

Curs 9

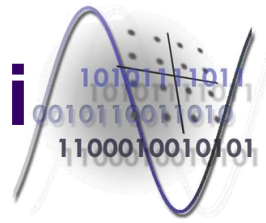
Rețele wireless cooperative. Arhitecturi, algoritmi, aspecte generale.

Zsolt Polgar

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

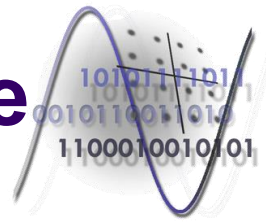


Conținutul cursului



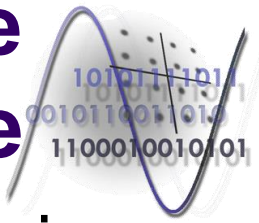
- Activități de standardizare.
- Comunicații cooperative. Aspecte generale.
- Transmisii multihop bazate pe relee.
- Diversitatea prin cooperare.
- Tehnici de cooperare cu o singură sursă (“Single Source Cooperation”).
- Cooperarea în canale cu acces multiplu.
- Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare.
- Indicatori de bază pentru sisteme cooperative.
- Integrarea cooperării în sistemul WiMAX.

Activități de standardizare



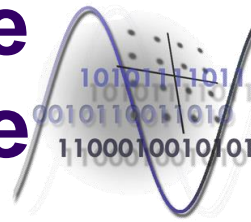
- 802.16j (WiMAX) – MMR (Mobile Multihop Relaying)
 - Recent standardizat;
 - Prevede utilizarea transmisiilor multihop, prin intermediul unor relee dedicate fixe sau mobile;
- 802.16m (WiMAX) – integrarea și uniformizarea standardelor anterioare;
 - Utilizarea facilităților de releu;
 - Recent standardizat;
- LTE Advanced – continuare a standardului LTE;
 - Este prevăzută utilizarea releelor, fixe într-o prima fază;
 - Accentul pus în prima fază pe extinderea acoperirii;

Comunicații cooperative. Aspecte generale



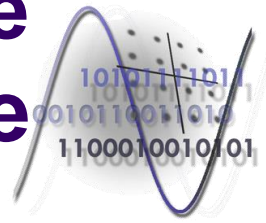
- Comunicațiile cooperative sunt considerate ca și o tehnologie de bază pentru utilizarea eficientă a spectrului radio;
- Ideea cheie: distribuirea resurselor existente între mai multe noduri ale unei rețele;
- Motivația pentru cooperare între utilizatori: distribuirea puterii și a capacității de procesare între noduri vecine, fapt ce poate asigura eficientizarea utilizării globale a resurselor rețelei;
 - Beneficiile asigurate de cooperare sunt strâns legate de resursele existente și de modul în care se pot aloca aceste resurse; cooperarea nu este benefică totdeauna!!!

Comunicații cooperative. Aspecte generale



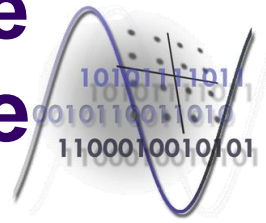
- Opțiuni majore legate de comunicațiile cooperative:
 - Arhitectura de rețea:
 - Ad-hoc: Sensor networks; MANET (“Mobile Ad-Hoc Networks”);
 - Rețelele ad-hoc considerate mai mult pentru rețele cu senzori și aplicații militare;
 - Celular îmbunătățit cu relee;
 - Se consideră de regulă relee convenționale, fără cooperare sau cu cooperare limitată;
 - Se urmărește de regulă extinderea cooperării și mai puțin creșterea throughput-ului;
 - Protocoale utilizate în operațiile cu releu:
 - Amplify & Forward: pentru relee mobile, fixe, nomadice;
 - Decode & Forward: pentru relee mobile, fixe, nomadice;

Comunicații cooperative. Aspecte generale



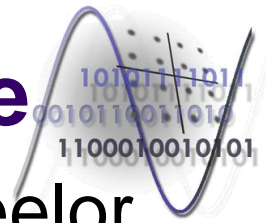
- Mod de duplexare pentru releu:
 - Half duplex – utilizat de regulă în operațiile cu relee;
 - Full duplex;
- Tehnica de acces:
 - OFDM / OFDMA – tehnică prevăzută pentru sistemele actuale;
 - MC-CDMA / CDMA – MC-CDMA este o alternativă viabilă;
- Număr de relee utilizate:
 - Single-hop;
 - Multi-hop;
- Opțiuni de codare:
 - Codare FEC distribuită;
 - Codare ST (Space-Time) distribuită;

Comunicații cooperative. Aspecte generale



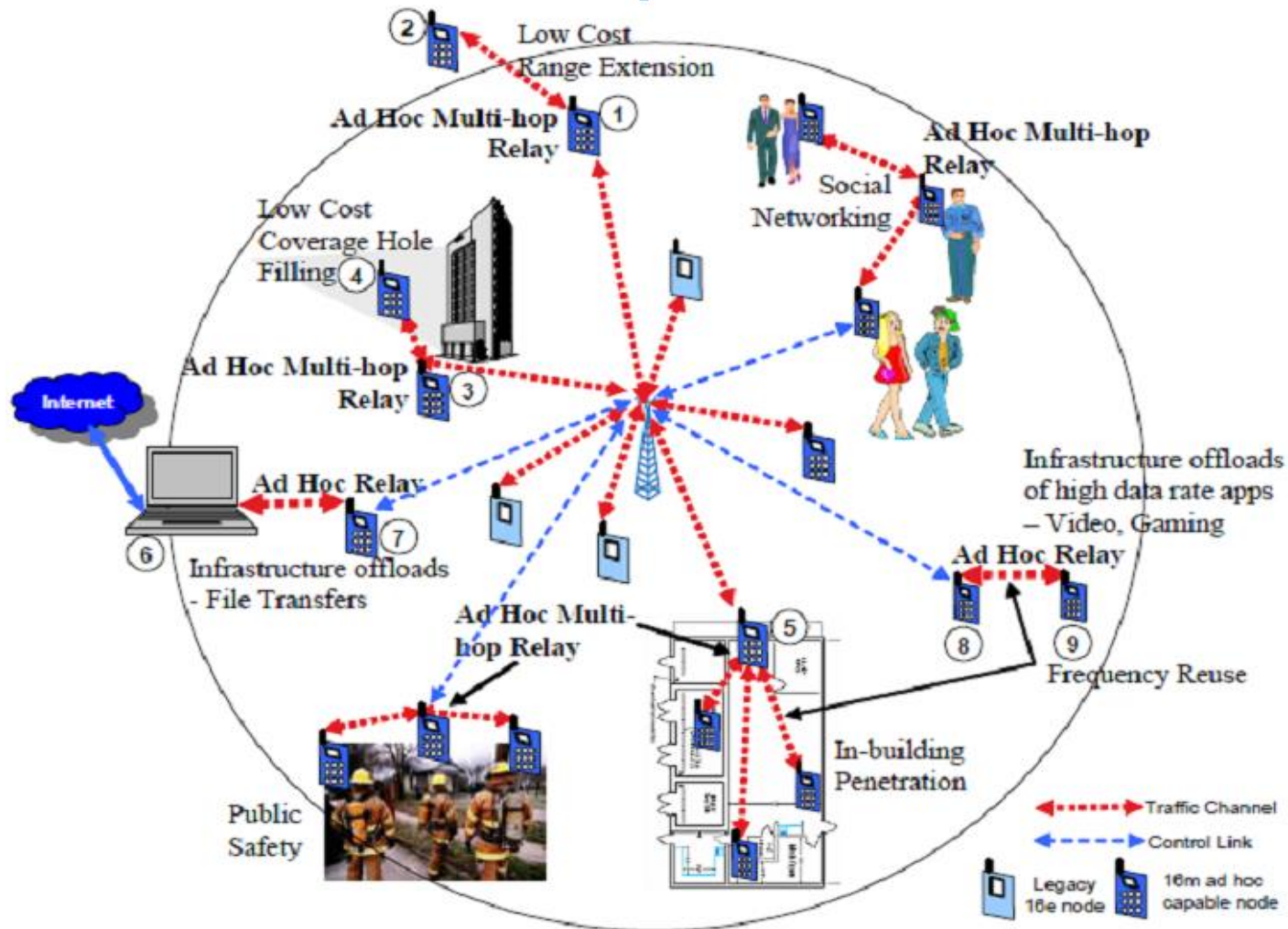
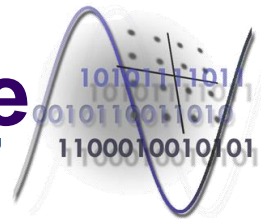
- Nu se poate specifica o soluție unică pentru comunicațiile prin cooperare;
 - Soluțiile punctuale trebuie să depindă de aplicațiile și de caracteristicile concrete ale rețelei;

Transmisii multihop bazate pe relee



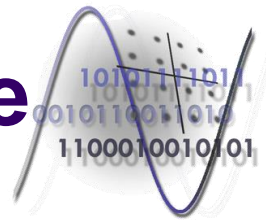
- Transmisii multihop bazate pe utilizarea releelor constituie metoda cea mai simplă de cooperare;
- Motivațiile majore pentru transmisii multihop bazate pe relee:
 - Extinderea acoperirii;
 - Îmbunătățirea throughput-ului;
 - Îmbunătățire penetrație clădiri;
 - Reducerea încărcării infrastructurii;
 - Este vorba atât de infrastructura wireless, prin utilizarea mai eficientă a resurselor wireless cât și infrastructura fixă (“backhaul”) prin utilizarea rețelelor wireless;
 - Îmbunătățirea reutilizării frecvențelor;

