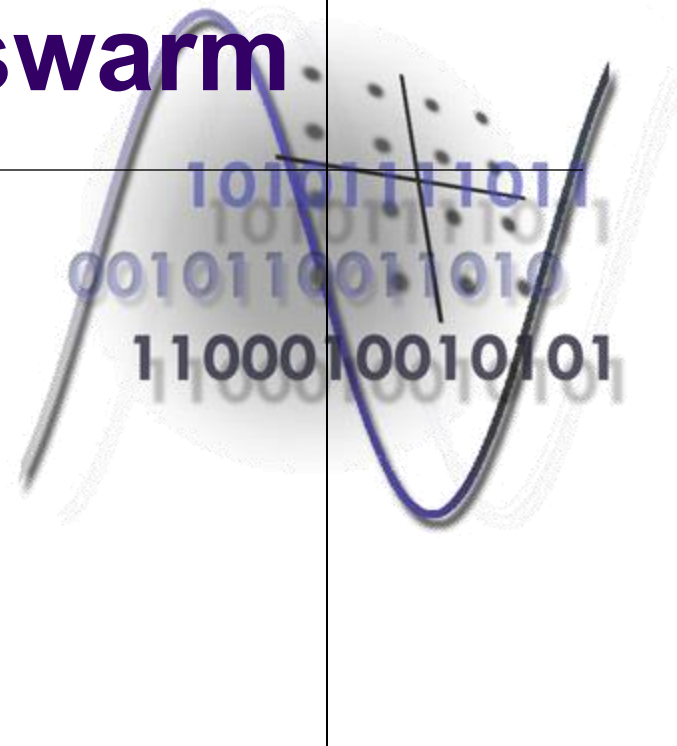
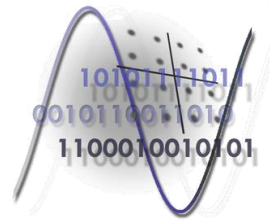


Tehnici de codare network coding utilizate în sisteme de comunicații de tip swarm

TACCFDRT Curs 5

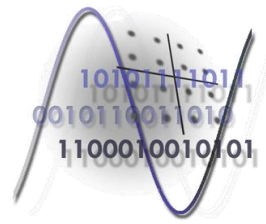




Cuprins

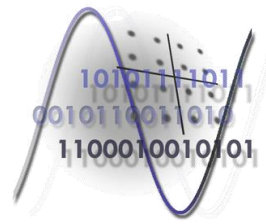
- Metode propuse pentru „content distribution”
 - Distribuție cooperativă a datelor
 - NC in swarm
- Tehnici de codare de tip “Xor in the Air”
 - MIXIT
 - COPE

Metode propuse pentru „content distribution”



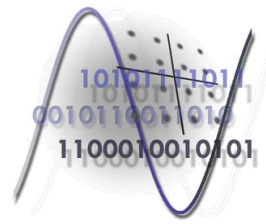
- *Sisteme cooperative bazate pe arbori*
 - crearea și menținerea unui arbore de multicast ce selectează căile cele mai scurte
 - În rețele complexe este dificil construirea și optimizarea rețelei
- *Arhitecturi cooperative de tip Mesh*
 - Cresc eficiența transmisiei prin exploatarea căilor paralele
 - Existența rutelor paralele și deciziile locale conduc la recepționarea multiplă a unor pachete (scade eficiența)
 - Cea mai cunoscută arhitectură de acest tip este BitTorrent

Metode propuse pentru „content distribution”



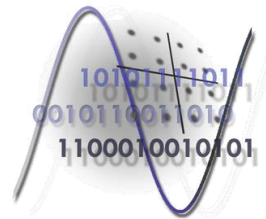
- *Coduri corectoare de ștergeri – DF*
 - Nodul terminal (destinatar) reconstruiește informația originală dintr-un număr suficient de mare de pachete recepționate
 - Deoarece raportul pachetelor dublate la un nod terminal într-o rețea de tip mesh este relativ mare trebuie găsite metode de cooperare eficiente între noduri
- *Network Coding*
 - Utilizarea optimă a NC presupune o cunoaștere detaliată a topologiei și posibilitatea calculării centralizate a schemei de distribuție

