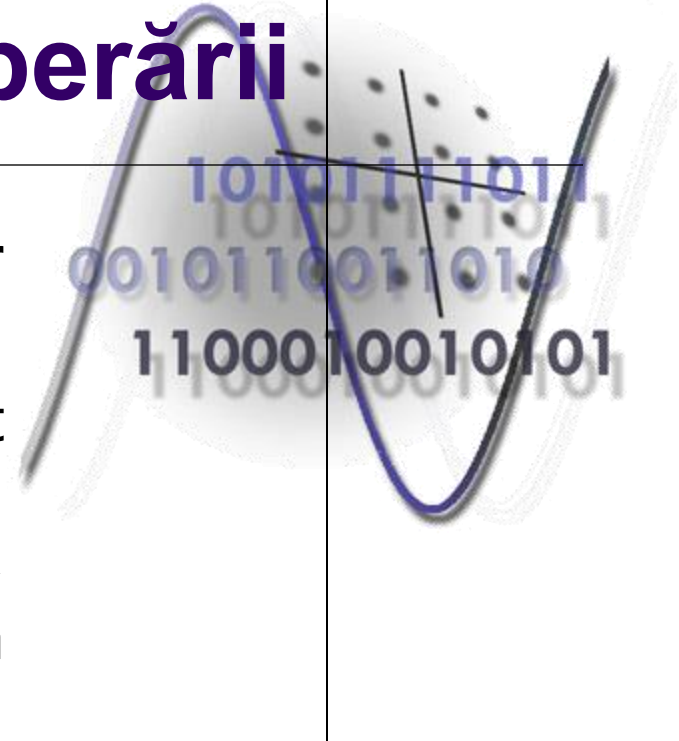


Curs 13

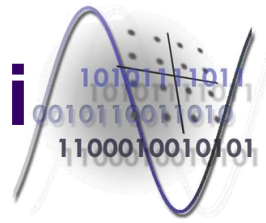
Tehnici de alocare a releelor și de activare a cooperării

Zsolt Polgar

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

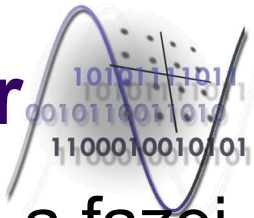


Conținutul cursului



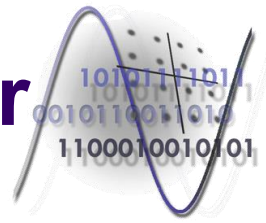
- Criterii de selecție/alocare a releelor și de activare a fazei de cooperare;
- Algoritmi de alocare a releelor. Aspecte generale.
- Algoritmul de alocare optim – ORA;
- Algoritmul de alocare secvențial;
- Algoritmul de alocare secvențial unic;
- Algoritmul de alocare semidistribuit;

Criterii de selecție a releelor



- Criterii de selecție/alocare a releelor și de activare a fazei de cooperare
 - Selecția releelor este un aspect crucial și complex în comunicațiile cooperative bazate pe rele;
 - Întrebarea este cum să se facă alocarea releelor la terminale înainte de începerea operațiilor de cooperare;
 - Această problemă trebuie rezolvată într-o rețea ce include multe stații utilizator și în care au loc multe transmisii concurente;
 - În particular este vorba de divizarea resurselor releului între utilizatorii deserviți;
 - Un algoritm eficient de selecție/alocare a releelor trebuie să ia în considerare nu numai parametrii canalului radio ci și cerințele de QoS ale utilizatorului, fapt care mărește semnificativ complexitatea unei astfel de scheme;
 - În literatura de specialitate sunt prezentate mai mulți algoritmi posibili, însă majoritatea se referă la cazuri particulare și relativ simple;
 - Algoritmi concreți sunt specificați pentru cazul multihop în standardul 802.16j;

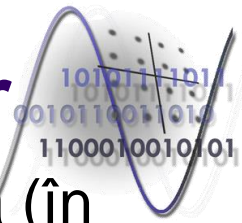
Criterii de selecție a releelor



● Aspecte generale

- Procesul de selecție a releelor, adică asocierea unuia sau a multor relee la un terminal utilizator (“*relay-source assignment*”) implică două operații concurente:
 - Operația de alocare (selectare) a unuia sau a mai multor relee candidate;
 - Operația de activare a fazei de cooperare;
- Alocarea grupurilor *sursă-releu* (*relee*) stabilește setul de relee posibile care pot fi asignate la un anumit canal sursă-destinație (UT-BS);
- Activarea fazei de cooperare selectează efectiv releul care deservește una sau mai multe legături sursă-destinație atunci când cooperarea poate aduce îmbunătățiri ale performanțelor;

Criterii de selecție a releelor



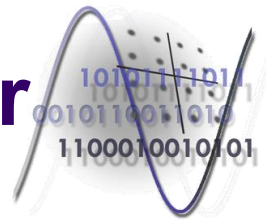
- Cele două operații menționate pot fi realizate împreună (în același moment de timp) sau faza de activare poate avea loc separat (la momente de timp diferite) în conformitate cu viteza utilizatorului și cu tipul de releu utilizat;
- Cele două operații pot fi executate separat numai dacă setul de relee care deservește o anumită legătură UT-BS pot fi alocate pentru un interval mai lung și aceste relee sunt activate numai în intervalele de timp în care îmbunătățesc calitatea transmisiei;
 - Alocarea releelor poate fi menținută un interval de timp mai mare numai dacă funcția de transfer a canalelor UT – BS, UT – RN, RN – BS are variații reduse;
 - Pentru terminale mobile care se deplasează cu viteză mare alocarea releelor și activarea cooperării au loc în același timp;
 - Dacă un releu nu mai poate fi folosit pentru un terminal cu viteză mare alocarea trebuie întreruptă – este de regulă cazul releelor nededicate;

Criterii de selecție a releelor



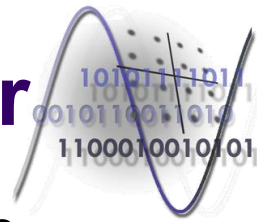
- În cazul releelor dedicate (de regulă sunt relee fixe sau nomadice) procesul de alocare a releului și de activare a cooperării trebuie considerată din altă perspectivă;
 - Sunt mult mai puține relee, dar în același timp pot acoperii zone mai mari; alocarea releului la terminale cu viteză mare se poate menține pentru intervale mai mari;
 - Diferite relee se pot activa la intervale diferite și deci cele două procese (faze) se pot separa;
- Procesul de selecție a releelor care deserveșc o anumită legătură UT-BS se poate clasifica în două categorii majore în funcție de numărul de relee care deserveșc o conexiune:
 - Selecția unui singur releu – caracteristic la FEC distribuit;
 - Selecția unor relee multiple – caracteristic la V-MIMO;

Criterii de selecție a releelor

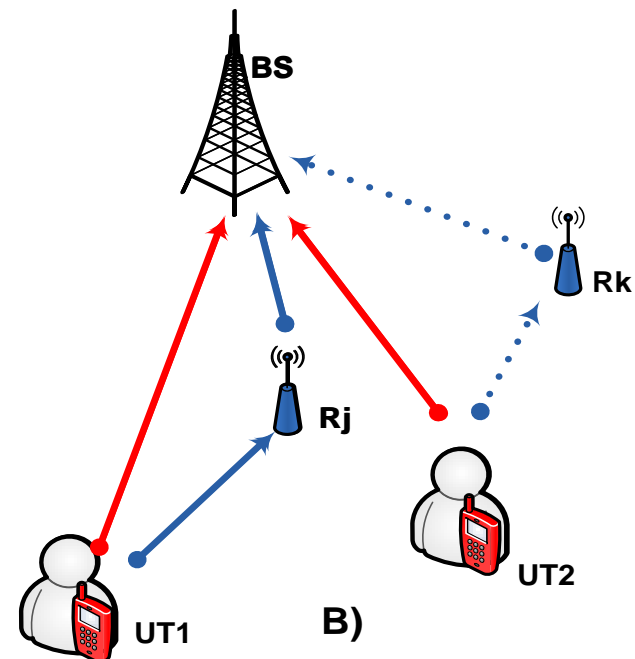
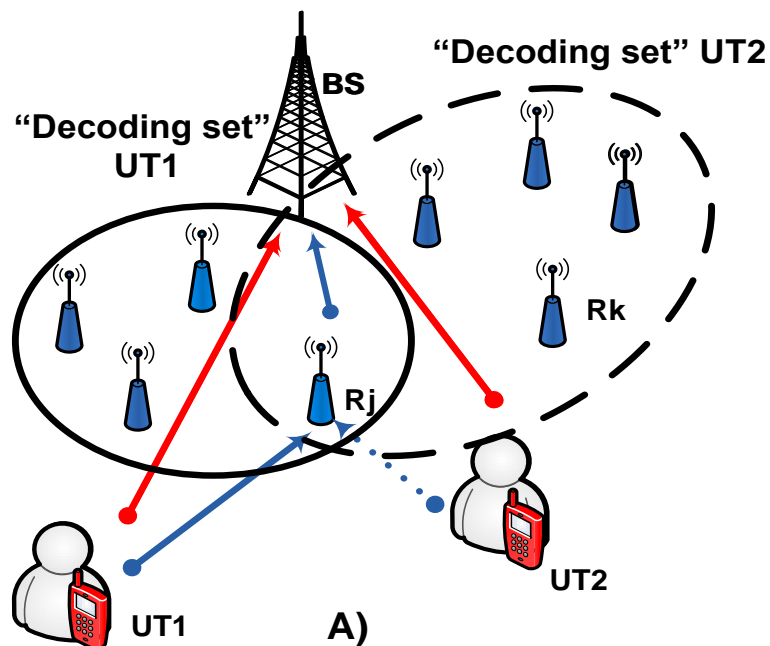