Transmisii multihop bazate pe rele

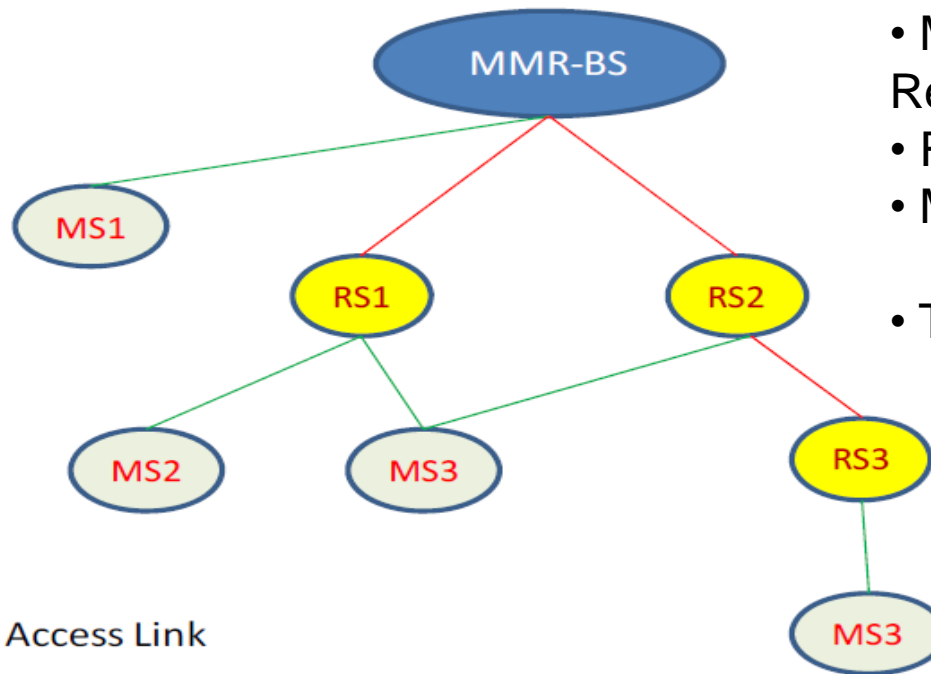


Arhitectură și scenariu de utilizare a transmisiilor multihop – sistemul 802.16j/m

Transmisii multihop bazate pe relee



- Arhitectură de bază pentru “multihop relaying”

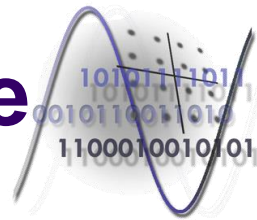


- MMR-BS – Mobile Multihop Relay Base Station;
- RS – Relay Station;
- MS – Mobile Station;

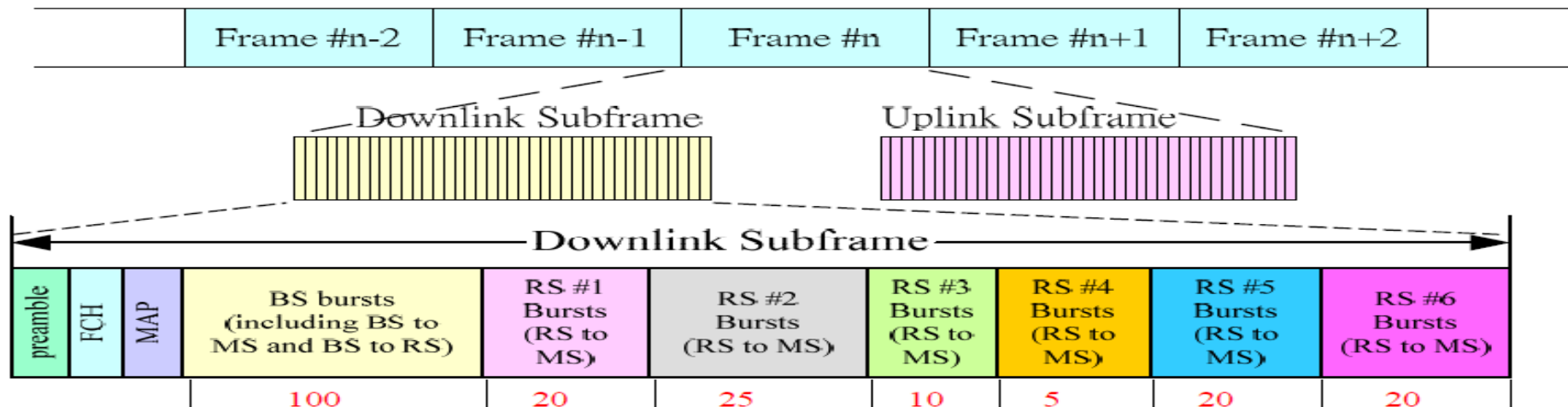
- Tipuri de relee WiMAX:
 - Relee fixe;
 - Relee nomadice;
 - Relee mobile;

- Caracteristici de bază “multihop relaying” WiMAX:
 - Tehnică de acces OFDMA;
 - Metodă de duplexare: TDD, opțional FDD;
 - Lărgime de bandă, codare, “beamforming” – identic cu 802.16e;

Transmisii multihop bazate pe relee



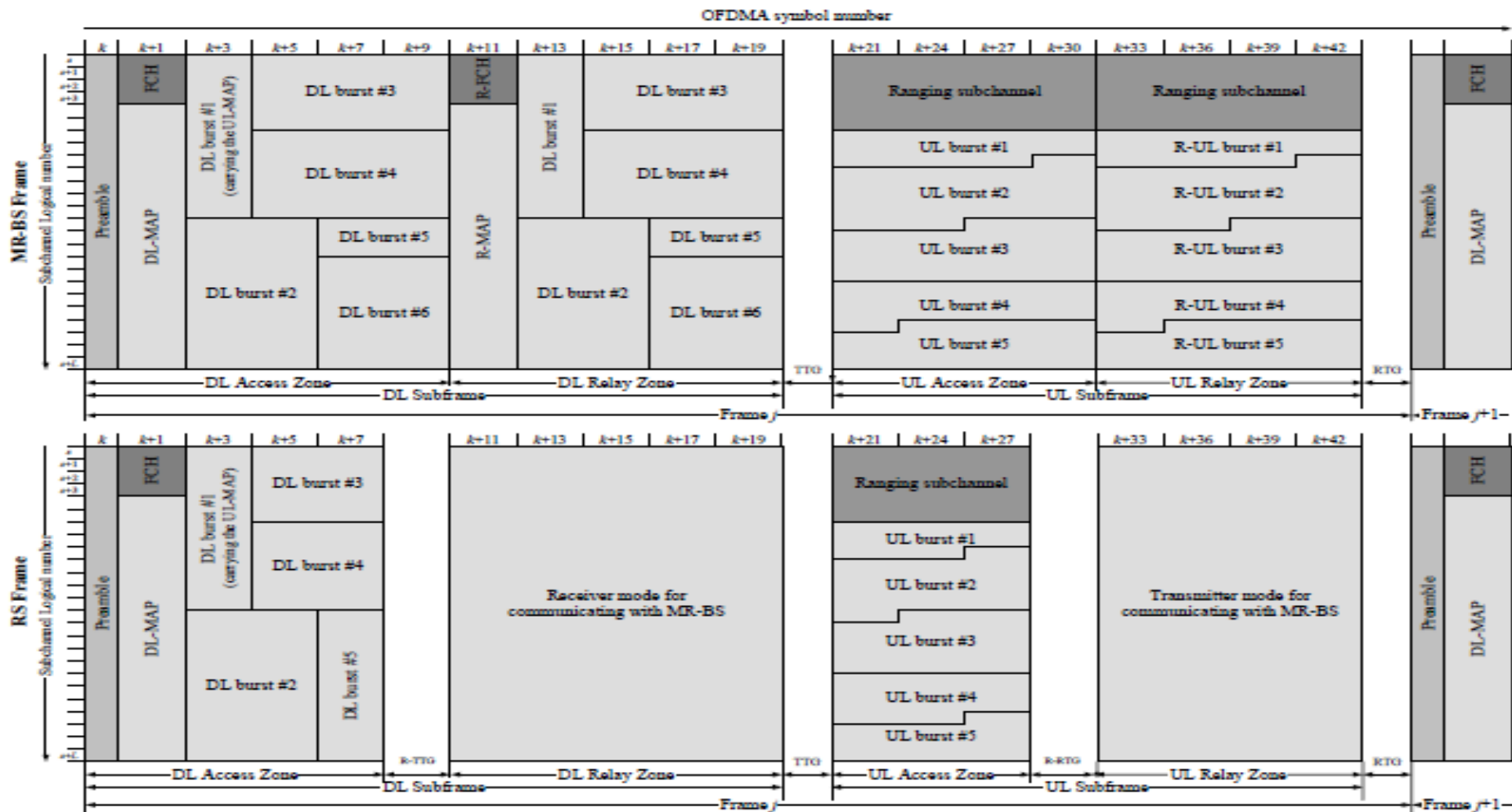
- Structura cadrului radio 802.16j:
 - Trebuie asigurată compatibilitatea cu sistemul 802.16e;
 - Fiecare cadru are durată fixă;
 - Fiecare cadru conține un sub-cadru downlink și uplink;
 - Se utilizează un număr de sloturi de timp pentru o alocare mai eficientă a benzii de frecvență;
 - Există definite zone distincte pentru leg. BS-MS/RS și RS-MS;



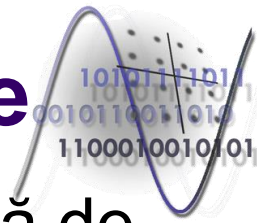
Transmisii multihop bazate pe rele



- Detalii suplimentare legate de structura cadrului radio WiMAX-MMR;



Diversitatea prin cooperare



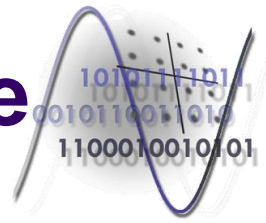
- Diversitatea prin cooperare este o forma alternativă de diversitate prin care se poate asigura o diversitate radio mai pronunțată fără a fi necesară utilizarea unor antene adiționale sau mărirea semnificativă a benzii de frecvență;
- Ideea de bază este utilizarea unor terminale cu o singură antenă care implementează tehnici de releu și de procesare distribuită a informației; aceste terminale cooperative implementează canalul de comunicație dintre sursă și destinație.
 - Implementarea cooperării între terminale se bazează pe natura “broadcast” a canalului radio și pe terminalele utilizator “idle” capabile de cooperare;