Model de distribuție cooperativă a datelor



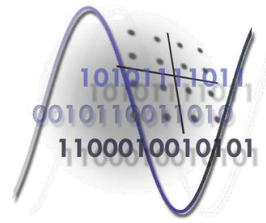
- Se consideră o rețea formată dintr-un grup de utilizatori interesați în descărcarea unui fișier încărcat pe un singur server.
- Capacitatea serverului este limitată.
- Fiecare client poate contribui cu resursele lui pentru a ajuta pe alți utilizatori.
- Serverul divide fișierul în k blocuri și trimite blocurile în mod aleator pentru clienți diferiți.
- Utilizatorii nu știu identitățile tuturor celorlalți utilizatori ci numai a celor situați într-o anumită "vecinătate".
- Fiecare nod poate comunica numai cu vecinii, numărul acestora fiind relative mic.
- Alegerea vecinătății se poate realiza cu ajutorul unui server centralizat sau în mod distribuit.
- Vecinătățile se pot reorganiza datorită plecării nodurilor sau datorită necesității de a crește debitul

Model pentru distribuția datelor necodate sau cu codarea sursei

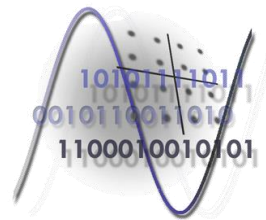


- La fiecare transfer a unui bloc are loc un proces de decizie legat de selectarea blocului care se va transmite
 - Se presupune că nici serverul și nici utilizatorii nu au informații complete despre blocurile deținute de nodurile din sistem
- Reguli utilizate pentru selecția blocurilor sunt:
 - *Random block*. Blocul care se transferă se alege aleator dintre blocurile care există la sursă. Dacă sursa este serverul atunci blocul aleator se alege dintre toate blocurile disponibile.
 - *Local Rarest*. Blocul care se transferă este ales dintre blocurile cele mai rare care se găsesc în vecinătate. Dacă există mai multe astfel de blocuri se alege unul aleator.
 - *Global Rarest*. Este schema de bază care nu este adecvată pentru rețele extinse. Blocul care se transferă este blocul cel mai rar la nivel de sistem din vecinătate. Această metodă dă prioritate blocurilor foarte rare pentru creșterea performanțelor

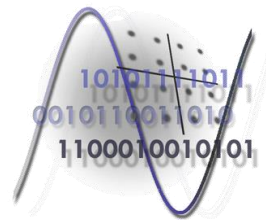
Model pentru distribuția datelor necodate sau cu codarea sursei



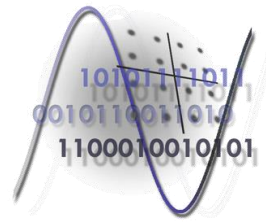
- Sistemul BitTorrent utilizează o combinație a selecției de tip *Random* și *Local Rarest*. La început pornește cu metoda *Random* și după câteva blocuri comută în modul *Local Rarest*.
- Când codarea serverului (sursei) este utilizată atunci sistemul lucrează foarte asemănător cu sistemul descris, dar serverul generează blocuri codate și nu blocurile originale.
 - Serverul generează un bloc codat de fiecare dată când se cere un bloc nou.
 - Fiecare utilizator trebuie să descarce un număr de k blocuri distincte direct de la server sau de la alți utilizatori.
- Soluții posibile sunt coduri cu rată finită ca și codurile Reed-Solomon, sau coduri rateless care generează un număr de pachete nelimitat, dar necesită mai mult de k pachete pentru reconstrucția datelor.



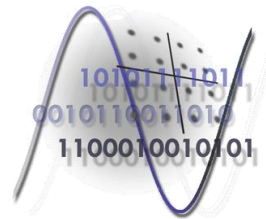
- la momentul zero serverul (nodul sursa) este singurul nod care deține o copie a întregului fișier
 - timpul de descărcare al nodului cel mai rapid este limitat inferior de timpul necesar de a transfera o copie a fiecărui bloc în rețea
- fiecare nod ar trebui să știe ce blocuri au descărcat celelalte noduri(pt. ca un pachet să nu fie cerut de mai multe ori).
 - nu se poate realiza pe scară largă, un nod fiind capabil să cunoască cel mult pachetele (blocurile) deținute de noduri localizate în vecinătatea lui.
- Pe măsură ce rețeaua crește informația pe care un nod o are asupra vecinilor va scădea, crescând probabilitatea de a se cere blocuri duplicate



