate în mod iterativ de către un decodor turbo compus din decodorul MAP j corespunzător la acel UT^j , $j = 1, 2$, și de decodorul MAP corespunzător legăturii RN-BS;
 - Decodorul MAP “din mijloc” se utilizează alternativ pentru decodarea biților de pe căile directe, corespunzător regulii de combinare folosite la RN;
 - Cele trei decodoare MAP din BS se folosesc pentru a implementa două decodoare turbo, decodorul din mijloc făcând parte din ambele în mod alternativ;

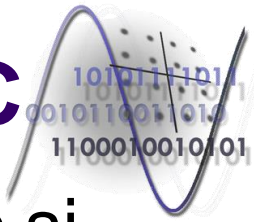


- Decodarea turbo a fluxurilor codate JNCC se realizează iterativ conform următorilor pași:
 - În primul rând decodorul MAP din mijloc calculează informația extrinsecă a fiecărui UT, adică $L_{REL}(UT^1)$ și $L_{REL}(UT^2)$, folosind observațiile de pe canalul RN-BS pentru biții de control adiționali și observațiile de pe canalele $UT^1(2)$ -BS pentru biții de informație ai terminalelor $UT^1(2)$;
 - În prima fază a unei iterații informația extrinsecă calculată este “de-întrețesută” și trimisă decodoarelor MAP 1 și MAP 2 conform regulii de combinare;
 - În a doua fază a unei iterații decodoarele MAP 1(2) calculează informația extrinsecă $LE_{UT1}(UT1)$ ($LE_{UT2}(UT2)$) a legăturii respective prin utilizarea observațiilor de pe canalele $UT1(2)$ -BS și a informației extrinseci furnizate de decodorul 3;
 - Informația extrinsecă obținută pe fiecare ramură este întrețesută și trimisă la decodorul 3 pentru iterația următoare pe baza regulii de combinare;

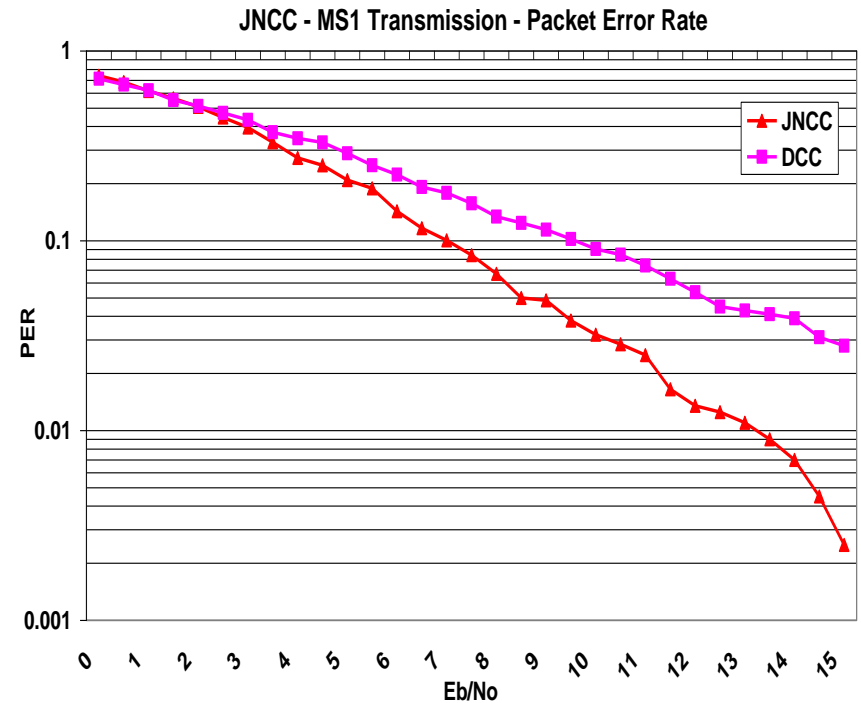
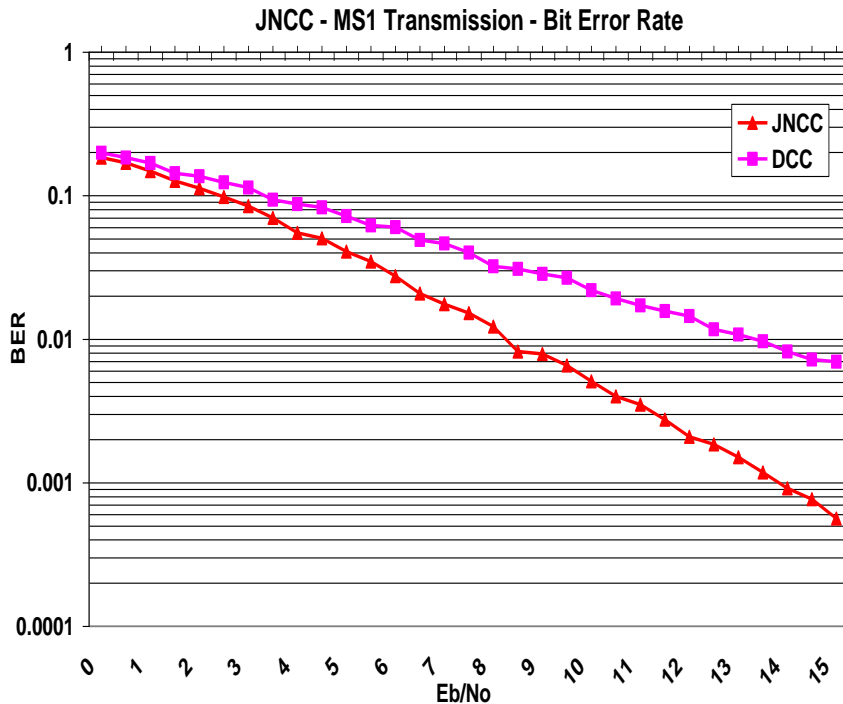