Diversitatea prin cooperare



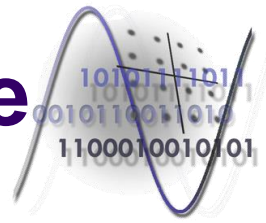
- Protocoale de cooperare proiectate optim, ce implică k terminale, pot asigura o diversitate de ordin k necesitând numai modificări reduse ale protocoalelor wireless existente;
 - Noțiunea de protocol se referă la operațiile de la nivelele inferioare ale stratului OSI, adică LLC și PHY;
 - Terminalele utilizator care acționează ca și releu se consideră că operează în modul half-duplex și trebuie să fie fixe sau să aibă o mobilitate scăzută;
 - Cooperarea între utilizatori se poate utiliza în comunicații punct la punct (o singură sursă) sau multipunct (acces multiplu);

Diversitatea prin cooperare



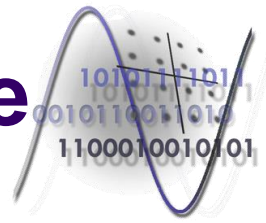
- Concepte de cooperare de bază:
 - “Amplify and Forward”:
 - Releul recepționează o versiune “zgomotoasă” a semnalului transmis de sursă, amplifică acest semnal și îl retransmite; destinația decodează doar semnalul recepționat de la releu – varianta multihop; nu se obține diversitate;
 - Destinația combină informația recepționată de la sursă și releu și ia o decizie asupra bitului/simbolului transmis;
 - Zgomotul este aplicat de către procesul de cooperare, dar destinația recepționează două replici afectate de fading ale aceluiași semnal;
 - Se asigură diversitate de ordinul doi;
 - Se presupune că destinația cunoaște parametrii canalelor utilizate de procesul de cooperare pentru a realiza o decodare optimală;
 - Semnalizarea necesară trebuie încorporată în mecanismul de cooperare;

Diversitatea prin cooperare



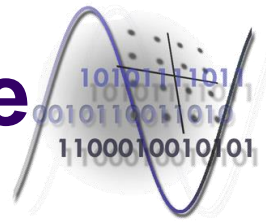
- “Decode and Forward”:
 - Releul operează asupra semnalului recepționat de la sursă; în varianta multihop legătura directă nu se utilizează;
 - Dacă se utilizează și legătura directă destinația trebuie să combine cele două semnale recepționate – se poate obține tot o diversitate de ordin doi dacă eroarea pe canalul sursă – releu este neglijabil; altfel se obține o diversitate de ordin 1;
 - Releul trebuie să cunoască parametrii canalului sursă-releu;
 - Există mai multe posibilități de implementare;
 - Există definite mai multe variante ale acestui protocol:
 - “Compress and Forward” – optimal pentru situația unui singur releu; releul trebuie să cunoască toate canalele pentru a putea alege/adapta compresia datelor;
 - Variante adaptive: timpul în care releul ascultă transmisia se adaptează la calitatea canalului sursă-releu;

Diversitatea prin cooperare

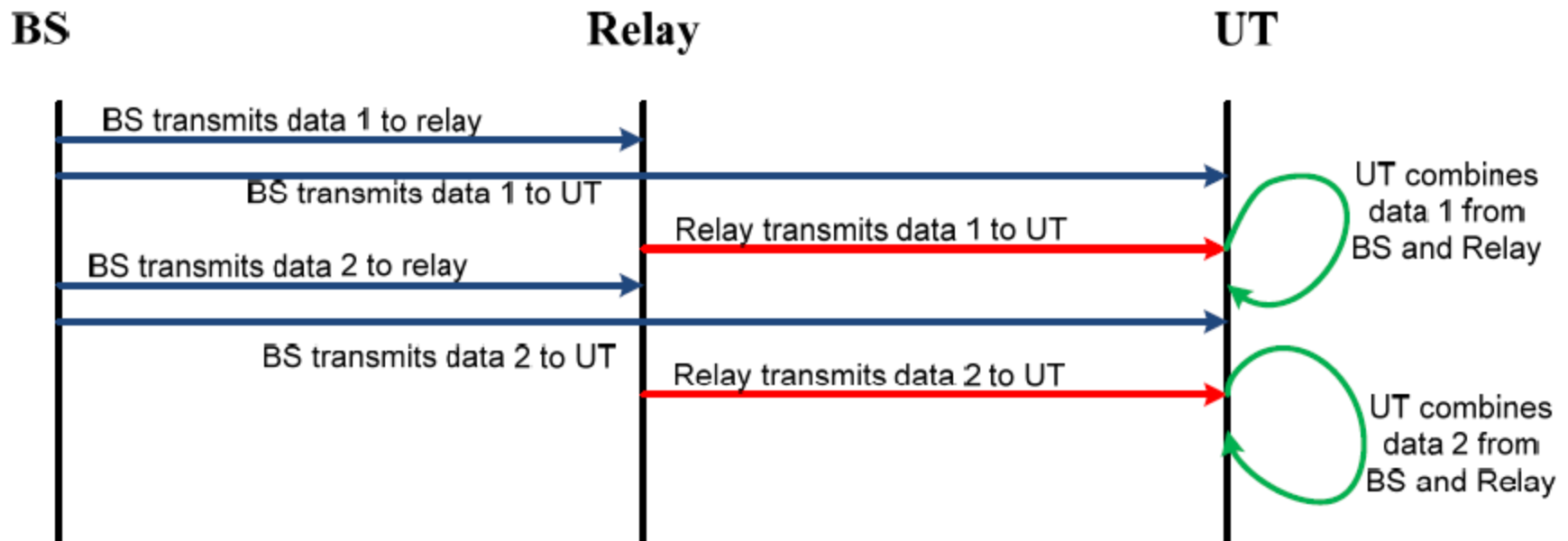


- “Coded cooperation” – cooperare prin codare:
 - Este o metodă care integrează cooperarea în codarea canalului;
 - Coded cooperation acționează prin trimiterea diferitelor părți ale cuvântului de cod generat de sursă pe două canale cu fading independent;
 - Metoda de codare de bază este “Incremental Redundancy” – releul decodează cuvântul de cod recepționat și generează biți de control în plus către destinație;
 - Destinația realizează decodarea combinată a cuvântului de cod de pe legătura directă și a biților de control suplimentari de pe legătura de releu;
 - Există și alte modalități de cooperare – releul poate genera și cuvinte de cod complete;
 - “Distributed Turbo Coding” este una dintre opțiunile cele mai bune; releul trebuie să utilizeze un “interleaver” adecvat;

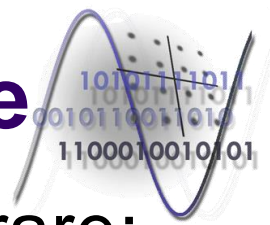
Diversitatea prin cooperare



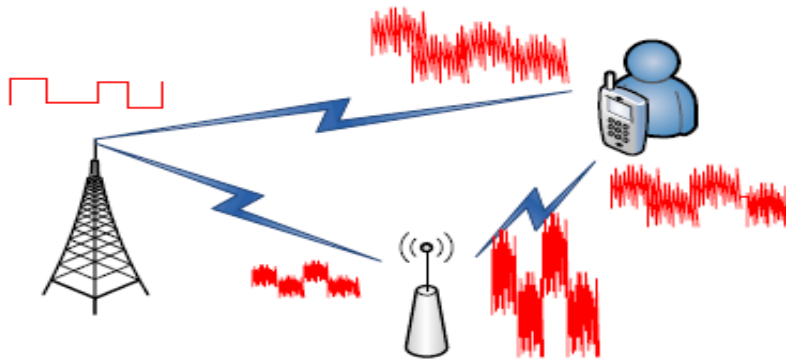
- Protocolul de cooperare de bază în doi timpi:
 - Se presupune operare semi-duplex a releului;



Diversitatea prin cooperare

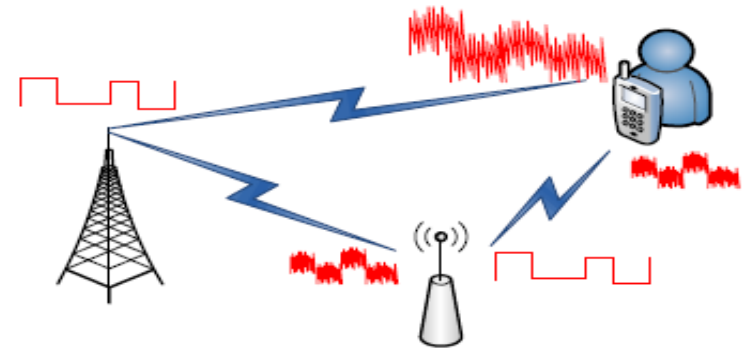


- Recapitulare tehnici de diversitate prin cooperare;



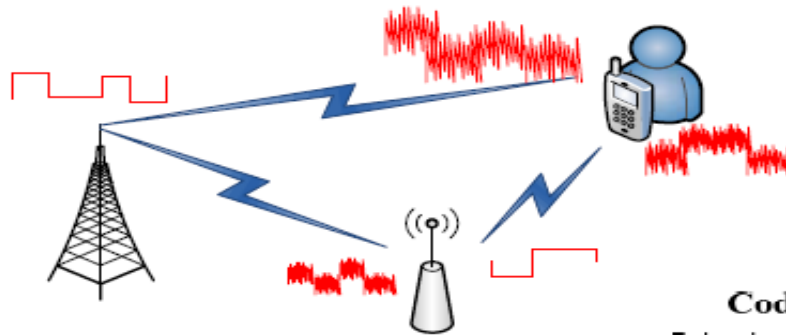
Amplify and forward

Relay simply amplifies the received signal



Decode and forward

Relay decodes the received signal and retransmits it



Coded cooperation

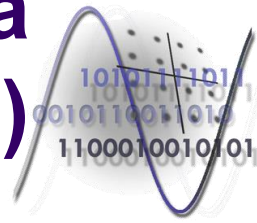
Relay decodes received signal and re-encodes it in cooperation with the BS

Tehnici de cooperare cu o singură sursă (“Single Source Cooperation”)