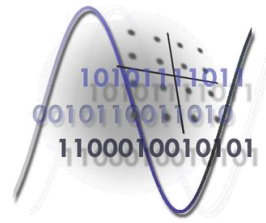
- Singurul lucru pe care un nod îl poate face este de a presupune că nodurile vecine au seturi sau subseturi similare și să ceară în consecință blocuri care nu se suprapun.
- Acest lucru este foarte dificil de realizat datorită următoarelor motive:
 - noduri noi care intră în swarm,
 - capacități de transmisie eterogene,
 - plecarea unor noduri la moment aleatoare (churn), pot crea swarm-uri în care noduri diferite nu dețin seturi diferite de blocuri
- Acest fapt complică estimarea de către un nod, numai pe baza unor observații locale, a blocurilor care există în alte părți ale rețelei.
- De exemplu în cazuri extreme când nodurile NU dețin seturi diferite de blocuri și vizibilitatea în rețea este foarte mică, numărul de blocuri care trebuie generate de server, pentru ca un număr de N blocuri diferite să fie plasate în swarm tinde către $N \log(N)$, ceea ce pentru $N=10000$ blocuri este egal cu 80000.



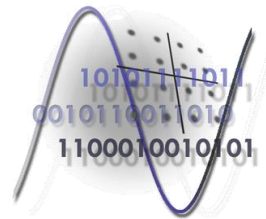
- Problemele menționate pot fi rezolvate prin utilizarea NC,
- toate pachetele generate de server fiind inovative – depinde de numărul de pachete și coeficienții de codare



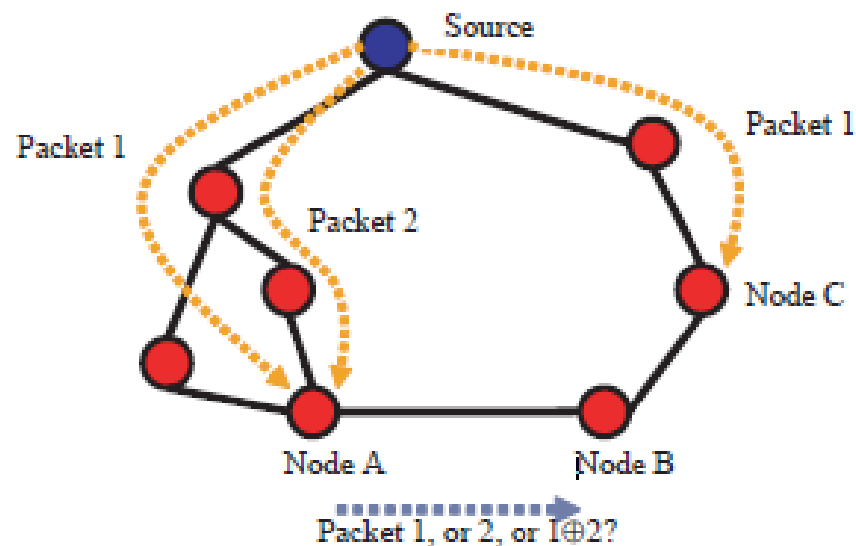
- Dacă se presupune că toate nodurile au aceeași capacitate atunci viteza de propagare a informației în rețeaua P2P este determinată de politica (regula) de selecție a blocurilor și de distanța dintre noduri.
- În cazul în care un anumit nod (sursa) deține un pachet particular, care este cerut într-o altă parte a rețelei (la destinație), nodurile intermediare combină mai multe pachete (blocuri) pe care destinația le are deja
- network coding va asigura că un astfel de bloc se va propaga într-un număr de etape egal cu distanța dintre sursă și destinație (exprimat în numărul de ramuri parcurse).



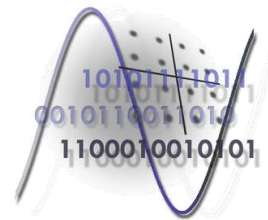
- Comparat cu o abordare tradițională, network coding utilizează optimal resursele din rețea
 - fără a fi necesare proceduri sofisticate de scheduling
 - asigură un grad ridicat de robustețe, chiar dacă pleacă noduri din sistem sau dacă deciziile se iau pe baza unor informații parțiale