- Evaluarea eficienței spectrale:
 - Evaluarea eficienței spectrale se realizează la fel ca și în cazul algoritmilor DCC și SNCC;
- Performanțele algoritmului JNCC:
 - Performanțele algoritmului JNCC s-au evaluat în condiții similare cu cele impuse pentru SNCC;
 - Parametrii codurilor RSC utilizate sunt cei specificați pentru algoritmi anteriori;
 - Scenariile în care se realizează evaluarea performanțelor și parametrii acestor scenarii sunt de asemenea identici cu cei specificați în cazul algoritmului SNCC – vezi slide 22;
 - Ca și referință pentru evaluarea performanțelor se utilizează transmisia DCC și cea directă codată turbo având aceleași rate de codare globală și anume 0.5;

Cooperarea JNCC



- Performanțe de BER și PER scenariu simetric și canale UT – RN fără erori;



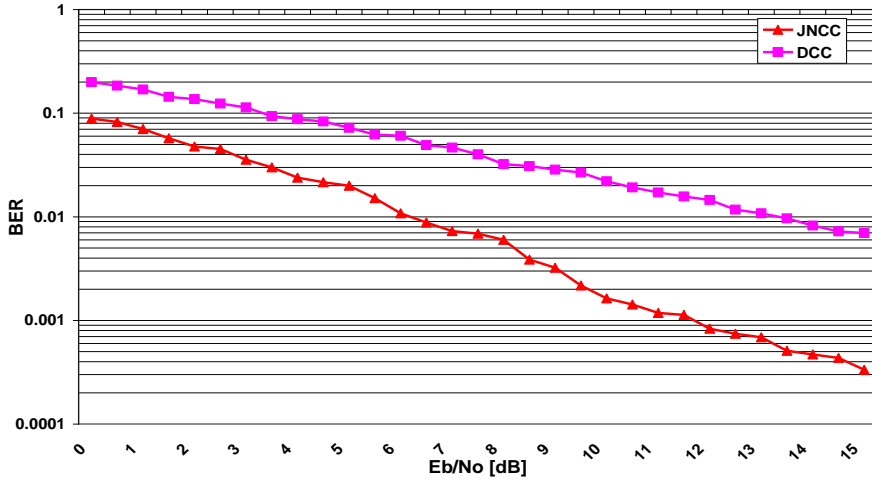
- Metoda asigură performanțe de BER și PER semnificativ mai bune decât cele asigurate de metoda DCC;