- Performanțele tehnicilor de cooperare ce utilizează alocarea releelor multiple sunt limitate de:
 - Posibilitățile de partiționarea ortogonală a resurselor sistemului;
 - Utilizarea/alocarea ineficientă a puterii;
 - Sincronizarea imperfectă a nodurilor care cooperează;
 - Aspectele menționate sunt importante și pentru procesul de alocare a releelor;
- Selecția oportunistică a unui releu (“cel mai bun”) dintr-un set de relee disponibile poate elimina problemele menționate;
 - Faza a doua a alocării corespunde la faza de activare; se poate obține diversitate în condiții de complexitate și “overhead” de semnalizare mai redus;
- Un alt parametru important care afectează procesul de alocare a releelor este numărul de legături UT-BS deservite de un releu;
 - “single-link assignment” și “multiple-link assignment”;

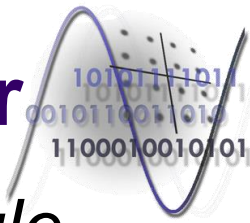
Criterii de selecție a releelor



- Dacă releul deservește două sau mai multe legături directe eficiența spectrală poate crește semnificativ;
- Dacă releul dispune de resurse adiționale timp-frecvență atunci acestea sunt mai bine exploatate dacă se deserveșc mai multe legături directe (sau mai multe UT-uri);



Criterii de selecție a releelor



- Criterii pentru alocarea unui singur releu (“*Single Relay-Assignment*”)
 - Sunt propuse numeroase criterii de selecție în literatura de specialitate, câteva din aceste criterii fiind următoarele:
 - Criterii bazate pe *distanță* – se selectează releul cel mai apropiat de sursă;
 - Criterii bazate pe *calitatea legăturii (canalului)* – se selectează releul care oferă calitatea maximă a legăturii cooperative (legătura “end-to-end”);
 - În mod echivalent se poate utiliza informația mutuală în locul calității canalului, dacă puterile nodurilor ce cooperează sunt predefinite;
 - În cazul selecției bazate pe calitatea legăturii se pot utiliza mai mulți indicatori de calitate a legăturii pentru selecția efectivă a unui releu (având un index i):

Criterii de selecție a releelor



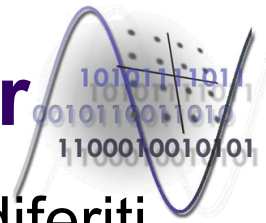
- Câștigul minim (maximizarea câștigului minim) al canalului dintre sursă - releu, h_{si} , și releu - destinație, h_{id} : $h_i = \max_i \min \left\{ |h_{si}|^2, |h_{id}|^2 \right\}$

- O valoare medie între câștigurile menționate ale celor două canale, de ex. medie armonică:

$$h_i = \frac{2}{\left(\frac{1}{|h_{si}|^2} + \frac{1}{|h_{id}|^2} \right)}$$

- *Observație:* criteriile de selecție menționate se bazează pe valori medii ale CSI (distanță sau câștig/atenuare; valoarea instantanee a câștigului/atenuării canalului este un alt criteriu bazat pe CSI care se poate utiliza mai degrabă pentru activarea fazei de cooperare;
- Criterii legate de *alocarea puterii* – se alocă releul care are consumul de putere cel mai redus sau care implică consumul de putere cel mai redus al terminalelor implicate în cooperare; se poate lua în considerare atât puterea de emisie cât și puterea reziduală ce rămâne disponibilă după transmisie;

Criterii de selecție a releelor

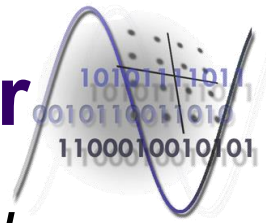


- Criteriile de selecție bazate pe putere pot folosi diferiți indicatori de calitate pentru selecția unui releu cu indexul i :
 - Minimul puterii totale transmise, adică putere sursă, P_s , și putere releu, P_i :
$$i' = \arg \min_i \{P_s, P_i\}$$
 - Maximul valorilor minime absolute ale puterilor reziduale după transmisia curentă:
$$i' = \arg \max_i \min \{P_{rs} - P_s, P_{ri} - P_i\}$$
 - P_{rs} și P_{ri} reprezintă puterile reziduale ale sursei și ale releului înainte de transmisia cooperativă;
 - Maximul valorilor minime ale rapoartelor dintre puterea reziduală după transmisie și înainte de transmisie:

$$i' = \arg \max_i \min \left\{ \frac{P_{rs} - P_s}{P_{rs}}, \frac{P_{ri} - P_i}{P_{ri}} \right\}$$

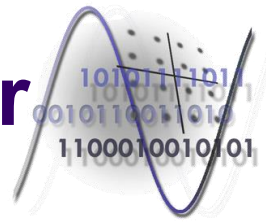
- În final se selectează releul cu indicele i' ;

Criterii de selecție a releelor



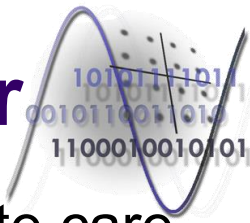
- Criterii bazate pe *funcții de utilitate* (“*utility-based criterion*”);
 - Se poate utiliza pentru selecția releului un indicator de calitate de tipul: raportul dintre throughput și puterea sursei sau alți indicatori legați de parametrii QoS;
- Criterii bazate pe probabilitate de outage – se selectează releul care asigură probabilitatea de outage minimă;
 - Probabilitatea de outage se poate utiliza ca și un criteriu independent de alocare a releului sau se poate utiliza pentru selecția unui releu dintr-un grup de rele candidate sau se poate utiliza pentru activarea fazei de cooperare;
 - În locul probabilității de outage se poate utiliza ca și criteriu valoarea medie de SNR, recalculată cu o anumită rată – se poate utiliza mai ales în caz de fading lent;

Criterii de selecție a releelor



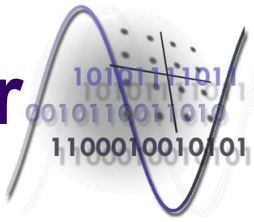
- Criterii bazate pe *scenariul de cooperare*;
 - Modul de alocare a unui releu depinde și de felul în care este asistat terminalul utilizator deservit; este posibilă o alocare continuă a releului la UT sau este posibilă o alocare incrementală, releul fiind implicat numai în retransmisia pachetelor eronate de pe calea directă – acest mod de lucru este practic o extensie a modului de lucru ARQ;
 - Alocarea puterii și a altor resurse nodului releu diferă semnificativ în cele două situații;
- Criterii bazate pe tehnica de cooperare (“*cooperation technique aware criterion*”);
 - Tehnica de cooperare utilizată este de asemenea un criteriu important pentru selecția releului; releele pot implementa tehnici de cooperare diferite caracterizate de complexitate diferită, cerințe diferite de control și semnalizare și cerințe diferite de resurse;

Criterii de selecție a releelor



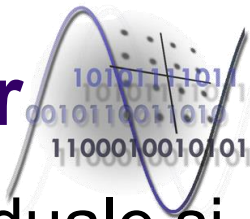
- Criteriile menționate sunt unele dintre cele mai importante care se pot utiliza pentru alocarea releelor individuale;
 - Alte criterii mai relevante pentru selecția releelor multiple, cum ar fi numărul de noduri releu candidate pot fi utilizate de asemenea, putând fi importante și pentru selecția releelor individuale;
- Un alt aspect important legat de selecția releelor este aceea că utilizarea unui singur criteriu nu este o soluție bună în situații practice în care obiectivele impuse sistemului de comunicație sunt multiple;
 - Un singur criteriu nu poate satisface toate metricile de performanță legate de aplicații cu cerințe diferite;
 - De ex. o aplicație sensibilă la întâzieri necesită debit ridicat, în timp ce aplicații sensibile la pierderi de pachete cer transfer garantat al datelor;
 - Selecția releului pe baza unui singur criteriu poate compromite semnificativ performanțele sistemului;
 - De ex. dacă se ia în considerare numai calitatea canalului bateria releului se poate descărca rapid;.