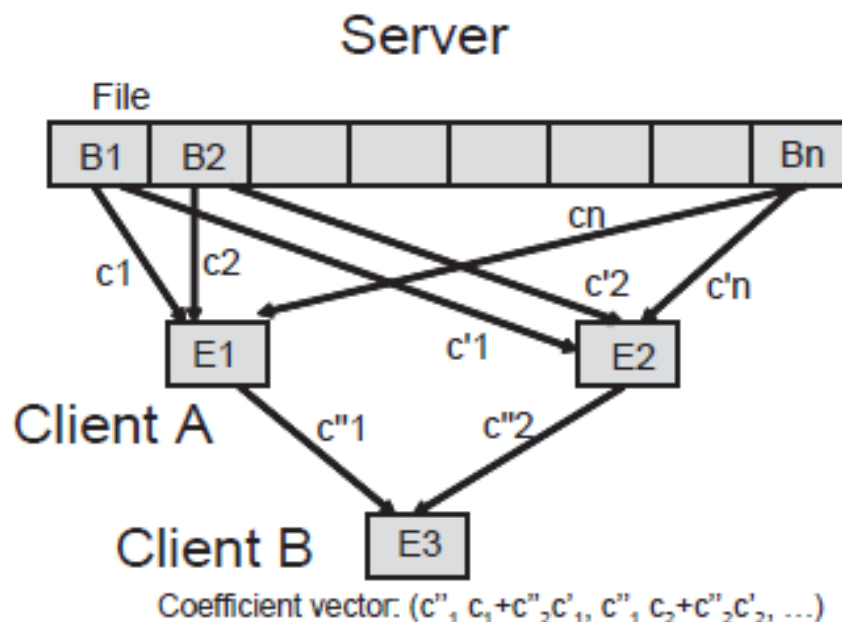
- Dacă nodul B a descărcat pachetul 1 atunci legătura dintre nodurile B și C nu poate fi utilizată pentru propagarea unor informații noi
- Dacă se utilizează network coding atunci nodul B va descărca da la A o combinație liniară a pachetelor 1 și 2, decodarea acestor pachete realizând-se cu ajutorul pachetului 1 de la nodul C

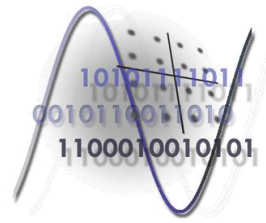


Distribuția datelor cu utilizarea network coding

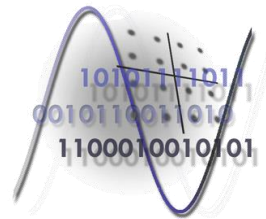


- In cazul utilizării network coding, atât serverul cât și utilizatorii realizează operații de codare.
- Oricând nodul sau serverul trebuie să trimită un bloc la un alt nod realizează o combinație liniară a tuturor (sau a unui subset) blocurilor pe care le deține





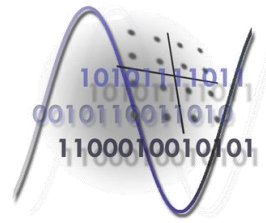
- un nod poate recupera fișierul original după recepționarea a k blocuri pentru care coeficienții asociați sunt liniar independenți
- Beneficiile unei astfel de abordări sunt datorate procesului de aleatorizare introdus în fiecare moment în care se generează un nou bloc codat
- Singura posibilitate ca un bloc codat să nu fie util este ca același bloc să fie generat independent într-un alt nod, sau de același nod într-un alt moment al transmisiei.
- Pe măsură ce blocurile sunt transmise în rețea se combină cu alte blocuri scăzând astfel probabilitatea de a se genera blocuri liniar dependente



Incentive Mechanisms

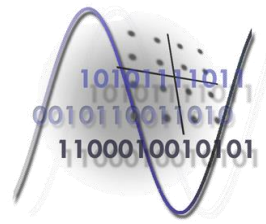
- O problemă importantă este legată de fenomenul de free-riding, adică mulți utilizatori utilizează resursele oferite rețelei de către alți utilizatori fără a contribui cu resursele lor proprii.
- Acest fenomen poate genera o scădere semnificativă a performanțelor sistemului, fiind necesare mecanisme pentru evitarea acestui fenomen. Două astfel de mecanisme sunt următoarele:
- se dă prioritate schimbului de informații în locul transmiterii libere a datelor către alte noduri.
 - când se cere capacitate de transfer de la un nod (adică upload) utilizatorul va transmite în mod preferențial blocuri la utilizatorii de la care descarcă informație.
- Al doilea mecanism este inspirat din mecanismul tit-for-tat utilizat de către sistemul BitTorrent.
 - Un user nu încarcă date la alt utilizator până nu a recepționat o anumită cantitate de date de la acel utilizator
- Un astfel de mecanism face operația de scheduling și mai complicată într-o rețea extinsă.
- Prin utilizarea network coding aproape fiecare bloc este unic crescând astfel semnificativ șansele ca să fie util pentru alți utilizatori și să poată fi transmis ușor la acești utilizatori.