Cooperarea JNCC

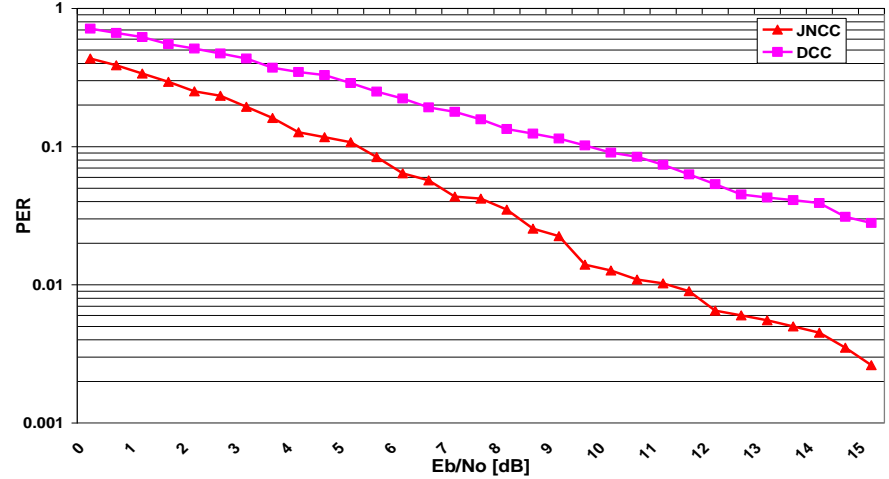


- Performanțe scenariu asimetric, canale UT-RN fără erori;

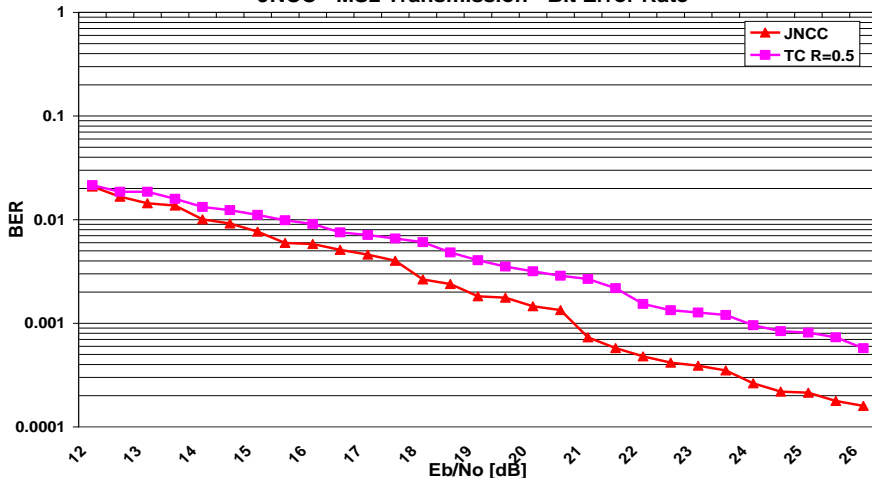
JNCC - MS1 Transmission - Bit Error Rate



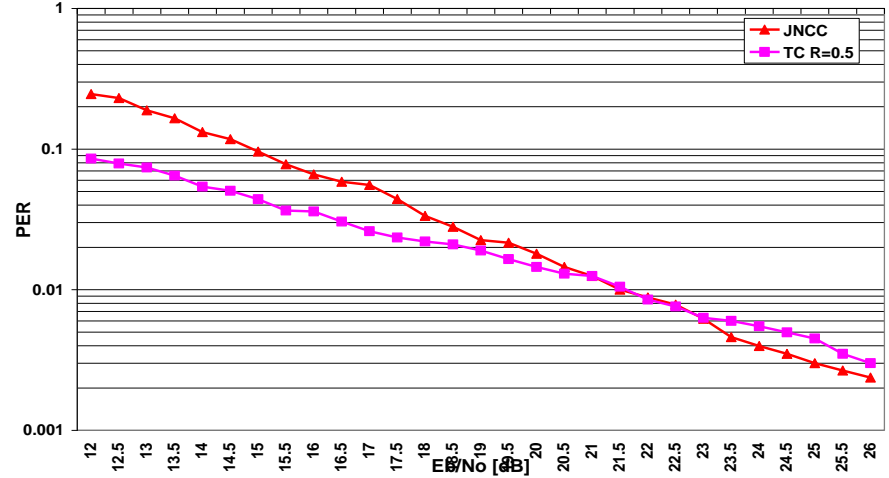
JNCC - MS1 Transmission - Packet Error Rate