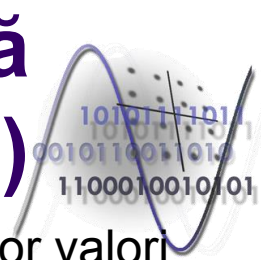
- Ideea tehnicilor de cooperare cu o singură sursă este crearea unui grid de antene virtuale;
 - Se realizează procesarea distribuită a datelor într-un grup de k utilizatori: un utilizator este sursă iar celelalte acționează ca și relee;
 - Schemă similară cu schemă de transmisie $k \times 1$ MISO;
 - Canale adiționale se utilizează între sursă și relee (antene);
 - Alte diferențe semnificative:
 - Terminalele operează în mod half-duplex; izolarea dintre transmițător și receptor se poate realiza în timp sau în frecvență;
 - Avantajul în diversitate se obține prin creșterea benzii (sau a altor resurse) comparativ cu transmisiile MISO care utilizează coduri “space-time”;
 - Creșterea ratei de codare necesare și reducerea numărului de retransmisii poate compensa creșterea benzii cerută de cooperare;

Tehnici de cooperare cu o singură sursă (“Single Source Cooperation”)



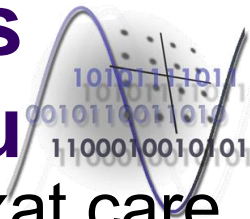
- A doua diferență constă în faptul că gradul de diversitate a sistemului de antene virtuale cu două ramuri poate fi numai de unu datorită erorilor de pe legăturile sursă – releu, dacă se utilizează o tehnică DF.
- Strategii posibile pentru creșterea gradului de diversitate a sistemului de antene virtuale:
 - a. Utilizarea tehnicii “Selective forwarding (SF)” la releu:
 - Pachetul recepționat este utilizat de releu numai dacă este decodat corect; este necesar un control de tip CRC;
 - b. Utilizarea tehnicii “Amplify & Forward (AF)” la releu:
 - Releul doar amplifică semnalul analogic recepționat;
 - c. Utilizarea tehnicii “Decode & Forward (DF)” la releu și a tehnicii “Cooperative Maximum Ratio Combining (C-MRC)” la destinație;
- Fiecare strategie are avantaje și dezavantaje:
 - SF cel mai simplu din p.d.v. al destinației, dar necesită procesare la suplimentară releu; dacă legăturile sursă – releu sunt mai bune decât legăturile sursă – destinație este soluția cea mai bună;

Tehnici de cooperare cu o singură sursă (“Single Source Cooperation”)



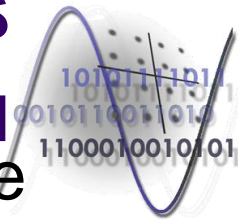
- AF necesită procesare minimă la releu, dar implică stocarea unor valori analogice, crescând necesarul de memorie; este o soluție viabilă dacă releul este poziționat mai aproape de destinație și legăturile releu – destinație sunt mai bune decât legăturile sursă – destinație și sursă – releu;
- C-MRC necesită un terminal releu mai simplu, dar destinația necesită informație despre canalele sursă – releu; duce la creșterea overhead-ului;
- Pentru un grup de k terminale cooperative se poate obține o diversitate de ordinul k prin aplicarea strategiilor a – c enunțate anterior;
- *În general cea mai bună abordare în rețele cooperative este o combinaire între “multi-hopping” și “multi-branching”*
 - “Multi-hopping” nu asigură diversitate, dar exploatează atenuarea mai redusă între terminalele cooperative;
 - “Multi-branching” asigură transmiterea mesajelor generate de sursă prin utilizarea a k terminale cooperative, asigurând o diversitate mai mare în condițiile unei atenuări mai mari;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



- Definiție canale cu acces multiplu: canal multiplexat care asigură comunicația unui grup de utilizatori cu o destinație comună (stație de bază sau punct de acces) pe link-uri independente afectate de fading Rayleigh;
 - Tehnicile de multiacces pot fi ortogonale în mod deterministic sau statistic, realizând astfel multiplexarea;
 - Protocoalele care implementează accesul multiplu pot utiliza resursele utilizatorilor “idle” conectați la rețea:
 - Se asigură diversitate fără a se mări banda de frecvență, dar este necesar un consum de energie suplimentar;
 - Diversitatea crește odată cu creșterea mărimii rețelei; se pot asigura performanțe asemănătoare cu transmisiile pe canalele AWGN;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



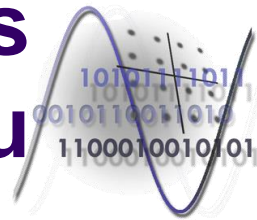
- Cele mai des considerate protocoale cooperative utilizate pe canale cu acces multiplu:
 - Multipath oportunist – este bazat pe utilizarea unor protocoale de repetiție – copiile semnalului trimise de releu (relee) pot fi privite ca și o formă de multipath.
 - Pentru a se evita extensia de bandă trebuie utilizate transmisii ortogonale (deterministic sau statistic);
 - Cooperare în două faze: broadcast cu putere redusă urmată de o transmisie cooperativă către destinație.
 - Se bazează pe separarea spațială dintre utilizatori – un canal “shared” poate reduce necesarul de bandă cerut de implementarea cooperării;
 - Se poate implementa prin utilizarea unui slot de timp T_1 în care toți utilizatorii transmit “broadcast ” datele urmat de N sloturi de timp T_2 în care fiecare releu/grup de releu comunică cu destinația;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



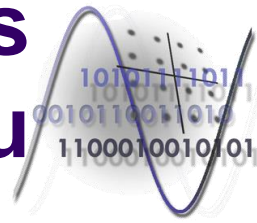
- Scheme care implementează cooperare multi-sursă:
 - Utilizatorii cooperează pentru a crea transmisii codate distribuite care asigură un grad de diversitate egal cu numărul de utilizatori activi;
 - De regulă se bazează pe cooperare în două faze: transmisia directă și prin releu (nededicat în acest caz):
 - În prima fază se utilizează N sloturi de timp în care cele N surse transmit blocurile lor de informație și care vor fi recepționate de către destinație, respectiv și de către celelalte surse localizate în același cluster de cooperare;
 - SNR va fi mai ridicat pe legăturile dintre surse decât între surse și destinație;
 - Sursele intercalează și codează datele recepționate de la celelalte surse și le trimit către destinație într-un slot de timp din a doua fază a cooperării;
 - Este vorba de o cooperare de tip cluster – cooperează doar un set limitat de utilizatori;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



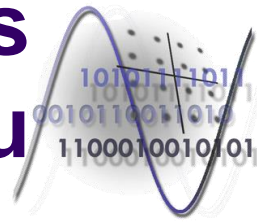
- Cooperarea în rețelele cu acces aleator:
 - Nu utilizează o alocare fixă a canalelor la utilizatori, permițându-se acestora să transmită în mod aleator către un punct de acces;
 - Transmisia cu succes a pachetelor depinde nu numai de canalul fizic, dar și de câți utilizatori se decid să transmită;
 - Se poate calcula numai un număr mediu de pachete transmise într-un slot de timp;
 - În ciuda lipsei de coordonare între utilizatori se poate obține un număr mediu de pachete transmise rezonabil;
 - Utilizarea resurselor utilizatorilor “idle” poate mări câștigul de diversitate;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



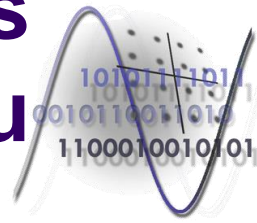
- O serie de aspecte practice trebuie să fie considerate:
 - a. Datorită faptului că cooperarea mărește complexitatea rețelei este important să se determine dacă se obține o mărire a throughput-ului sau extinderea benzii;
 - Metoda de cooperare trebuie adaptată la cerințele impuse;
 - b. Cooperarea necesită coordonare, dar accesul aleator trebuie să implice o coordonare minimă;
 - Trebuie analizată relația dintre performanțe și coordonare;
 - c. Îmbunătățirile aduse de creșterea diversității trebuie evaluate relativ la excesul de bandă sau de putere necesare;
 - d. Cooperarea necesită sincronizarea tactului nodurilor care cooperează – trebuie găsite tehnici de sincronizare eficiente;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



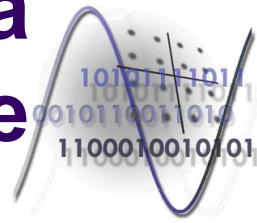
- Protocoale de cooperare oportunistice – încearcă să utilizeze pentru cooperare resursele disponibile la un moment dat;
- Câteva proprietăți atractive ale protocoalelor de cooperare oportunistice:
 - a. Dacă cooperarea este limitată la un număr de utilizatori “idle” învecinați se poate asigura o diversitate ridicată în condițiile unei extensii reduse de bandă și putere;
 - b. Se asigură o acoperire mai extinsă utilizând aceeași putere de emisie;
 - c. Permite rezolvarea problemei “fairness-ului” între utilizatori printr-o proiectare corespunzătoare;

Cooperarea în canale cu acces multiplu



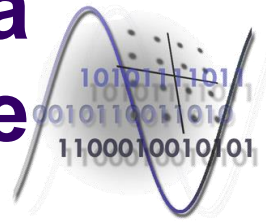
- Problema sincronizării distribuite:
 - Referința de sincronizare poate fi asigurată de o stație de bază (BS) sau punct de acces (AP) într-o arhitectură centralizată;
 - În cazul accesului aleator trebuie găsite metode de sincronizare distribuită;
 - Aceste metode estimează offsetul dintre semnalele de tact, alunecarea și variațiile neliniare ale semnalelor de tact;
 - Trebuie asigurată și o convergență rapidă a acestor algoritmi;
 - Se pot utiliza algoritmi dezvoltați pentru rețele mesh – “distributed consensus algorithm”:
 - Acest algoritm este bazat pe principiul “information flooding” sau “gossiping” – fiecare nod care recepționează informație de sincronizare realizează o evaluare medie a parametrilor tactului – convergența are loc după mai multe iterații;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