Concluzii. Elemente necesare

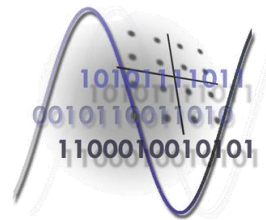


- decodarea necesită multiplicări de matrici – proces destul de lent.
- Trebuie stocate mai multe blocuri recepționate pentru generarea unui nou pachet codat – pentru a se asigura o probabilitate scăzută de apariție a unor pachete liniar dependente – apar întârzieri suplimentare.
- Concluzie: “în legătură cu performanțele network coding trebuie manifestat mai puțin optimism”

Tehnici de codare de tip “Xor in the Air”

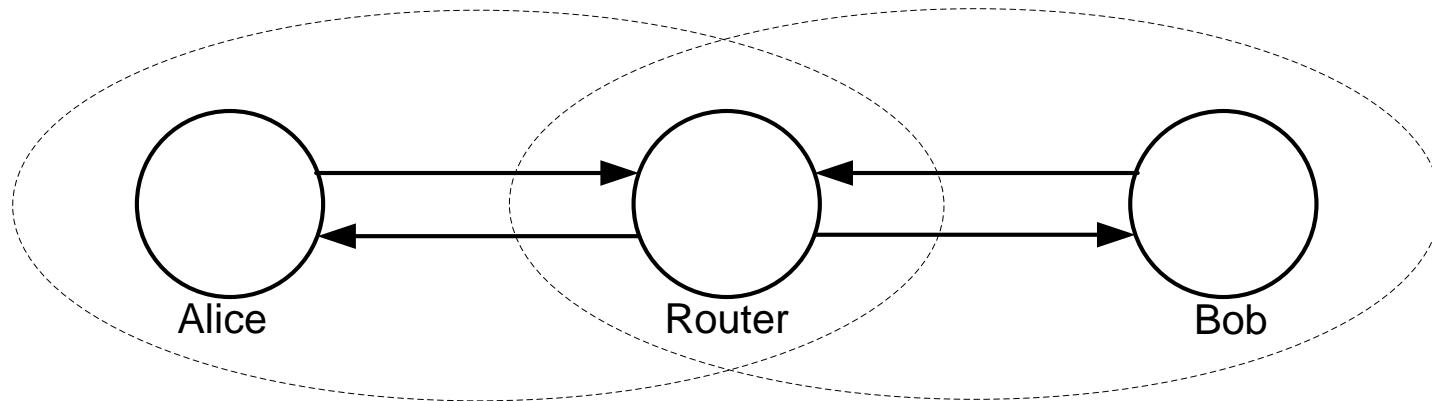


- Rețelele wireless prezintă o serie de probleme:
 - throughput redus
 - intermitente și de calitate redusă
 - puncte situate în afara accesului radio („dead spots”)
 - suport inadecvat pentru mobilitate
- natura broadcast a mediului radio
- diversitatea spațială

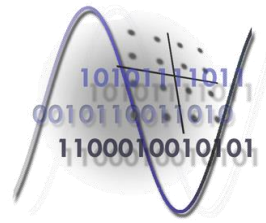


- Rețelele wireless sunt proiectate în general pornindu-se de la modelul rețelelor „wired”
- canalul wireless este abstractizat ca și o legătură punct la punct și sunt controlate de protocoale de comunicații preluate din rețelele fixe
- există o redundanță semnificativă a datelor într-o rețea wireless, deoarece există o suprapunere semnificativă a datelor care sunt disponibile la diferite noduri.
- Soluția posibilă: o proiectare alternativă a rețelelor wireless care să poată exploata caracteristicile intrinseci cum ar fi diversitatea spațială și redundanța datelor, în loc să forțeze o abstractizare artificială corespunzătoare rețelelor pe cablu.