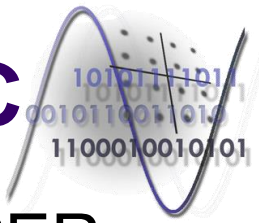
JNCC - MS2 Transmission - Bit Error Rate



JNCC - MS2 Transmission - Packet Error Rate

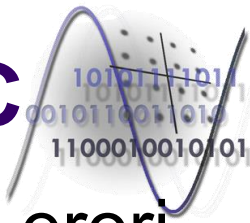


Cooperarea JNCC



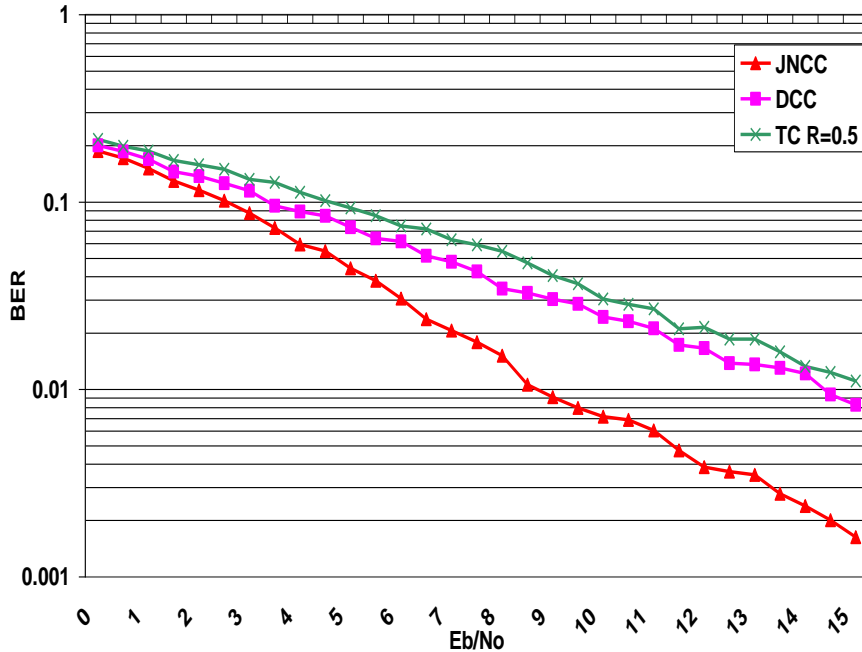
- Se obțin performanțe semnificative de BER și PER pentru terminalul 1 situat mai departe de releu;
 - Aceste terminal este ajutat atât de releu cât și de terminalul 2;
- Se obțin performanțe slabe pentru terminalul 2 care este ajutat puțin sau deloc de către releu;
 - Este chiar posibil ca performanțele terminalului 2 să scadă, datorită efectelor negative de la releu și de la terminalul 1;
- Algoritmul JNCC în scenarii asimetrice asigură două noduri “helper” pentru un terminal utilizator:
 - Un nod releu și un nod terminal care acționează ca releu în timp ce își transmite propriile date;
 - Trebuie proiectat sistemul astfel încât să nu se reducă performanțele terminalului 2; de ex. terminalul 2 poate fi decodat numai pe leg. directă;