Criterii de selecție a releelor



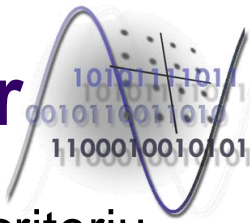
- Criterii pentru alocarea releelor multiple:
 - Câteva criterii adiționale pentru alocarea releelor multiple:
 - *Numărul de relee disponibile* – este vorba de relee care satisfac anumite cerințe legate de performanțe și de tehnica de cooperare;
 - Acest criteriu selectează numărul de relee conform cerințelor impuse și tehnicii de cooperare utilizate; dacă numărul de relee este impus se poate selecta tehnica de cooperare corespunzătoare;
 - Numărul de relee potențiale care pot deservi legătura directă UT-BS poate fi important și pentru tehnici de cooperare care utilizează un singur releu la un moment dat, deoarece acest parametru este stâns legat de viteza de activare/dezactivare a cooperării;
 - *Gradul de sincronizare a nodurilor releu* – este important pentru tehnicile de cooperare care folosesc mai multe relee (vezi Distributed Space Time din Curs 3);
 - Gradul de sincronizare al nodurilor releu stabilește complexitatea algoritmului (protocolului) de cooperare;
 - Dacă nodurile sunt sincronizate se pot aplica direct tehnici de combinare clasice;
 - Nodurile multiple se pot vedea ca și un supernod conectat la canale echivalente;

Criterii de selecție a releelor



- Criteriile de alocare a releelor pentru legături individuale și legături multiple;
 - În rețelele celulare reale multi-hop, în special în care releele fac parte din infrastructură, releul trebuie să deservească transmisiile concurente multiple de la utilizatori;
 - Într-o astfel de rețea releul va trebui să aloce resurse și să efectueze operația de scheduling pentru mai multe transmisiile;
 - Trebuie să fie folosite și criterii adiționale pentru alocarea unui releu la legături (utilizatori) multiple; câteva criterii adiționale sunt următoarele:
 - *Criteriul canalelor de calitate inegală* – conform acestui criteriu este necesară asigurarea unei calități ridicate doar anumitor canale, în timp ce alte canale pot avea o calitate mai redusă;
 - Vezi scenariul cooperării codate bazate pe NC când un releu deservește două terminale;

Criterii de selecție a releelor



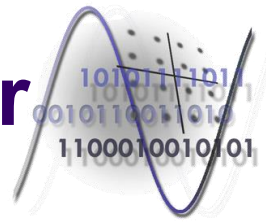
- *Criterii legate de cerințele serviciului* – conform acestui criteriu un releu se alocă la terminale utilizator care cer servicii identice sau complementare;
 - De ex. un serviciu de debit redus se poate combina cu unul care cere un debit mai mare, sau se pot combina mai multe servicii cu debit redus;
 - *Criteriul partajării echitabile a puterii și resurselor* – implică partajarea puterii și a altor resurse ale releului conform cerințelor QoS ale acestor transmisii sau numai conform capacității canalelor directe UT-BS;
- **Considerații legate de activarea releelor**
 - Dacă releul candidat este ales pe baza parametrului CSI mediu, releul care va deservi efectiv legătura se poate activa pe baza valorii instantanee a CSI;
 - CSI instantaneu se verifică numai pentru relele alocate și nu pentru toate relele;

Criterii de selecție a releelor



- În cazul cooperării DSTC (la fel ca și în alte cazuri) se alege prima dată un set de rele candidate apoi se activează relele corespunzătoare – cele pentru care câștigul instantaneu al canalului este peste un anumit prag;
- Activarea și dezactivarea cooperării este utilizată de asemenea în protocoalele de cooperare hibride;
 - Se permite comutarea adaptivă între modul de cooperare și transmisia necooperativă sau chiar între diferite tehnici de cooperare conform anumitor metrici de performanță;
- Activarea/dezactivarea cooperării în cazul codării distribuite (și a altor tehnici: NC, DSTC, etc.) trebuie să țină cont de calitatea canalului sursă-releu;
 - O calitate redusă a canalului UT-RN afectează în mod semnificativ performanțele globale;

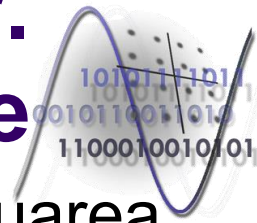
Criterii de selecție a releelor



- Alți factori care afectează procesul de alocare a releului;
 - Pe lângă criteriile menționate de selecție a releului se pot considera mai mulți factori adiționali:
 - Traficul de semnalizare cerut a alocarea releului și activarea fazei de cooperare;
 - Minimizarea acestui trafic va duce de regulă la scăderea numărului de rele alocate unui cluster de cooperare și la o acuratețe mai scăzută a CSI;
 - Procesările cerute de alocarea releelor la nivel de celulă conform unuia sau a mai multor criterii menționate;
 - Impune capacitățile de procesare cerute echipamentelor implicate în cooperare și/sau intervalul de timp cerut de alocarea releului și activarea cooperării;

Algoritmi de alocare a releelor.

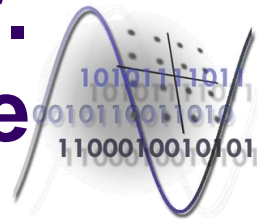
Aspecte generale



- Câțiva indicatori de performanță utilizați pentru evaluarea algoritmilor de alocare a releelor:
 - Procentul de terminale care sunt deservite de cooperare;
 - Procentul de timp de transmisie în care are loc cooperarea;
 - Durata medie a alocării releului;
 - Capacitatea minimă și medie a canalului cu cooperare;
 - “Overhead-ul” necesar pentru stabilirea “cluster-ului” de cooperare;
 - Complexitatea procesărilor cerute;
- Majoritatea acestor indicatori sunt importanți în aplicații practice și sunt mai puțin considerați în studii teoretice;
 - Studiile teoretice consideră de regulă ca și indicator de performanță numai capacitatea canalului cu cooperare;
 - Parametrii legați de timpii de cooperare sunt foarte importanți pentru stabilirea frecvenței de alocare a releelor și de activare a cooperării;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



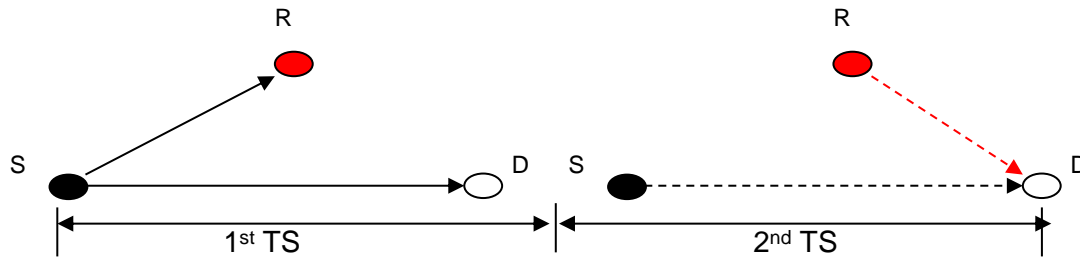
- Scenarii de analiză (test) și considerații generale
 - Scenariul de cooperare
 - Se consideră un scenariu de rețea celulară în care mai multe perechi sursă – destinație sunt în competiție pentru un set de noduri releu;
 - Se considera că terminalele inactive pot fi utilizate ca și releu;
 - Rețeaua include o Stație de Bază (BS) și un set de N terminale care pot acționa ca surse sau ca și relee potențiale;
 - Se consideră transmisia în sensul uplink, BS fiind destinația comună a tuturor legăturilor directe;
 - Se consideră că cooperarea are ca și scop creșterea throughput-ului și mai puțin extinderea acoperirii;
 - Algoritmii de selecție a releelor pot fi adaptați și pentru direcția downlink (cel puțin unele din ele); este posibilă adaptarea algoritmilor considerați și la cooperare bazată pe relee multiple;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



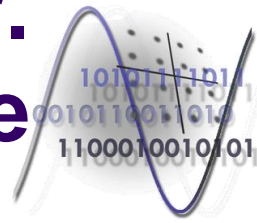
- Fiecare terminal este echipat cu un singur “transceiver”, cu o singură antenă și poate transmite/recepționa doar într-un singur chunk;
- Nodurile sursă și releu sunt distribuite aleator într-un disc de rază R (raza celulei) și se mișcă în direcții aleatoare cu o viteză constantă și identică urmând traiectorii liniare;
- Se consideră că un releu deservește o singură sursă și că se utilizează o cooperare de tip DF în două faze;



- Un alt parametru care are influență asupra algoritmului de cooperare este raportul dintre sloturile de timp T_1 și T_2 .
 - Dacă se utilizează o schemă de cooperare bazată pe codare distribuită sau pe operații H-ARQ raportul T_1/T_2 poate diferi de 1 – de regulă va fi supraunitar – acest fapt poate avea efect asupra alocării releului;
 - În cazul cooperării de tip repetition coding raportul T_1/T_2 este 1;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



- Modelul de canal utilizat

- Se consideră un canal afectat de atenuarea de propagare și de fading plat lent variabil;
- Fiecare nod dispune de o antenă izotropică și transmite cu o putere constantă P_T ;

- Raportul semnal-zgomot instantaneu pe legătura dintre nodurile i și j este:

$$SNR_{ij} = \frac{P_R}{P_N} = \frac{P_T L |h_{ij}|^2}{P_N}$$

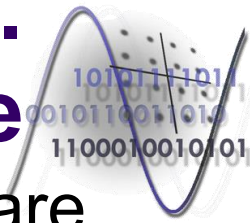
- unde: P_R este puterea recepționată de nodul j , P_N este puterea zgomotului, L este atenuarea de propagare, h_{ij} este coeficientul de fading a unei distribuții Rayleigh cu varianța unitară;

- Modelul atenuării de propagare este:
$$L = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{1}{d_{ij}^\gamma}$$

- unde λ reprezintă lungimea de undă a purtătoarei, d_{ij} este distanța dintre cele două noduri, γ este coeficientul de propagare cu valori situate între 2 (“free-space”) și 5 (atenuare puternică provocată de obstacole);

Algoritmi de alocare a releelor.