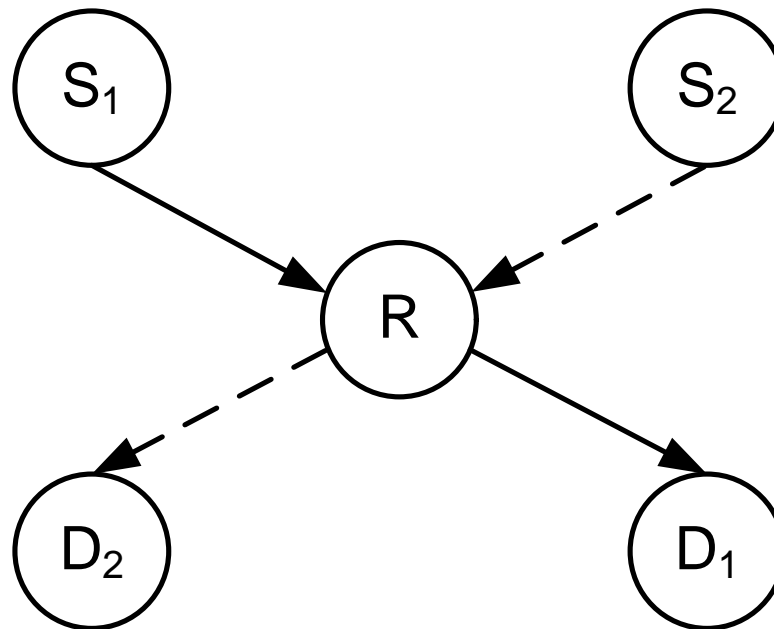
- Pentru explicarea modului în care se poate utiliza tehnica NC în rețelele wireless se consideră următorul exemplu concret

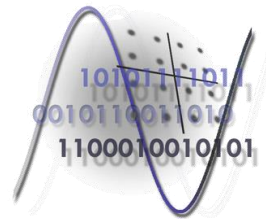


- Operațiile de codare reprezintă așa numitul „*inter-flow network coding*” pentru că se face codarea unor pachete care au nexthop diferit, deci aparțin unor fluxuri diferite.



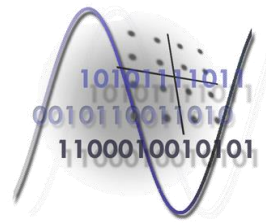
- Ideea prezentată se poate extinde simplu la un scenariu mai complex, în care un singur router deservește mai multe stații



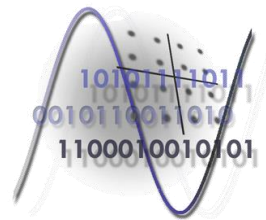


- Utilizarea codării de tip NC în rețelele wireless nu este însă așa de simplă precum pare în exemplele simple prezentate.
- Simpla combinare a pachetelor recepționate de la diverse stații și distribuirea oarbă a acestor pachete, fără să se cunoască nimic despre pachetele pe care le dețin stațiile cărora le este destinat pachetul codat nu va îmbunătăți substanțial sau chiar va reduce performanțele.
- Din acest motiv alegerea soluției de codare trebuie să fie bazată pe o cunoaștere a topologiei locale a rețelei și a datelor (pachetelor) existente în stațiile vecine, aflate în aria de acoperire radio

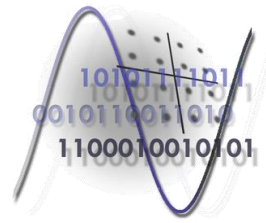
Creșterea throughput-ului în rețelele wireless



- codarea de tip NC poate asigura o creștere substanțială a throughput-ului, dacă operațiile de codare se efectuează în mod corespunzător
 - La baza creșterii throughput-ului se află posibilitatea reducerii numărului de intervale de timp în care se poate realiza transmiterea datelor, pachetele codate transportând combinația mai multor pachete de date originale.

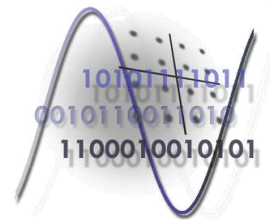


- Îmbunătățirea procesului de transfer a pachetelor de date într-o rețea wireless descentralizată este bazată pe două elemente fundamentale:
- *Ascultare oportunistă (Opportunistic Listening)*: se exploatează natura distribuită a mediului wireless, care asigură automat distribuirea pachetelor transmise într-o anumită vecinătate, adică în zone de recepție radio.
 - Fiecare nod stochează toate pachetele pe care le „aude” un interval limitat de timp.
 - anunță vecinii asupra pachetelor pe care le deține prin adnotarea pachetelor de date pe care le trimite. În acest fel se creează premise pentru codare deoarece nodurile rețelei vor deține pachete (date) care se suprapun parțial cu pachetele deținute de nodurile vecine.