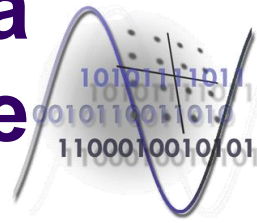
- Scenarii de bază prevăzute pentru cooperarea bazată pe relee dedicate – conform IEEE802.16j:
 - Scenariul de infrastructură fixă:
 - Un provider de servicii instalează relee și stații de bază cu capacități de a lucra cu relee pentru a îmbunătăți throughput-ul și acoperirea;
 - Are potențial mare de a fi implementat în practică;
 - Scenariul de asigurare a acoperirii “indoor”:
 - Se instalează relee pentru a îmbunătăți acoperirea și a crește throughput-ul în clădiri, tunele, metrou, etc;
 - Releele trebuie să fie cât mai simple și de cost redus; stații cu a singură antenă;
 - Se pot utiliza relee fixe sau nomadice, dar nu mobile;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



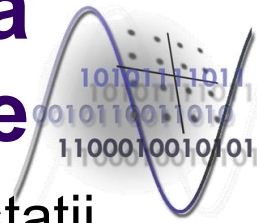
- Scenariul de acoperire temporară:
 - Stații releu se instalează temporar pentru a asigura acoperire sau capacitate adițională în zone unde releele fixe nu asigură acoperire suficientă;
- Scenariul de acoperire în vehicule:
 - Acoperirea este asigurată pentru stații utilizator care se deplasează împreună într-un vehicol;
 - Un releu mobil se montează pe vehicol și se conectează la stația de bază;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



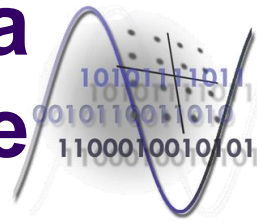
- Relee dedicate versus stații mobile cu capabilități de releu?
 - Diferențele majore între cele două cazuri sunt următoarele:
 - 1. Topologie: utilizarea stațiilor utilizator cu capabilități de releu generează o rețea cu structură dinamică;
 - Primele studii arată că creșterea entităților cu capabilități de releu duce la creșterea capacității rețelei (diversitate de multi-utilizator), dar managementul și alocarea resurselor devin mai complexe;
 - 2. Aspecte de securitate: utilizarea terminalelor ca și relee sau alte forme de cooperare între utilizatori ridică probleme suplimentare de securitate a comunicației;
 - Problema principală este accesul mult mai ușor la datele transmise de alte stații;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



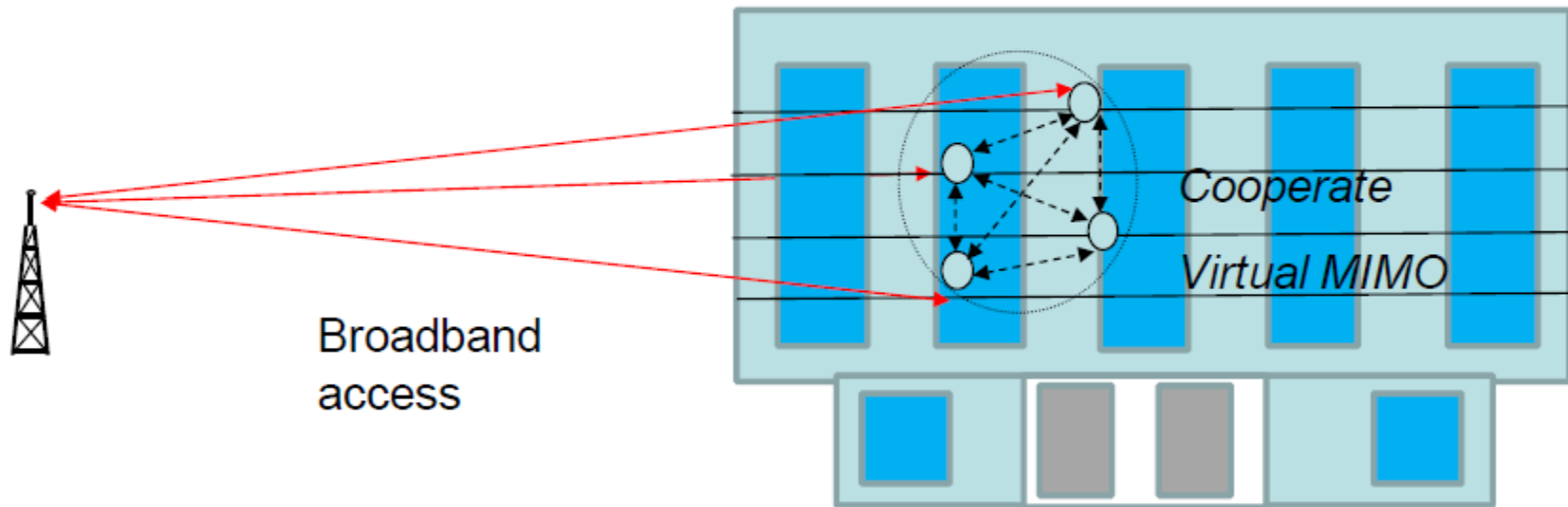
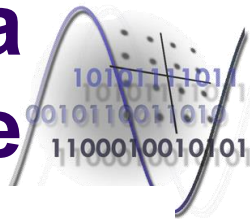
- 3. Utilizarea bateriei: este evident că utilizarea unor stații utilizator ca și relee sau alte forme de cooperare între utilizatori va duce la descărcarea mult mai rapidă a bateriei terminalelor mobile;
 - Pe de altă parte este posibilă și o reducere a puterii de emisie datorită cooperării;
- Utilizarea terminalelor mobile ca și relee sau a altor forme de cooperare între utilizatori trebuie să țină cont și de aspectele legate de “business model”;
- Aspectele majore care trebuie evaluate sunt legate de efectul tehnologiilor bazate pe cooperare asupra CAPEX și OPEX;
 - Trebuie asigurate beneficii financiare atât pentru utilizator cât și pentru provideri;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



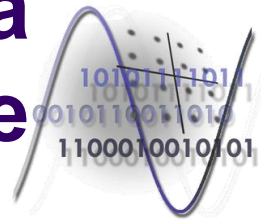
- Scenarii care pot beneficia de cooperarea dintre terminale:
 - a) Acces broadband asigurat în clădiri, campusuri, organizații;
 - Dacă se consideră o organizație ce operează într-o singură clădire aspectele de consum de baterie și securitate sunt mai puțin importante și cooperarea între utilizatori este o soluție;
 - Va fi necesară o autentificare corespunzătoare a terminalelor;
 - Cooperarea se poate baza pe tehnici de MIMO virtual, fiind posibilă asigurarea accesului broadband, fără a fi necesară instalarea unei asemenea linii;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



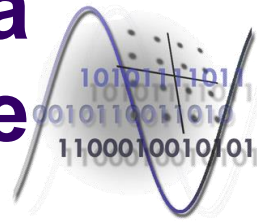
- b) Servicii de intervenție și situații de dezastre;
 - În situații de urgență aspectele de legate de securitate pot fi “neglijate” și cooperarea între terminale se poate utiliza pentru înlocuirea parțială a infrastructurii distruse:
 - Terminalele pot acționa ca și relee ce retransmit mesaje;
 - Terminalele ce cooperează implementează MIMO virtual pentru a asigura pe lângă access și capabilități de broadband;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



- Cooperarea între terminale poate fi folositoare și pentru determinarea contextului în care are loc comunicația;
- Alte scenarii în care cooperarea între terminale poate fi benefică:
 - a) Localizare și poziționare:
 - Uzual se poate realiza prin conectarea la mai multe stații de bază și utilizarea unor metode de triangulație;
 - Cooperarea între terminale oferă o poziționare relativă mai precisă; mai multe terminale sunt implicate în procesul de poziționare;
 - Poate constitui o motivație suplimentară pentru cooperare;

Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare

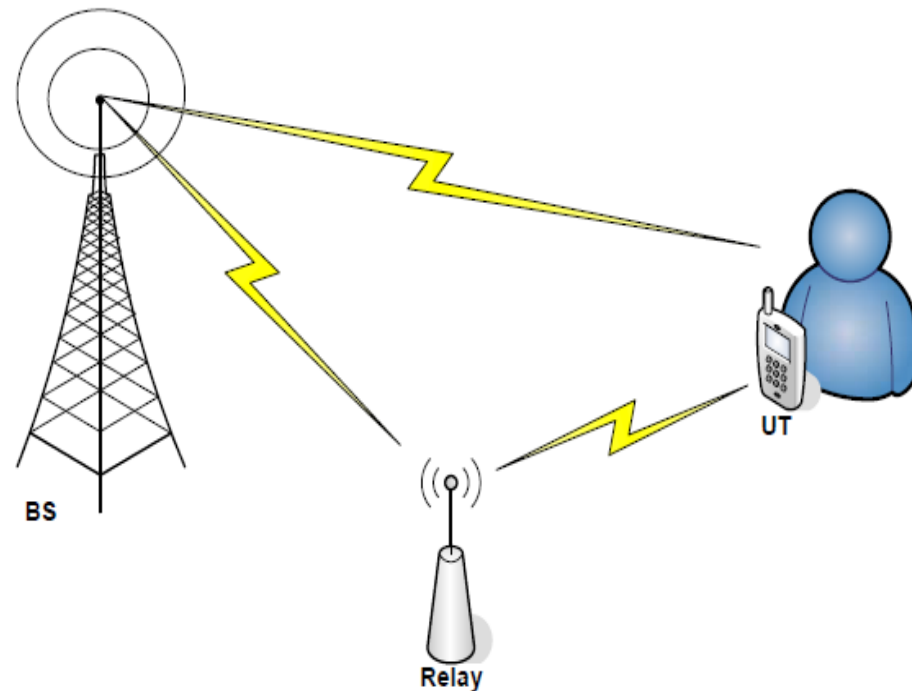


- b) Achiziția informațiilor ce descriu rețeaua (mediul de comunicații):
 - Legăturile de cooperare stabilite între terminalele care cooperează permit achiziționarea informațiilor de stare a rețelei – condiții de propagare, interferență, calitate servicii;
 - Aceste date se pot utiliza pentru proiectarea rețelei (“network planning”);
- c) Detecția rețelei pentru tehnici “cognitive radio”:
 - Este strâns legat de cazul anterior, dar obiectivul principal este detecția utilizării spectrului într-o anumită zonă;
 - Detecția de spectru trebuie să fie precisă și sunt necesari senzori corespunzători;
 - Utilizatorii care folosesc astfel de terminale pot primi compensații adecvate;