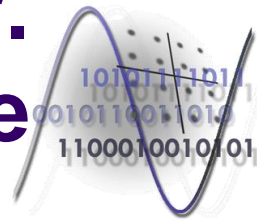
Aspecte generale



- Evaluarea performanțelor clusterului de cooperare
 - Se consideră numai o schemă DF bazată pe repetition coding și combinare MRC la recepție;
 - Indicatorul de performanță utilizat în procesul de selecție a releului este capacitatea canalului;
 - Expresia capacității canalului direct și cel al canalului cooperativ sunt date de relațiile:
$$C_D = \log_2(1 + SNR_{sd})$$
$$C_{DF} = \frac{1}{2} \min\{\log_2(1 + SNR_{sr}), \log_2(1 + SNR_{sd} + SNR_{rd})\}$$
 - Capacitatea este un indicator mai degrabă teoretic, dar throughput-ul asigurat va fi proporțional cu capacitatea;
 - Factorul de 1/2 din formulă este legată de modul de operare semi-duplex;
 - Capacitatea se poate utiliza fără probleme în procesul de selecție/alocare a releelor fiind necesară comparația dintre indicatorii asigurați de diferite opțiuni de selecție și nu valoarea absolută a unor indicatori;

Algoritmi de alocare a releelor.

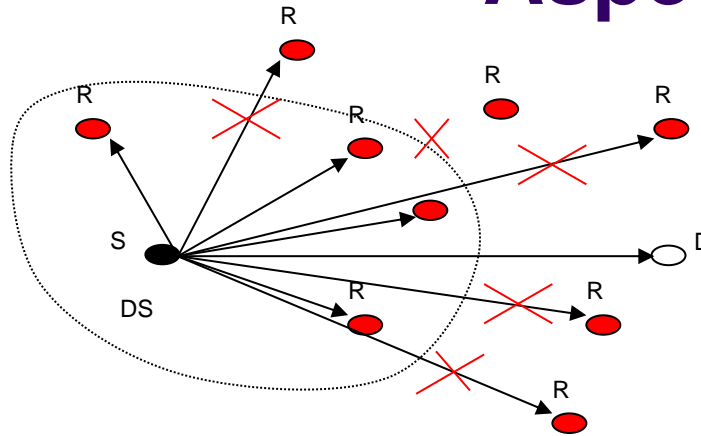
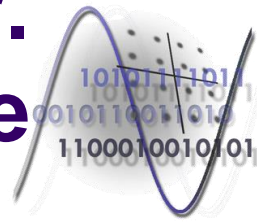
Aspecte generale



- Considerații generale legat de aloarea releelor
 - Comparația capacităților C_{DF} și C_D arată că performanțele comunicațiilor cooperative nu sunt totdeauna mai bune decât cele ale transmisiei directe;
 - O selecție necorespunzătoare a perechii sursă-releu poate avea ca efect o capacitate a canalului cu cooperare mai mică decât a canalului direct – selecția releului are o importanță crucială în obținerea unor câștiguri prin cooperare;
 - Grupul de rele potențiale (vezi discuția din paragraful anterior) formează așa numitul set de decodare (“decoding set”) – se generează pentru fiecare sursă care poate și dorește să coopereze;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



- Formarea setului de decodare se poate realiza conform următorului algoritm:
 - Fiecare sursă trimite un mesaj (un semnal RTS în mod broadcast); destinația și relele recepționează acest mesaj;
 - Fiecare releu încearcă să decodeze mesajul și setul de decodare $D(s_i)$ al sursei s_i este compus din relele care pot decoda corect mesajul inițial;
 - Un astfel de set de decodare este format pentru fiecare sursă; seturile nu vor fi disjuncte, iar unele seturi pot fi vide; un releu va fi activat din fiecare set pentru a deservi o sursă pe baza unor criterii cum ar fi capacitatea;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



- Este posibil ca unele surse să nu fie deservite de relee chiar dacă setul de decodare nu este vid - dacă capacitatea legături directe este mai mare decât cea a canalelor cu cooperare;
- Dacă numărul de relee este redus este posibil ca nu toate sursele să poată fi deservite, lucru care se poate întâmpla și dacă numărul de relee este mare – nu se îndeplinesc condițiile;
- Un alt spect este legat de puterea consumată de releu; dacă releul deservește mai multe surse poate partaja puterea între legăturile deservite;
 - Selecția releelor și alocarea puterii nu pot fi separate complet;
 - Selecția releelor se bazează pe optimizarea unei funcții care depinde atât de condițiile de canal cât și de puterea disponibilă – o astfel de funcție este capacitatea canalului;
 - Releele trebuie să semnalizeze surselor în a căror seturi de decodare se află – procesul poate fi și centralizat, controlat complet de BS;
 - Determinarea CSI canal sursă-releu se poate face pe baza mesajelor inițiale;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



- Se notează cu $R(s_i)$ nodul releu alocat terminalului s_i ; funcția ce se poate utiliza pentru alocarea releelor este următoarea:

$$C_R(s_i, R(s_i)) = \begin{cases} \frac{1}{2} \min\{\log_2(1 + SNR_{s_i R(s_i)}), \log_2(1 + SNR_{s_i d} + SNR_{R(s_i) d})\}, & R(s_i) \neq \phi \\ \log_2(1 + SNR_{s_i d}), & R(s_i) = \phi \end{cases} \quad (a)$$

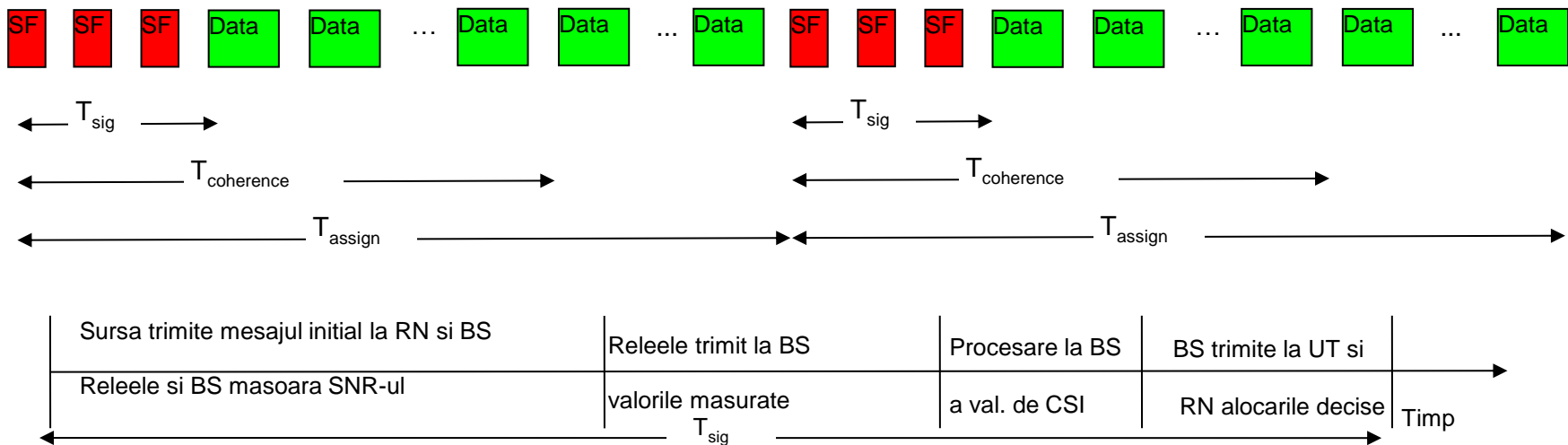
- Algoritmul de selecție a partenerilor încearcă să găsească configurația surse – rele care maximizează capacitatea pentru toate legăturile sursă – destinație;
- O soluție optimală la această problemă, într-o accepțiune max-min, se poate obține printr-o căutare exhaustivă a tuturor configurațiilor posibile;
 - Complexitatea unei astfel de soluții crește exponențial și deci nu este practică – sunt necesari algoritmi care pot genera soluții bune (nu cea mai bună) cu o complexitate acceptabilă;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale

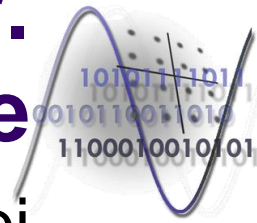


- Considerații legate de semnalizarea asociată procesului de alocare a releelor
 - Estimarea efectelor timpului mediu de alocare a releelor asupra capacității de transmisie necesită evaluarea semnalizărilor cerute de procesul de alocare a releului;
 - O schemă posibilă de semnalizare pentru alocarea releelor:



Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



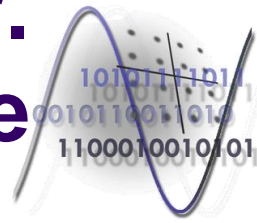
- Estimarea impactului semnalizării asupra eficienței transmisiei cooperative;
 - Se consideră o transmisie OFDMA cu o unitate de alocare (chunk) pe cadru radio; se consideră o modulație BPSK pe durata semnalizării;

$$T_{\text{signaling}} = T_{\text{chunk}} + \left(\left\lceil \frac{\text{Overhead}_{\text{feed-forward}}}{N_{\text{bits_per_chunk}}} \right\rceil + 1 \right) \times T_{\text{chunk}} + \left(\left\lceil \frac{\text{Overhead}_{\text{feedback}}}{N_{\text{bits_per_chunk}}} \right\rceil + 1 \right) \times T_{\text{chunk}}$$

- Pe durata procesului de semnalizare utilizatorul nu poate transmite date utile, fapt ce duce la reducerea capacității efective a canalului cu cooperare:
$$C_{\text{eff}} = C \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{signaling}}}{T_{\text{assign}}} \right)$$
 - C poate reprezenta capacitatea medie sau cea minimă;
 - Pentru evaluarea efectivă a timpului de semnalizare sunt necesari următorii parametri: numărul maxim de relee din setul de decodare, numărul de biți pentru indentificarea UT și RN și exprimarea CSI;

Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



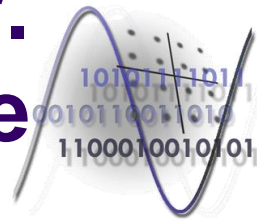
- Capacitatea minimă și medie a canalului;
 - Algoritmii de alocare a releelor încearcă să obțină configurația care maximizează capacitatea canalelor pentru toate perechile sursă - destinație;
 - Capacitatea minimă, C_{min} , și capacitatea medie, C_{avg} , pot fi folosite pentru a evalua îmbunătățirile obținute față de transmisiile necooperative - C_{imp} ;

$$C_{min} = \min_{s_i \in S} \{C_R(s_i)\} \quad C_{avg} = \frac{1}{N_s} \sum_{s_i \in S} C_R(s_i) \quad C_{imp} = \frac{Cap_{coop} - Cap_{direct}}{Cap_{direct}}$$

- Durata medie a timpului de alocare a releului;
 - Datorită mobilității terminalelor canalele radio se schimbă în timp ceea ce are ca și efect modificarea alocării releelor;
 - O anumită alocare a releelor durează până când o nouă configurație poate genera performanțe mai bune;

Algoritmi de alocare a releelor.

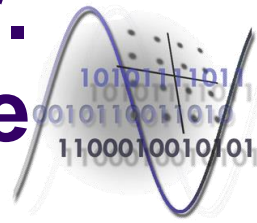
Aspecte generale



- Durata medie a unei alocări T_{assign} , măsoară “durata de viață” a unei configurații, adică durata dintre două alocări consecutive;
- Algoritmii de alocare a releelor implică toate sursele – chiar dacă numai o singură sursă necesită realocarea releului este posibil să fie afectate și celelalte surse (sau o parte din ele) – overhead de semnalizare semnificativ;
- Dacă cooperarea este utilizată într-un mediu cu mobilitate redusă (unde timpul de coerență se întinde peste mai multe cadre radio) durata unei configurații de cooperare durează un interval mai mare și overheadul de semnalizare nu va fi o problemă majoră;
 - Într-o situație cu mobilitate mare durata unei configurații de cooperare se reduce semnificativ ceea ce duce la creșterea overhead-ului de semnalizare asociat realocării releelor și scăderea eficienței de transmisie;
- Valoarea parametrului T_{assign} este de asemenea importantă pentru schemele de ARQ – impune limitări asupra lungimii pachetelor;

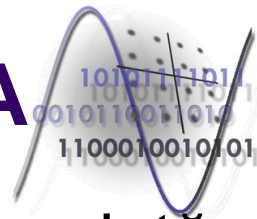
Algoritmi de alocare a releelor.

Aspecte generale



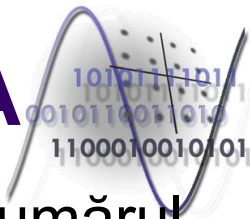
- Parametrul T_{assign} depinde de următorii factori:
 - Densitatea terminalelor (nodurilor sursă) în celulă;
 - Raportul dintre numărul de surse și numărul de rele N_S/N_R ;
 - Viteza nodurilor (mai exact viteza maximă);
 - Algoritmul de alocare a releelor;
- Evaluarea complexității algoritmului de alocare a releului
 - Se poate realiza prin evaluarea numărului de iterații efectuate de algoritm în cazul cel mai defavorabil;
 - Iterația este considerată a fi fiecare moment în care este verificată starea nodului releu. Depinde de densitatea terminalelor în celulă și de raportul N_S/N_R ;
 - În aplicații practice nu se va întâlni de regulă cazul cel mai defavorabil deoarece seturile de decodare ale terminalelor nu includ toate releele posibile ci doar câteva din ele;

Algoritmul ORA



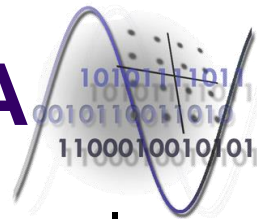
- Algoritmul ORA (“Optimal Relay Assignment”) reprezintă un algoritm de selecție optimal al partenerilor de cooperare;
- Algoritmul este optimal, dar este foarte complex și este considerat ca și referință pentru algoritmi practici;
 - Algoritmul are complexitate polinomială și nu exponențială, dar totuși complexitatea este una ridicată;
- Obiectivul algoritmului este de a maximiza capacitatea minimă a tuturor canalelor sursă-destinație;
 - Capacitatea minimă este definită ca și: $C_{\min} = \min_{s_i \in S} \{C_R(s_i)\}$
 - unde C_R este definită de relația (a), slide 28;
 - Algoritmul este considerat numai pentru cazul în care un rețea deservește o singură sursă – constrângerea de putere este evitată;

Algoritmul ORA



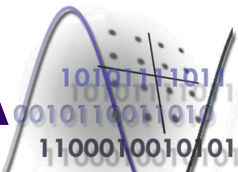
- Algoritmul ORA poate oferi o complexitate liniară cu numărul de terminale deservite la fiecare iterație; algoritmul are și o serie de alte proprietăți utile:
 - Algoritmul funcționează indiferent dacă numărul de relee este mai mic sau mai mare decât numărul de perechi sursă-destinație;
 - Este garantat că capacitatea finală a fiecărei legături sursă-destinație este cel puțin egală cu cea a transmisiei directe;
 - Algoritmul poate găsi soluția optimală indiferent de alocarea inițială a nodurilor releu;
 - Algoritmul pornește cu o alocare inițială fezabilă a releelor – la fiecare pereche sursă-destinație se alocă cel mult un nod releu situat în setul de decodare a sursei; transmisiile directe fără nici o utilizare a releelor reprezintă de asemenea o alocare inițială fezabilă;
- Pornind de la alocarea inițială algoritmul ORA ajustează alocarea releelor astfel încât să maximizeze C_{min} , capacitatea minimă (sau posibil cea medie);