Cooperarea JNCC

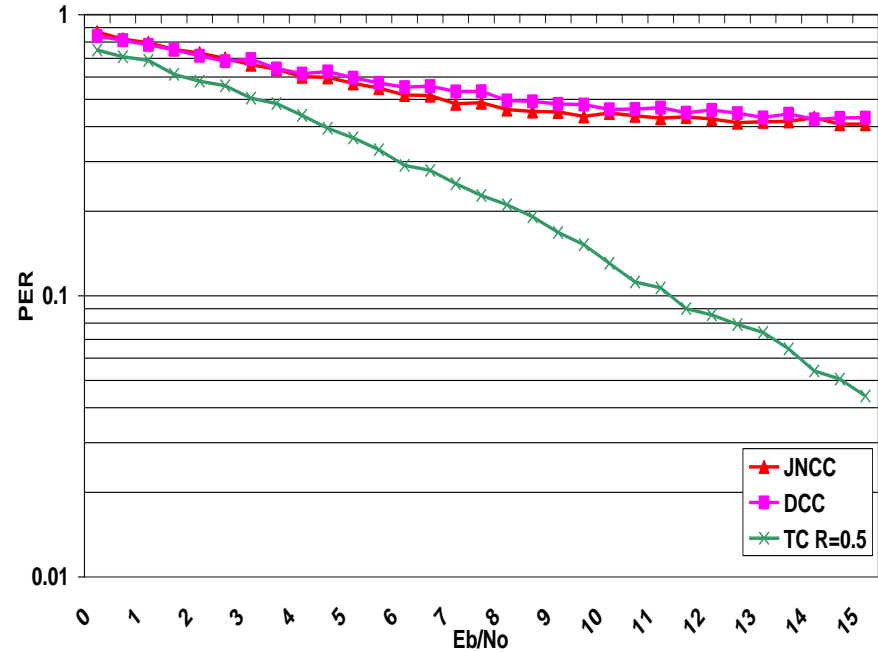


- Performanțe BER și PER scenariu simetric cu erori pe legătura UT – RN;

JNCC - MS1 Transmission - Bit Error Rate

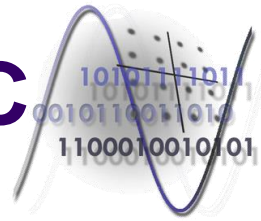


JNCC - MS1 Transmission - Packet Error Rate

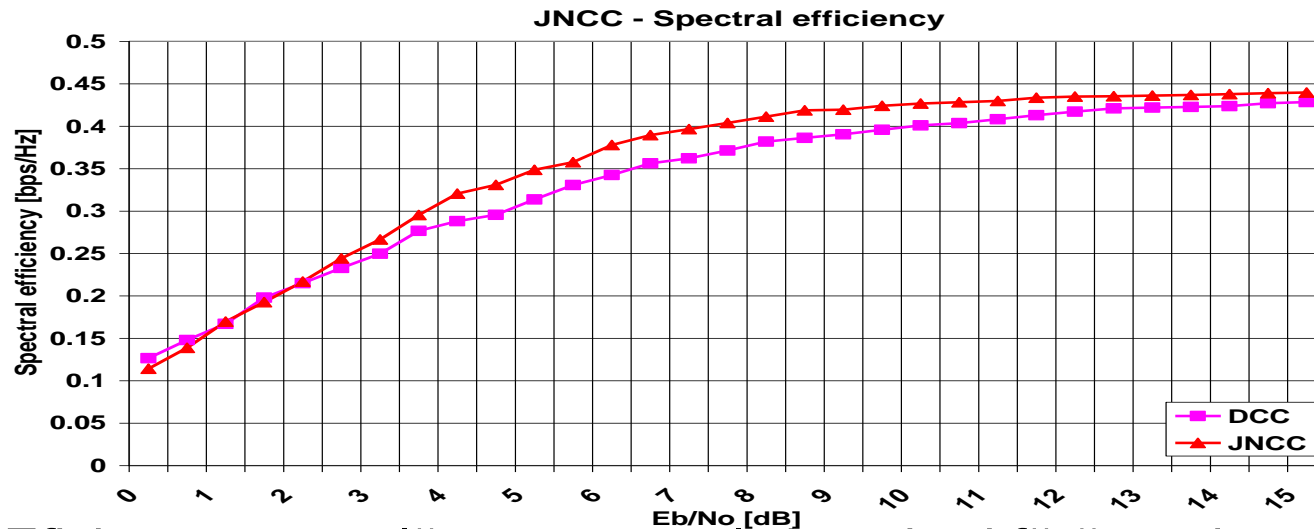


- Performanțele scad semnificativ, în special performanțele de PER; performanțele de PER sunt afectate de distribuția erorilor;

Cooperarea JNCC



- Eficiența spectrală a algoritmului JNCC
 - Eficiența spectrală se calculează în condițiile specificate la algoritmul SNCC;
 - Depinde de performanțele de PER și de alocarea resurselor;



- Eficiența spectrală pentru cazul simetric și fără erori pe UT-RN;
 - Eficiența asigurată este similară cu cea a algoritmului DCC;
 - În situația scenariului simetric și cu erori pe legăturile UT – RN eficiența scade semnificativ datorită creșterii semnificative a parametrului PER;
 - În situația scenariului cu erori eficiența JNCC va fi semnificativ mai bună decât ce a DCC;