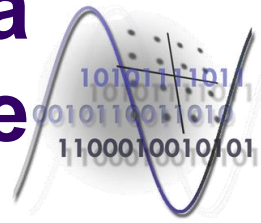
Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



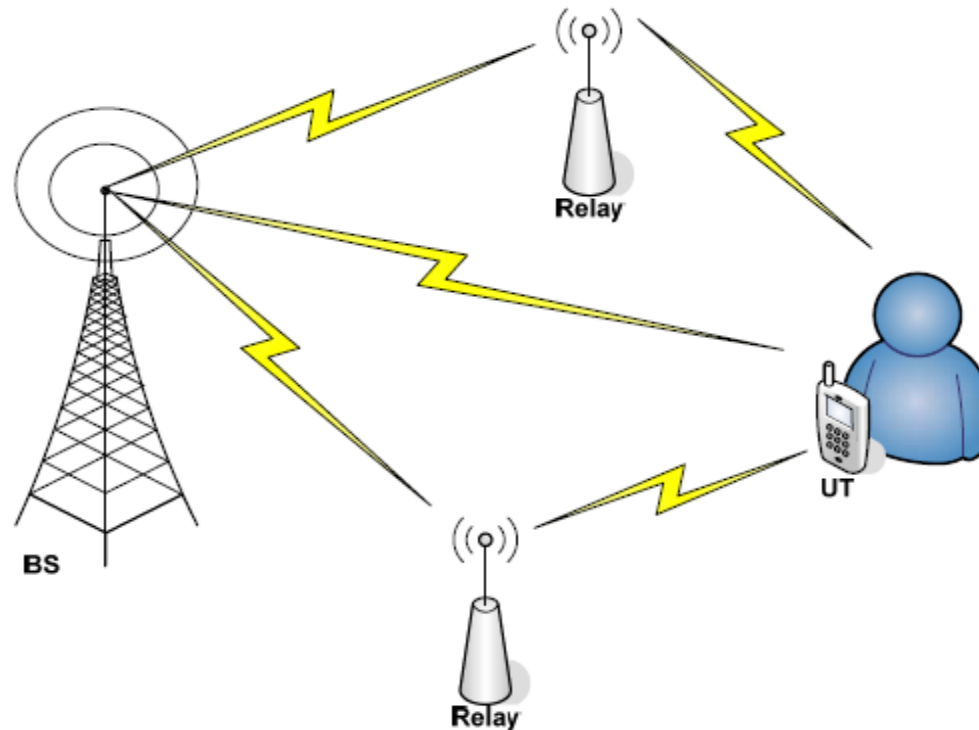
- Există multe posibilități pentru exploatarea principiului diversității prin cooperare;
 - Majoritatea tehnicilor propuse se bazează pe scenariul: sursă – releu – destinație; se asigură diversitate prin utilizarea releului;
- Cooperarea se poate implementa prin mai multe metode:
 - Codare distribuită;
 - MIMO distribuit;
- Echipamentele implicate în cooperare pot fi fixe, nomadice sau mobile cu excepția BS;
- Este un scenariu cu potențial mare de implementare;



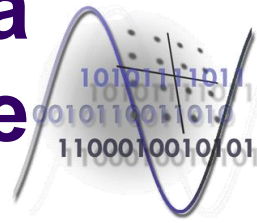
Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



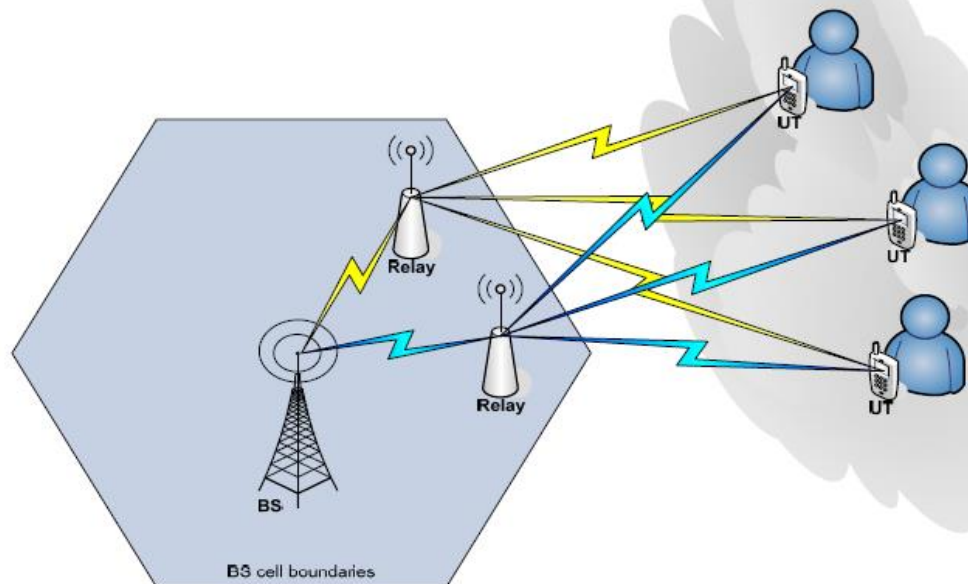
- Îmbunătățirea diversității:
 - Releele trebuie să fie distanțate pentru a asigura link-uri cu corelație redusă;



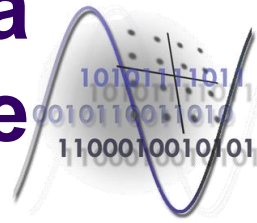
Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



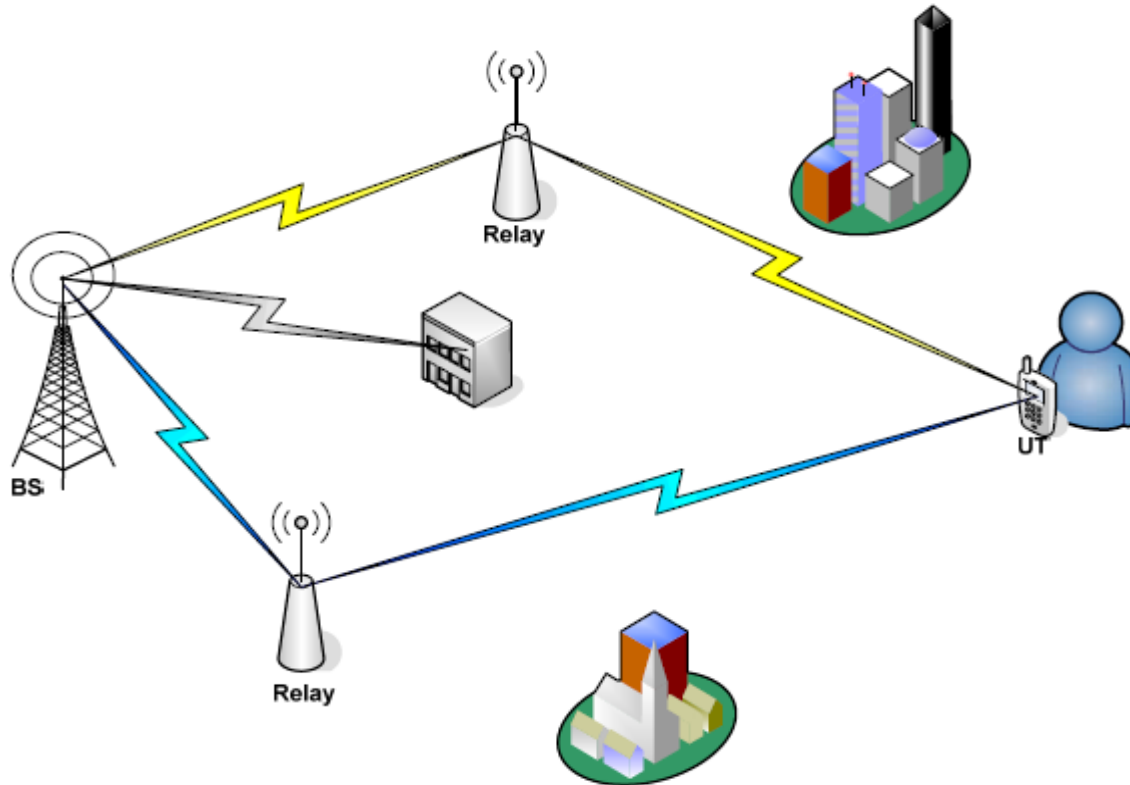
- Extinderea acoperirii:
 - Un terminal utilizator sau un grup de terminale sunt situate dincolo de rază de acoperire realistico;
 - Utilizarea releelor poate rezolva această problemă;



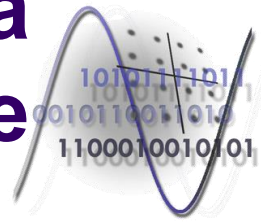
Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