Algoritmul ORA

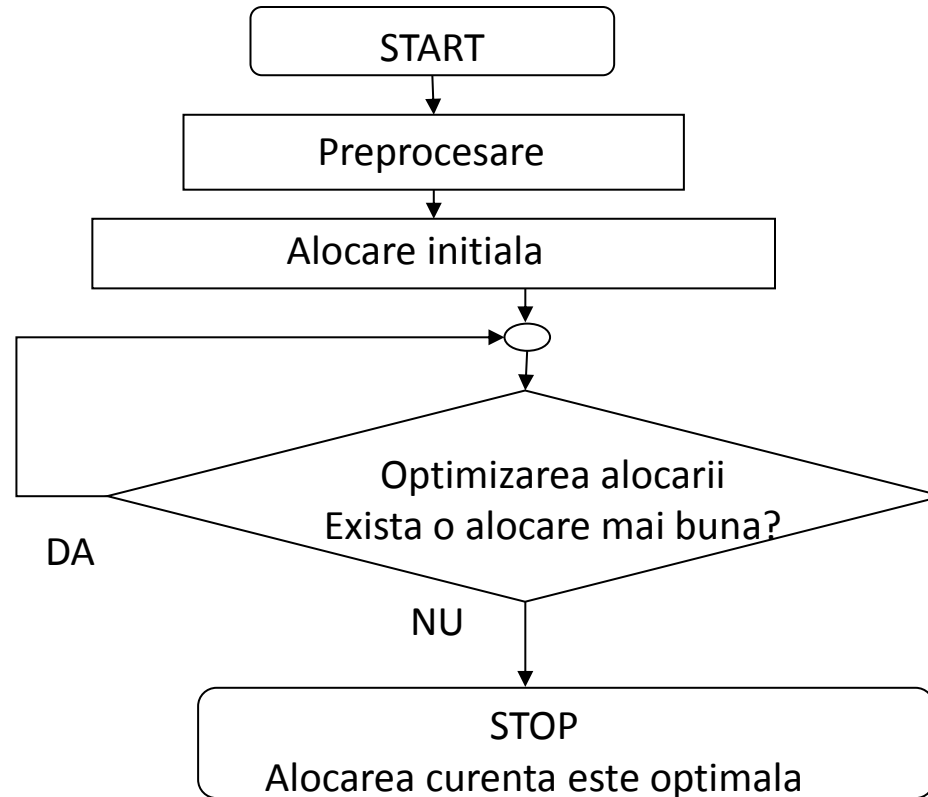


- Algoritmul ORA ajută nodurile sursă să găsească un rețeu mai bun pentru a-și crește capacitatea de “bottleneck”;
 - Dacă rețeu optim este deja alocat la un alt nod sursă, atunci acest rețeu trebuie eliberat și un alt rețeu alocat acelei surse (care avea deja alocat rețeu în discuție) – fiecare ajustare are un efect de avalanșă, alte ajustări fiind necesare în alte surse;
 - La fiecare iterație există două posibilități:
 - Se găsește o alocare mai bună și se trece la următoarea iterație;
 - Nu se poate găsi o alocare mai bună și algoritmul se oprește;
- Schema logică a algoritmului ORA este dată în figurile următoare:
 - În pasul de preprocesare se calculează capacitatea legăturilor directe pentru fiecare pereche sursă-destinație; de asemenea se consideră că fiecare rețeu este în setul de decodare a fiecărei surse și se calculează capacitățile legăturilor cooperative;

Algoritmul ORA

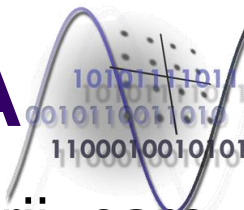


- după această etapă fiecare sursă poate identifica acele noduri releu care pot crește capacitatea comparativ cu transmisia directă;

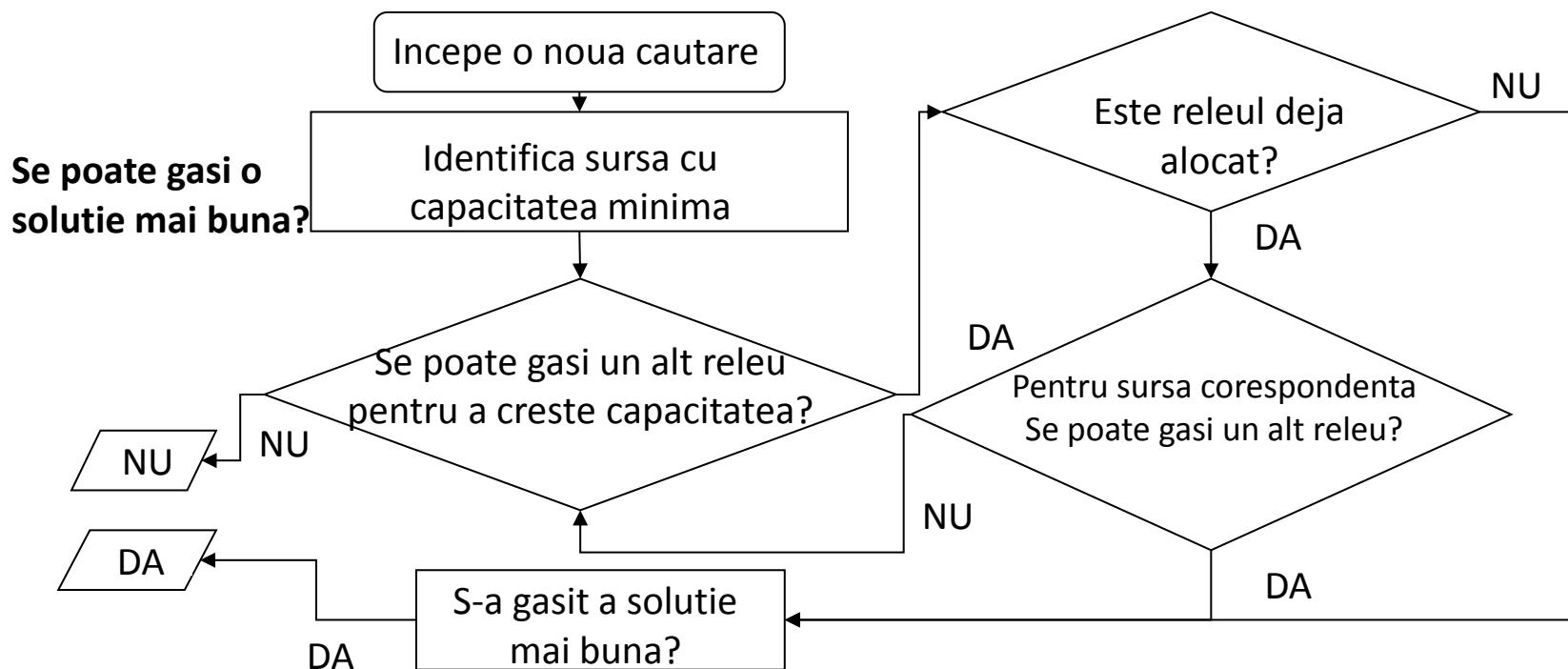


- În pasul de alocare inițială se obține o soluție inițială fezabilă de la care vor porni iterațiile următoare;

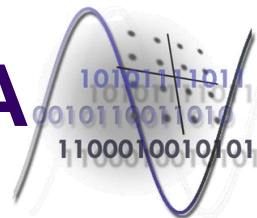
Algoritmul ORA



- Următorul pas al algoritmului este optimizarea alocării, care încearcă să găsească în mod iterativ cea mai bună alocare;
 - Ca și punct de pornire al acestui pas se identifică capacitatea minimă C_{min} a tuturor surselor și se încearcă apoi creșterea acestei capacități în timp ce și celelalte capacități se mențin peste această limită;



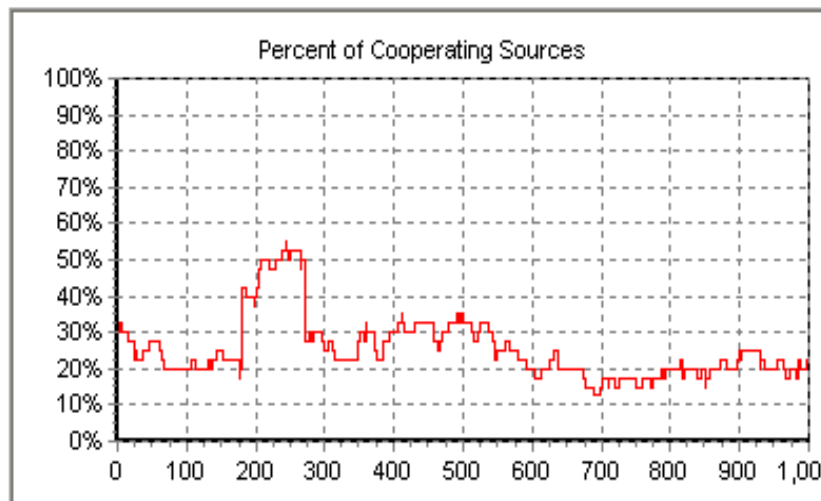
Algoritmul ORA



- Câțeva rezultate semnificative
 - Procentul surselor deservite de cooperare

ALGORITM	$N_S = 40, N_R = 60$	$N_S = 60, N_R = 40$
	<i>Ns coop</i>	<i>Ns coop</i>
ORA	36%	30%

- Evoluția în timp a numărului de surse deservite prin cooperare:



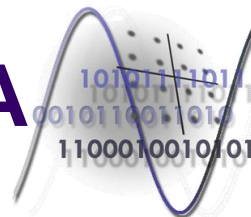
Avg % of coop sources

25

- Îmbunătățire capacitate medie:

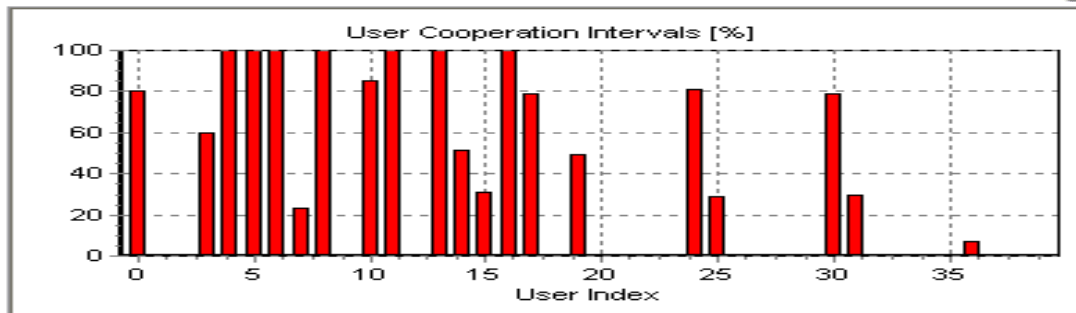
- $N_S = 40; N_R = 60 : 15.6\%$; $N_S = 60; N_R = 40 : 8.1\%$;

Algoritmul ORA



- Procentul de timp în care are loc cooperare

- $N_S = 40; N_R = 60;$

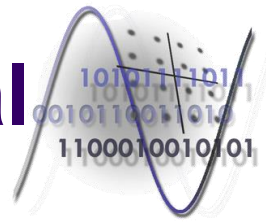


- Durata medie a alocării

Low density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
ORA; $N_S < N_R$ $N_S = 8$ and $N_R = 12$	39.4	1164	3.79	4.72	1395	3.79	1.02	907	3.78
ORA; $N_S > N_R$ $N_S = 12$ and $N_R = 8$.	42.8	1264	3.78	4.6	1359	3.79	1.21	1080	3.79

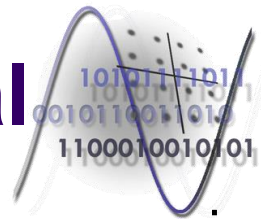
High density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
ORA; $N_S < N_R$ $N_S = 40$ and $N_R = 60$	2.89	86	4.26	0.24	72	4.25	0.072	64	4.25
ORA; $N_S > N_R$ $N_S = 60$ and $N_R = 40$	2.71	80	4.20	0.22	65	4.20	0.103	91	4.20

Algoritmul Secvențial



- Descrierea algoritmului
- Studiul acestui algoritm se realizează în aceleași condiții ca și în cazul algoritmului ORA; de asemenea se acceptă aceleași considerații generale;
- Abordarea optimală a problemei alocării releelor prin căutări exhaustive caracteristică algoritmului ORA poate fi simplificată prin utilizarea unei căutări secvențiale;
 - Se permite alocarea releului la mai multe surse – trebuie considerate constrângerile de putere în calculele de capacitate;
 - Algoritmul nu garantează că sursa va avea o capacitate a legăturii cooperative mai bune decât cea a legăturii directe;

Algoritmul Secvențial

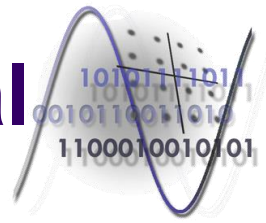


- Se poate modifica algoritmul, pentru a se evita acest fenomen, prin considerarea doar a releelor care pot îmbunătăți capacitatea legăturii cooperative;
- Căutarea secvențială pornește de la sursa care are cel mai slab canal către destinație apoi continuă cu sursa care are următorul canal cel mai slab,.....;

● Pașii algoritmului sunt următorii:

- Releul primului nod sursă, $R(s_1)$, este selectat din $D(s_1)$, setul de decodare al lui s_1 , independent de alte surse; $R(s_1)$ este releul care asigură canalul cu capacitatea cea mai mare către BS;
- Pentru a doua sursă s_2 , se selectează două rele potențiale din $D(s_2)$: nodurile r_j și r_k , care asigură cel mai bun și al doilea cel mai bun canal către destinație (în ceea ce privește capacitatea);

Algoritmul Secvențial



- Dacă r_j nu este alocat lui s_1 , atunci este alocat lui s_2 ;
- Dacă r_j este deja alocat, dar stația de bază decide alocarea lui r_j atunci puterea lui r_j trebuie redusă la jumătate pentru a acomoda ambele transmisii de la s_1 și s_2 ; BS va trebui să compare capacitățile: $C_R(s_2, r_k)$ și $\min\{C_R(s_1, r_j), C_R(s_2, r_j)\}$

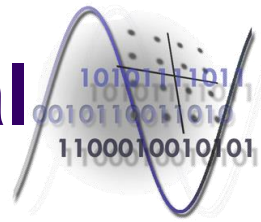
$$C_R(s_2, r_k) = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR_{s_2d} + SNR_{r_kd})$$

$$C_R(s_1, r_j) = \frac{1}{2} \log_2\left(1 + SNR_{s_1d} + \frac{1}{2} SNR_{r_jd}\right)$$

$$C_R(s_2, r_j) = \frac{1}{2} \log_2\left(1 + SNR_{s_2d} + \frac{1}{2} SNR_{r_jd}\right)$$

- Dacă $C_R(s_2, r_k)$ are valoarea cea mai mare atunci se alocă r_k ca și releu pentru s_2 ; altfel se selectează r_j ;
- Procesul se repetă până când fiecare sursă are alocat un releu;
- Schema de căutare este mai simplă, dar este centralizată în BS;

Algoritmul Secvențial



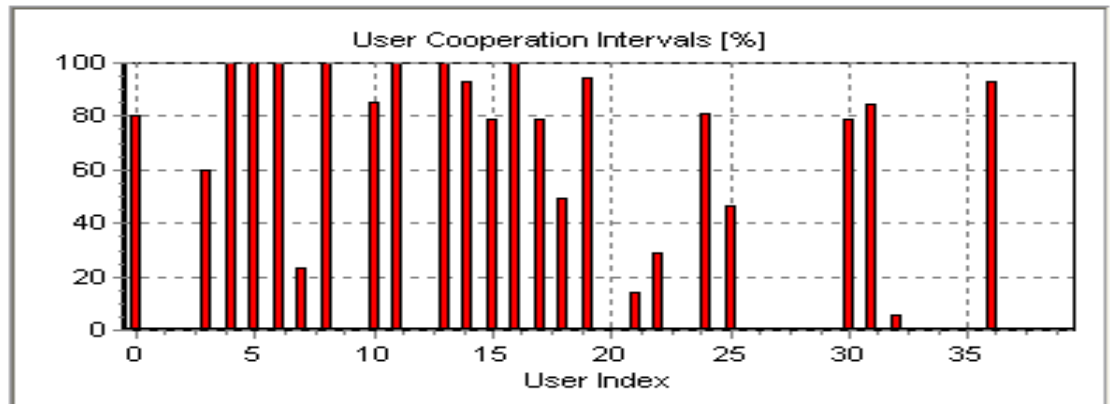
- Câțeva rezultate semnificative
 - Procentul surselor deservite de cooperare

ALGORITM	$N_S = 40, N_R = 60$	$N_S = 60, N_R = 40$
	<i>Ns coop</i>	<i>Ns coop</i>
Secvențial	47%	46.1%

- Procentul de timp în care are loc cooperare

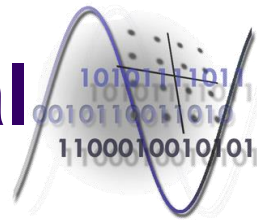
- $N_S = 40; N_R = 60;$

- Îmbunătățire
capacitate medie:



- $N_S = 40; N_R = 60 : 18.9% ; N_S = 60; N_R = 40 : 8.7% ;$

Algoritmul Secvențial

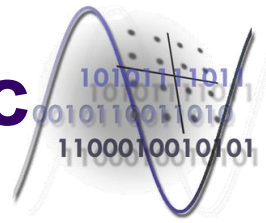


- Durata medie a alocării:

Low density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Sequential; $N_S < N_R$ $N_S = 8$ and $N_R = 12$	35.1	1037	3.78	4.25	1258	3.84	0.95	846	3.81
Sequential; $N_S > N_R$ $N_S = 12$ and $N_R = 8$.	34.4	1016	3.82	4.12	1220	3.83	1.03	917	3.83

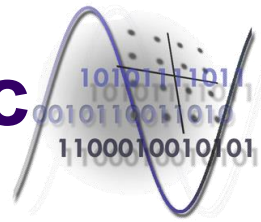
High density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Sequential; $N_S < N_R$ $N_S = 40$ and $N_R = 60$	1.82	54	4.07	0.2	61	4.31	0.077	68	3.94
Sequential+NC	2.01	60	4.18	0.24	71	4.33	0.083	74	4.03
Sequential; $N_S > N_R$ $N_S = 60$ and $N_R = 40$	1.41	42	4.11	0.12	37	4.11	0.048	43	4.11