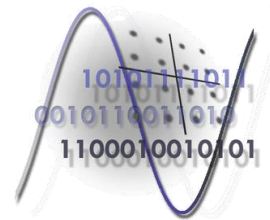
- *Codare oportunistă (Opportunistic Coding)*: când un nod trimite un pachet utilizează informațiile pe care le are despre pachetele vecinilor pentru a transmite pachete multiple într-un singur acces la mediu, combinând aceste pachete într-un singur pachet codat.
 - Transmisia codată are loc numai dacă nodurile vecine (nodurile „nexthop”) au destulă informație pentru a decoda pachetele codate.
 - fiecare nod folosește următoarea regulă de codare: pentru a transmite n pachete, p_1, \dots, p_n , la n noduri „nexthop” , r_1, \dots, r_n , un nod poate aduna modulo doi n pachete pe care le deține numai dacă fiecare nod „nexthop” r_i are $n - 1$ pachete din setul în discuție mai puțin pachetul pe care îl dorește.

Creșterea calității transmisiei

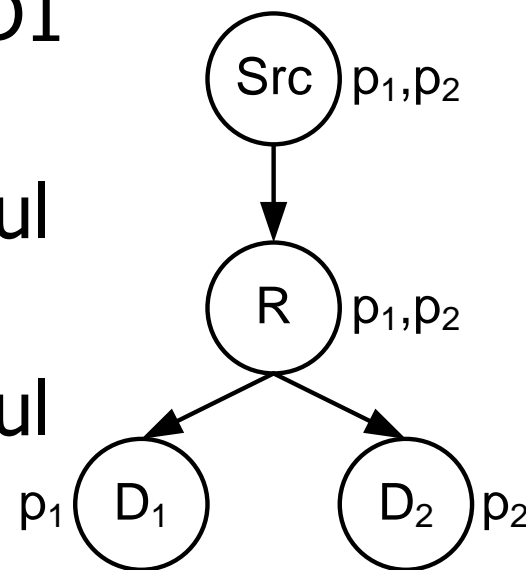


- Metoda consacrată de asigurare a calității transmisiei în rețelele curente constă în retransmiterea pachetelor pierdute
- O soluție alternativă este codarea NC între pachetele aceluiasi flux (*intraflow network coding*)
 - ruterele combină pachetele trimise către aceeași destinație
 - fiecare pachet recepționat conține informații despre toate pachetele din fișierul original
 - Este necesar numai un feedback de la recepție că s-a recepționat numărul corespunzător de pachete pentru decodare

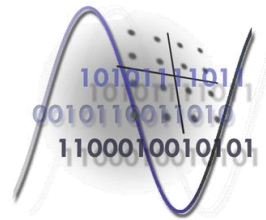
Operații de tip multicast



- În operațiile de multicast este posibil ca noduri diferite să recepționeze corect pachete diferite.
- R trimite pachetele p_1 și p_2 la stațiile D_1 și D_2 .
- D_1 recepționează corect numai pachetul p_1 ,
- D_2 recepționează corect numai pachetul p_2
- atunci o singură retransmisie de la nodul R, conținând $p_1 \oplus p_2$ poate asigura recuperarea datelor la ambele destinații.