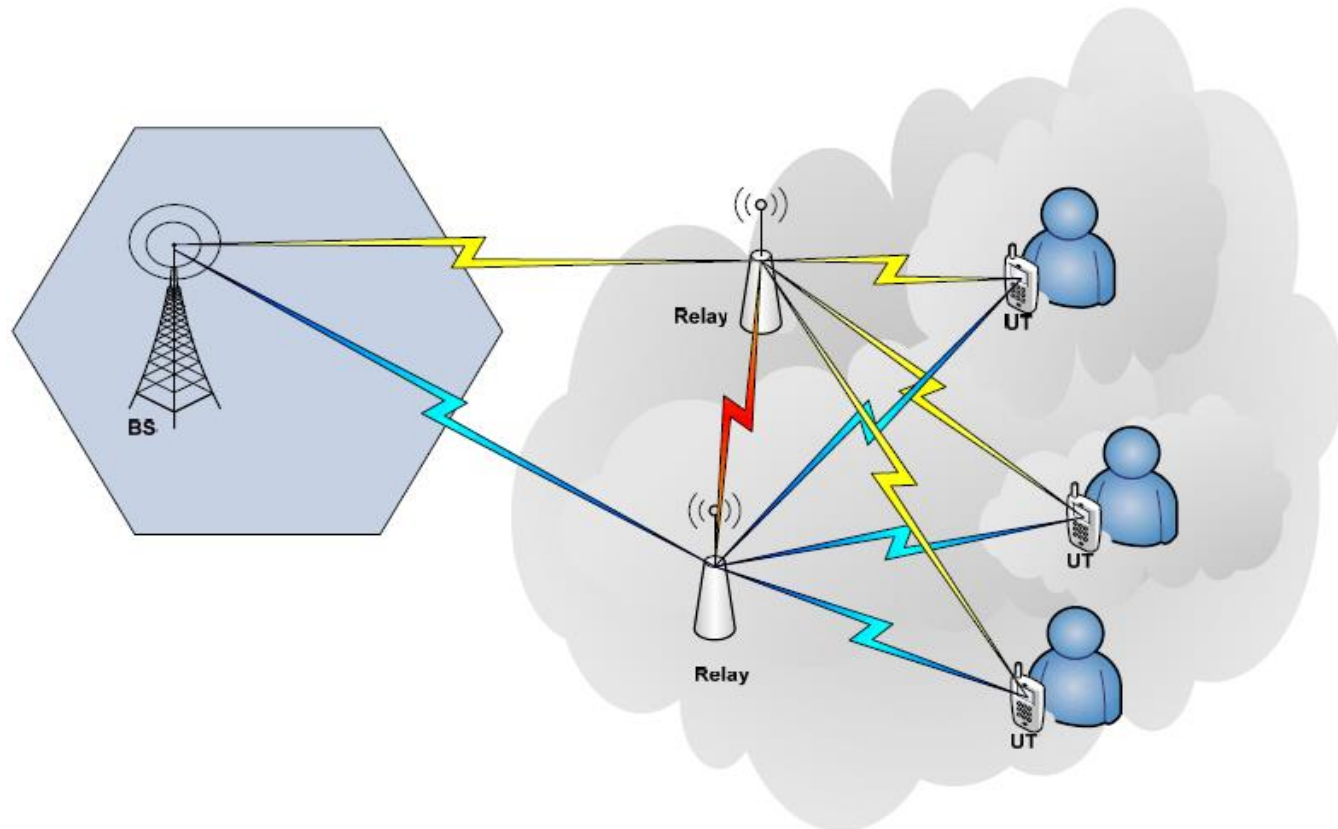
- Îmbunătățirea “fairnes-ului”:
 - Utilizatori afectați de “shadowing” pot avea o calitate a transmisiei asemănătoare cu cea a altor utilizatori;



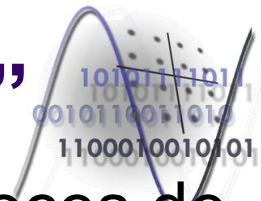
Scenarii de bază pentru utilizarea diversității prin cooperare



- “Cluster cooperation”:
 - Clustere sau subrețele formate de relee interconetate;
 - Se poate asigura o diversitate mult mărită;

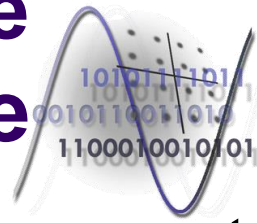


Aspecte legate de “cell planning”



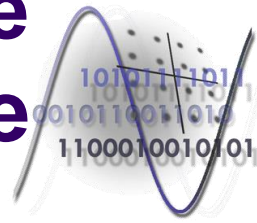
- Implementarea unei rețele celulare necesită un proces de planificare detaliat și precis;
 - Include evaluarea celor mai bune locații pentru nodurile de acces și alocarea optimală a resurselor radio (frecvențe, canale, sectoare, coduri, etc.);
 - Trebuie considerate restricții geografice și tehnice;
 - Trebuie considerată și configurația rețelei “core”;
- Impactul tehnicilor de diversitate cooperativă asupra algoritmilor de proiectare a rețelelor celulare trebuie evaluate în detaliu – este în proces de studiu/evaluare;
 - Este posibilă reducerea numărului de BS-uri;
 - Releele pot asigura în același timp extinderea acoperirii și creșterea throughput-ului;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



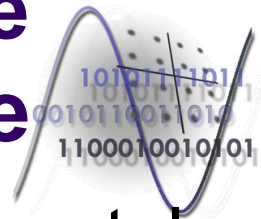
- Elaborarea unui set de indicatori care descriu coerent performanțele transmisiilor wireless cooperative este necesară din următoarele motive:
 - Pentru a evalua performanțele transmisiei atât din punctul de vedere al rețelei cât și al utilizatorului;
 - Pentru a evidenția îmbunătățirile aduse de utilizarea cooperării;
 - Performanțele de referință trebuie să fie cele ale rețelei necooperative;
 - Setul de indicatori globali trebuie să includă indicatori similari cu cei care descriu sistemele fără cooperare și indicatori relativi care pot indica îmbunătățirile aduse de cooperare;
 - Parametrii în discuție nu sunt stabiliți în detaliu în literatura de specialitate;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



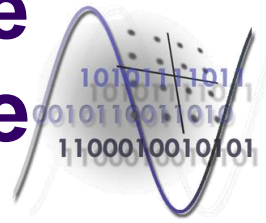
- Indicatorii se pot obține pe baza unor valori măsurate sau calculate analitic;
- Indicatorii au ponderi diferite în evaluarea performanțelor nivelului fizic și MAC în funcție de criteriile de evaluare cum ar fi: performanțe medii utilizatori, acoperire sau performanțe servicii;
- Valorile indicatorilor de performanță depind în special de parametrii nivelului fizic și MAC, dar și de parametrii ai nivelelor superioare și ai scenariului – număr utilizatori, model de canal, tip de servicii;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



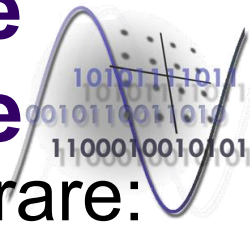
- Categoriile de parametri care afectează performanțele nivelului fizic și MAC:
 - Parametrii ce aparțin blocurilor de bază ale nivelului fizic:
 - Schema de acces;
 - Categoriile de modulații adaptive codate (schema ACM);
 - Metodele de achiziție și distribuție CSI;
 - Algoritmii de sincronizare;
 - Funcționalități ale nodului releu;
 - Algoritmi de cooperare;
 - Algoritmi de selecție a partenerilor;
 - Algoritmi de RRM (“Radio Resource Management”);

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



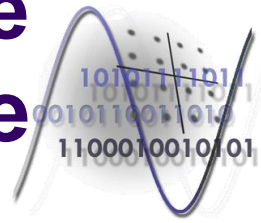
- Parametrii de bază ce aparțin nivelului MAC:
 - Lungimea pachetului de la nivelul MAC;
 - Numărul și tipul schemelor (H)-ARQ definite și elementele care sunt implicate în aceste operații;
- Parametrii nivelelor superioare care afectează nivele inferioare:
 - Tipul serviciului cerut de utilizator – afectează pachetele de la nivelul MAC și cerințele/parametrii nivelului fizic;
- Elementele de scenariu care afectează performanțele nivelului fizic și MAC:
 - Modelul de canal;
 - Numărul de surse și de relee – distribuția lor spațială și viteza;
 - Modele de trafic;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



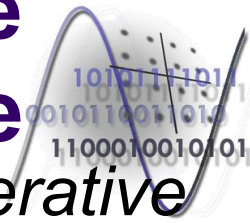
- Indicatori de performanță ai schemei de cooperare:
 - Utilizarea schemelor cooperative urmărește două țeluri principale:
 - a) creșterea throughput-ului în celulă;
 - b) extinderea razei de acoperire a celulei și în zonele fără semnal;
 - Cele două țeluri sunt contradictorii și de aceea evaluarea performanțelor schemelor de cooperare trebuie să considere ambele aspecte;
 - Performanțele trebuie evaluate din punctul de vedere al utilizatorului (throughput) sau al rețelei (throughput mediu utilizatori sau throughput agregat);
 - Evaluarea trebuie să ia în considerare (și) alocarea resurselor, dimensiunea bufferelor asociate fluxurilor, algoritmi de coop. și de alocare a utilizatorilor, precum și distribuția utilizatorilor;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



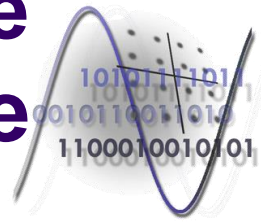
- Indicatori legați de algoritmul de cooperare:
 - Algoritmul de cooperare utilizat afectează semnificativ atât performanțele legăturii cooperative cât și a întregii celule.
 - *Procentul de utilizatori ce utilizează cooperare*
 - Definit ca procentul de utilizatori care sunt deserviți de relee cel puțin $A\%$ din timpul de cooperare;
 - Depinde de distribuția spațială a nodurilor utilizator și relee;
 - Este influențat de algoritmi de selecție a partenerilor ce cooperează;
 - Pentru cazul particular al releelor fixe indicatorul menționat este afectat de poziția și funcționalitățile releelor;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



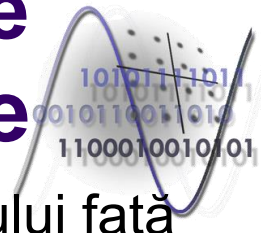
- *Timpul mediu de existență a unei legături cooperative*
 - Datorită mobilității utilizatorilor și/sau a releelor cooperarea nu este continuă, durata etapelor de cooperare și intervalul dintre aceste etape fiind variabil;
 - Este influențat în mod semnificativ de scenariul considerat: densitate terminale și relele, viteză, etc.;
 - Permite calcularea parameterului $A\%$ al indicatorului anterior și afectează performanțele (indicatorul) de throughput;
- *Puterea consumată de releu*
 - Indică puterea adițională cerută de operațiile de cooperare;
 - Depinde de procesările cerute de cooperare și de timpul de cooperare mediu;
- *Complexitatea implementării*
 - Depinde atât de complexitatea operațiilor RF cât și a procesărilor de semnal cerute de cooperare;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