Algoritmul Secvențial Unic



- Descrierea algoritmului
 - Dacă se permite unui releu să deservască mai multe terminale fără utilizarea unor tehnici network coding apar o serie de probleme suplimentare: partajarea puterii între trasmisii, întârzieri de transmisie, creșterea încărcării de procesare;
 - Modificarea adusă algoritmului secvențial:
 - Odată ce releul este alocat prin căutare secvențială, nu mai poate fi alocat la o altă sursă; performanțele globale vor descrește deoarece unele surse nu vor avea releu alocat; această situație are loc de regulă pentru cazul $N_S > N_R$, dar poate apărea și pentru cazul $N_S \leq N_R$;

Algoritmul Secvențial Unic



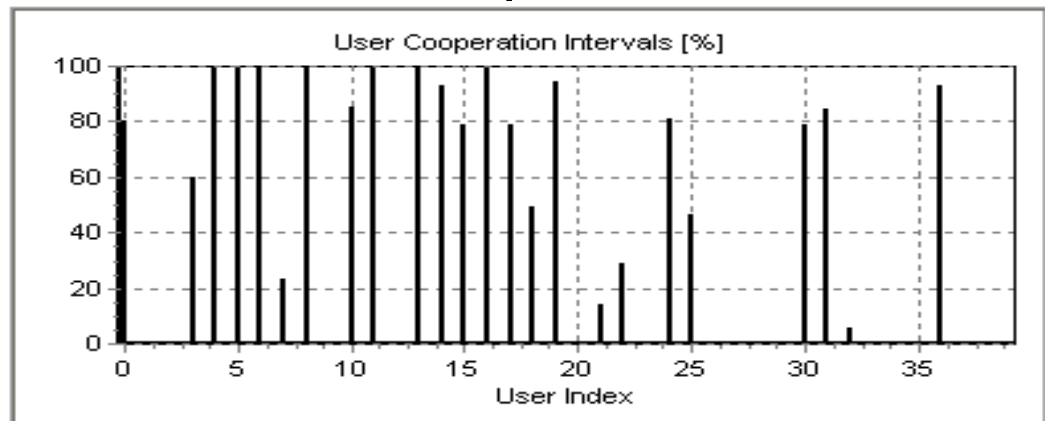
- Câțeva rezultate semnificative
 - Procentul surselor deservite de cooperare

ALGORITM	$N_S = 40, N_R = 60$	$N_S = 60, N_R = 40$
	$N_S \text{ coop}$	$N_S \text{ coop}$
Secvențial Unic	30%	28.3%

- Procentul de timp în care are loc cooperare

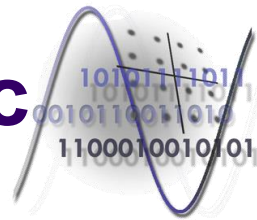
- $N_S = 40; N_R = 60;$

- Îmbunătățire
capacitate medie:



- $N_S = 40; N_R = 60 : 18.4\% ; N_S = 60; N_R = 40 : 8.8\% ;$

Algoritmul Secvențial Unic

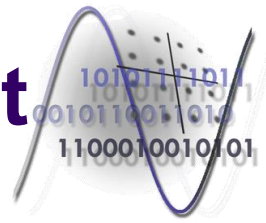


- Durata medie a alocării:

Low density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Seq. unique; $N_S < N_R$ $N_S = 8$ and $N_R = 12$	37.9	1120	3.74	4.52	1338	3.79	1.02	907	3.78
Seq. unique; $N_S > N_R$ $N_S = 12$ and $N_R = 8$.	39.7	1173	3.81	4.43	1310	3.81	1.07	947	3.81

High density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Seq. unique; $N_S < N_R$ $N_S = 40$ and $N_R = 60$	2.61	77	4.27	0.26	77	4.26	0.071	63	4.26
Seq. unique; $N_S > N_R$ $N_S = 60$ and $N_R = 40$	2.35	70	4.21	0.22	65	4.20	0.087	77	4.20

Algoritmul semidistribuit

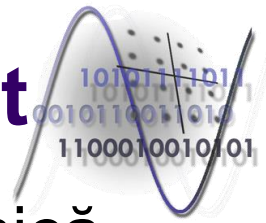


- Descrierea algoritmului
 - Este un algoritm centralizat controlat de BS; aceasta alege pentru fiecare sursă $s_i \in S$ acel releu $r_k \in D(s_i)$ care asigură puterea instantanee maximă la recepție, $R(s_i)$, pe legătura releu-destinație, adică:

$$R(s_i) = \arg \max_{r_k \in D(s_i)} \{SNR_{r_k,d}\}; k = 1..|D(s_i)|$$

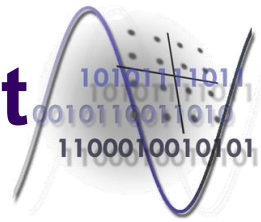
- Fiecare releu este alocat unei legături sursă-releu în mod independent de celelalte legături; este posibil să se aloce același releu la mai multe surse – apar problemele legate de alocarea multiplă a releelor – vezi discuția de la algoritmul secvențial;

Algoritmul semidistribuit



- Algoritmul de alocare are o complexitate mai mică decât celelalte deoarece BS nu trebuie să cunoască canalul sursă – releu, ceea ce simplifică semnalizarea necesară;
 - Nu sunt definite condiții care să prevină alocarea unui releu la surse multiple;
 - Prin utilizarea acestui algoritm nu se garantează performanțe mai bune decât cele obținute prin transmisia directă, adică îmbunătățiri de capacitate;

Algoritmul semidistribuit



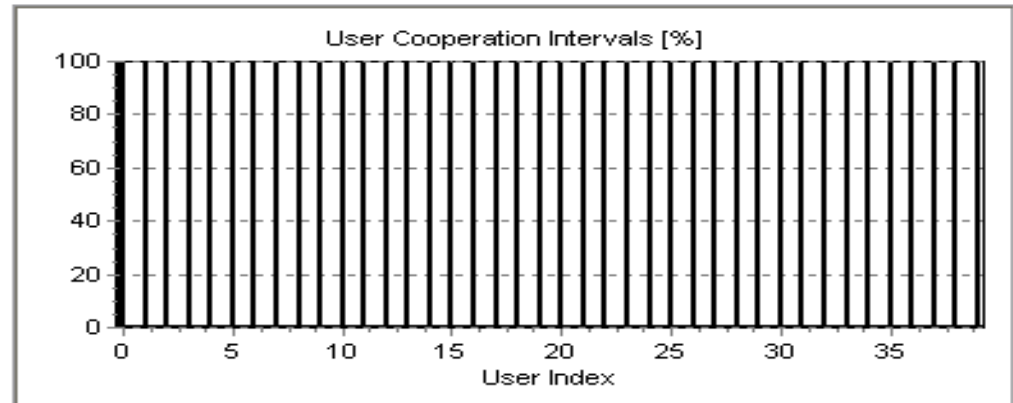
- Câțeva rezultate semnificative
 - Procentul surselor deservite de cooperare

ALGORITM	$N_S = 40, N_R = 60$	$N_S = 60, N_R = 40$
	$N_s \text{ coop}$	$N_s \text{ coop}$
Semi. Distr.	100%	100%

- Procentul de timp în care are loc cooperare

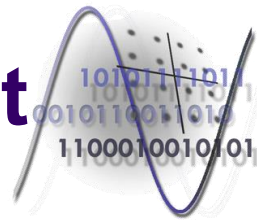
- $N_S = 40; N_R = 60;$

- Îmbunătățire
capacitate medie:



- $N_S = 40; N_R = 60 : -22.5\% ; N_S = 60; N_R = 40 : -28.6\% ;$

Algoritmul semidistribuit



- Durata medie a alocării:

Low density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Semi. Distr.; $N_S < N_R$ $N_S = 8$ and $N_R = 12$	18.4	545	3.16	1.51	447	3.23	0.41	368	3.19
Semi. Distr.; $N_S > N_R$ $N_S = 12$ and $N_R = 8$.	14.5	427	3.11	1.56	461	3.11	0.37	327	3.15

High density of the of nodes	$v = 1m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 33.84ms$			$v = 10m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 3.384ms$			$v = 30m/s$ $\Rightarrow T_{coh} = 1.128ms$		
	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]	T_{assign} [s]	$\frac{T_{assign}}{T_{coh}}$	C_{avg} [b/s/Hz]
Semi. Distrib.; $N_S < N_R$ $N_S = 40$ and $N_R = 60$	1.80	53	3.07	0.17	50	3.07	0.059	52	3.07
Semi. Distrib.; $N_S > N_R$ $N_S = 60$ and $N_R = 40$	1.52	45	2.70	0.15	43	2.70	0.062	55	2.70