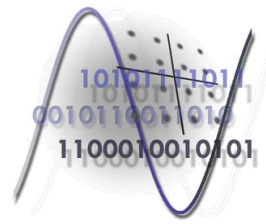


Asigurarea unor condiții echivalente pentru toate transmisiile

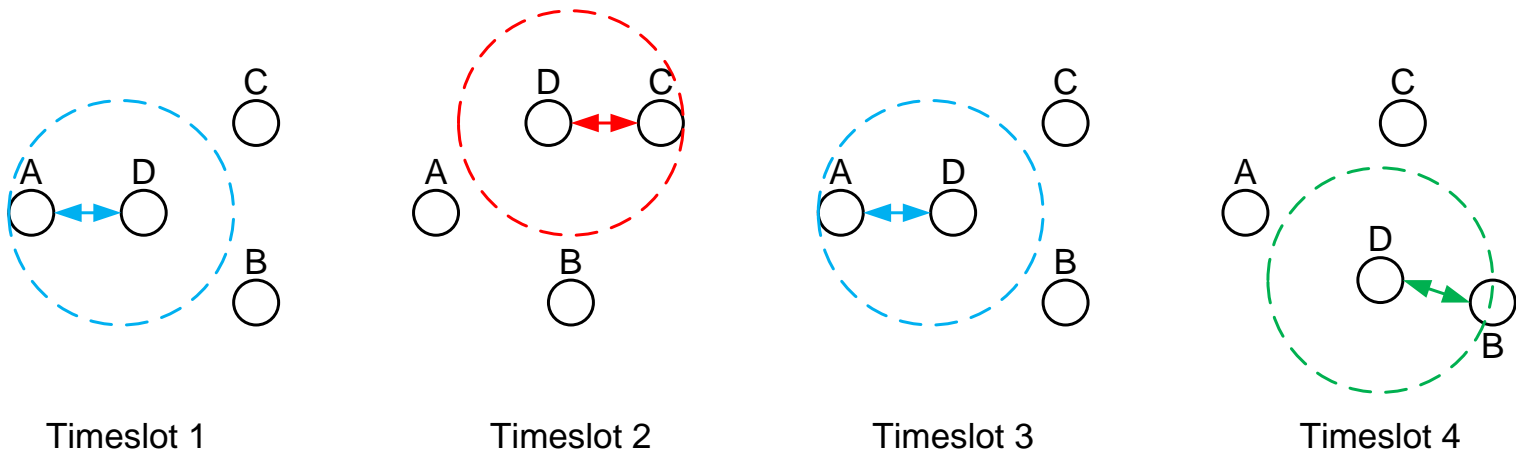


- O caracteristică de bază a rețelelor wireless o reprezintă variabilitatea în timp a calității semnalului recepționat, afectat de interferențe și fading.
 - Fluctuațiile semnalului radio determină pierderi de pachete (erasures) la nivelele superioare ale stivei de protocoale pe intervale variabile de timp (de regulă intervale scurte de timp).
- Aplicațiile în timp real, și nu numai aceste aplicații (de ex. Transferuri de date controlate de protocolul TCP) nu tolerează variații ale valorii debitului recepționat (datorat retransmisiilor) și nici pachetele pierdute, dacă rata de pierdere este peste o anumită limită.
- Prin utilizarea tehnicii NC combinată cu operații de broadcast, este posibil să se realizeze o „netezire” a variațiilor de debit sesizate de stațiile receptoare.

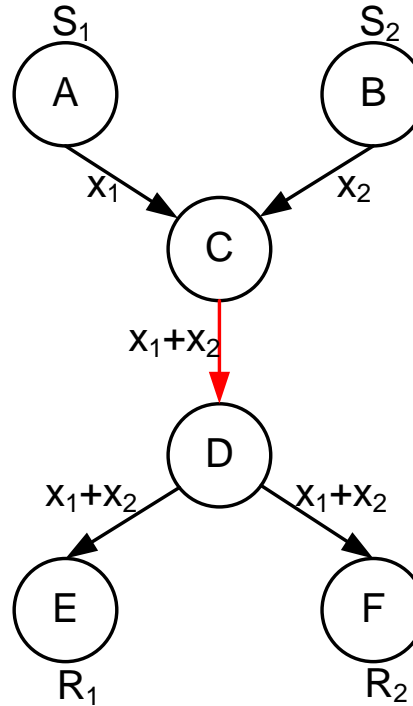
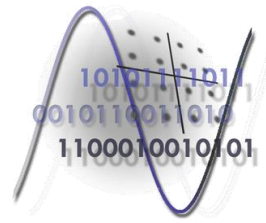
Asigurarea unei rutări simple în cazul mobilității terminalelor



- Într-un mediu mobil, în care configurația rețelei se schimbă frecvent și pe durata unor intervale reduse de timp realizarea eficientă a rutării este complicată
- O simplificare substanțială se poate obține prin utilizarea tehnicilor NC



Monitorizarea stării legăturilor wireless



- Utilizarea combinațiilor dintre pachetele de test generate de surse diferite permite implementarea unei monitorizări mai eficiente a unui rețele wireless.