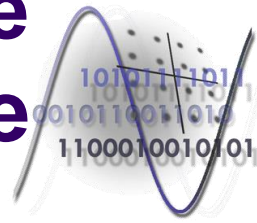
- Indicatori de uz general:
 - *Rata de eroare pe bit (BER)*
 - Se poate defini un factor de îmbunătățire a BER-ului față de transmisia directă (corespunzătoare transmisie necooperative);
 - Îmbunătățirea de BER se poate folosi pentru definirea unui indicator “cooperation gain”;
 - Parametrul BER nu este suficient, fiind nevoie și de definirea unui parametru BLER asociat;
 - Comparația dintre BER necooperativ și cooperativ se poate realiza în două moduri:
 - a) prin impunerea aceluiași debit nominal pe legătura directă și pe cea cooperativă;
 - b) prin impunerea aceluiași debit de vârf;
 - *Probabilitatea de eroare pe cadru (bloc) (BLER / FER)*
 - Trebuie considerat și efectul introdus de operațiile de H-ARQ;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



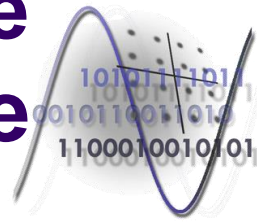
- Se poate defini un parametru de îmbunătățire a BLER-ului față de transmisia necooperativă;
- *Throughput mediu utilizator*
 - Se definește ca și numărul mediu de biți de informație recepționați corect într-o secundă;
 - Se obține prin multiplicarea debitului nominal cu $(1-BER)$ sau cu $(1-FER)$, în funcție de stratul unde este evaluat acest parametru;
 - Throughput-ul asigurat pentru utilizator depinde de doi factori:
 - Throughput-ul asigurat de fiecare legătură în parte;
 - Algoritmul de cooperare utilizat;
 - Prin divizarea cu banda de frecvență utilizată se poate obține eficiența spectrală – poate fi mai relevant deoarece include și resursele de frecvență;
 - Se poate defini un factor de îmbunătățire față de transmisia directă;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



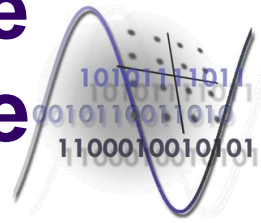
- *Throughput-ul mediu pe celulă*
 - Se evaluează pe baza throughput-ului mediu al utilizatorului; se poate realiza o mediere simplă sau una ponderată în funcție de procentul de bandă folosit de utilizatori;
 - Pentru a se evidenția benzile de frecvență diferite alocate la utilizatori se poate folosi parametrul de eficiență spectrală – se va utiliza o mediere simplă;
 - Depinde de algoritmul de cooperare și de selecția partenerilor;
 - Depinde de algoritmul de scheduling și RRM;
 - Se poate defini și un indicator combinat: “Fairness-Throughput”;
- *Acoperirea*
 - Definit ca și zona geografică în care se poate asigura o anumită calitate a transmisiei;
 - Pragul de calitate este impus de cerințele sistemului;
 - Acoperirea se referă atât la zonele de margine cât și la cele cu “shadowing”;
 - Se poate defini un factor de îmbunătățire a acoperirii;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



- *Capacitatea celulei*
 - Este o măsură a informației totale maxime transmise în celulă;
 - Depinde de schema de acces, banda de frecvență, tehnica de cooperare utilizată;
- *Eficiența spectrală a celulei*
 - Se poate defini ca rata de informație totală a celulei raportată la banda totală a sistemului;
 - Se poate defini o eficiență spectrală efectivă pentru o comparație mai bună cu transmisia necooperativă;
 - Acest parametru se definește pe baza throughput-ului total al celulei – se obține prin multiplicarea throughput-ului mediu pe utilizator cu numărul de utilizatori din celulă;
- *Probabilitatea de “Outage”*
 - Definește probabilitatea cu care calitatea transmisiei în zona de acoperire scade sub o anumită limită;
 - Reprezintă capacitatea celulei pentru un serviciu asigurat minimal;
 - Depinde de algoritmul de cooperare și de selecție a partenerilor;

Indicatori de bază pentru sisteme cooperative



- *Întârzierea*
 - Reprezintă întârzierea suplimentară introdusă de cooperare;
 - Se poate defini o întârziere medie respectiv una maximă;
 - Se poate defini și un parametru de variație a întârzierii, adică jitter;
- *Indicator combinat throughput-acoperire*
 - Indicatorii de acoperire trebuie corelați cu cei de throughput, în special în cazul sistemelor cooperative unde mai mulți utilizatori au conexiune cu BS, chiar dacă se asigură un throughput minim;
 - Evaluarea acestui indicator trebuie să țină cont de următoarele aspecte:
 - Dacă numărul de relee și resursele alocate sunt constante;
 - Modul de selecție a partenerilor;

Integrarea cooperării în sistemul

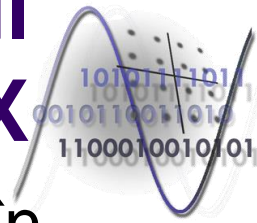
WiMAX



- Integrarea tehnicilor de cooperare în sistemele celulare existente are două scopuri principale:
 - Creșterea throughput-ului stațiilor mobile;
 - Creșterea capacității sistemului prin extinderea razei de acoperire;
- Integrarea tehnicilor de cooperare trebuie realizată utilizând specificațiile existente și prin reutilizarea componentelor și elementelor sistemelor considerate;
 - Se urmărește integrarea cooperării prin realizarea unor modificări minime;
- Cooperarea este deja propusă în sistemul WiMAX prin specificarea transmisiilor multihop bazate pe relee dedicate și stații de bază modificate - (MMR);

Integrarea cooperării în sistemul

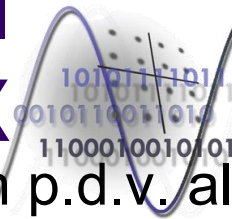
WiMAX



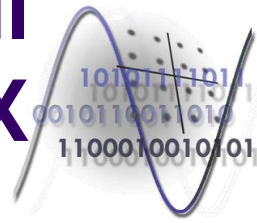
- Integrarea tehnicilor de cooperare mai complexe în sistemul WiMAX trebuie să se facă pe baza soluțiilor propuse în standardul 802.16j sau 802.16m;
- Câteva din extensiile care trebuie aduse sistemului WiMAX-MMR pentru inserarea unor tehnici de cooperare mai complexe sunt următoarele:
 - Posibilitatea utilizării stațiilor mobile ca și releu;
 - Posibilitatea procesării într-un nod a semnalelor recepționate pe mai multe căi – în sistemul 802.16j o stație mobilă poate recepționa doar un semnal, de la BS sau RN;
 - Topologia actuală include două tipuri de legături: legături de releu și legături de acces – are trebui introdus separat și legătura directă;

Integrarea cooperării în sistemul

WiMAX



- Sistemul WiMAX-MMR consideră două tipuri de relee din p.d.v. al alocării resurselor: relee transparente (nu realizează scheduling – scheduling centralizat de către BS) și relee netransparente (realizează scheduling – scheduling distribuit realizat de către BS și RN);
 - Realizarea unor metode de cooperare mai complexe necesită algoritmi de RRM și scheduling corespunzătoare;
- La nivelul fizic este nevoie de definirea unui cadru de transport corespunzător care poate include structurile de semnalizare necesare pentru algoritmi de cooperare mai complecși decât transmisii multihop – a se vedea structura cadrului 802.16j;
 - Structuri MAP corespunzătoare trebuie definite pentru transmiterea informațiilor de semnalizare/control;
- O problemă importantă este legată de sincronizarea terminalelor cu mai multe noduri cooperative – nu este posibil în sistemele WiMAX actuale (802.16e și 802.16j);

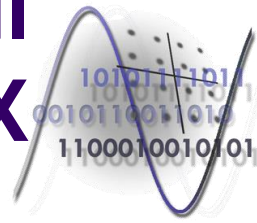


- Modificări cerute la nivelul stratului MAC:
 - Utilizarea unor algoritmi de cooperare mai complecși necesită algoritmi de selecție corespunzători ai partenerilor;
 - Semnalele de management/control curente se pot utiliza, dar este necesară și definirea altor semnale;
 - Procedurile de “*ranging*” caracteristice sistemului WiMAX trebuie modificate pentru ca un terminal să se poată conecta la mai multe noduri;
 - Alocarea resurselor radio (timp-frecvență) devine mai complicată – resursele trebuie alocate împreună (combinat) pentru legăturile directe și de releu;
 - Algoritmii de asignare a releelor trebuie de asemenea să fie corelate cu procedurile de alocare a resurselor;

Integrarea cooperării în sistemele existente



- La nivelul MAC sunt necesare canale logice și protocoale noi pentru implementarea transmisiei și a semnalizărilor în situația cooperării;
- Schemele de transmisie ARQ/H-ARQ permit modificări semnificative, fiind posibilă realizarea retransmisiei în mai multe moduri;
 - Trebuie însă considerată creșterea complexității acestor algoritmi ARQ/H-ARQ și resursele adiționale cerute de semnalizările ACK/NACK;
- Algoritmii de control ai puterii trebuie să fie adaptați tehnicilor de cooperare și la topologii de tip mesh – un control centralizat al puterii pare soluția ideală;
 - Problema controlului de putere apare în special în uplink – sistemul actual consideră sincronizarea/ajustarea puterii doar între două terminale;
- Modul de lucru “*sleep*” al terminalelor trebuie adaptat la transmisiile cooperative;



- Modificări cerute la nivelul straturilor superioare:
 - Trebuie făcute modificări la nivelul mecanismelor de securitate, cooperarea făcând posibil accesul la datele altor utilizatori – în special dacă se acceptă relee nededicate;
 - Aspectele legate de QoS în sistemul WiMAX-MMR sunt strâns legate de topologia liniară dintre BS și terminalul mobil. Utilizarea tehnicilor de cooperare are efect asupra ratei de transfer și a întârzierilor – asigurarea parametrilor QoS depinde de algoritmi de alocare a releului și de scheduling:
 - Un alt aspect important este legat de “intracell-handover”, adică trecerea terminalului de la un releu la altul;
 - Un astfel de mecanism trebuie să se bazeze pe funcționalitățile de ranging combinate cu mecanisme de control ale puterii și de alocare a releelor;