

TEHNOLOGIA RADIO COGNITIV SI UTILIZAREA EFICIENTA A SPECTRULUI RF

- Sinteză pentru etapa pe anul 2008 –

1. Aspecte generale

Aspectele abordate în cadrul fazei din anul 2008 s-au referit la impactul tehnologiei radio cognitiv utilizate în vederea utilizării eficiente a spectrului radio asupra rețelelor și asupra componentelor acestora. De asemenea am abordat aspecte cu privire la aplicațiile tehnologiei în dezvoltarea rețelelor WiFi constituite pe baza standardului IEEE 802.11 în special prin prisma versiunii IEEE 802.11k. Au mai fost abordate aspecte cu privire la sondarea canalului și la algoritmi de prelucrarea a semnalelor obținute în cursul sondării. Unele dintre rezultate au fost materializate în lucrările prezentate la simpozionul *Cognitive Radio Technology and Reconfigurable Communication Systems* organizat în cadrul conferinței internaționale *Communications 2008* [1-11].

2. Utilizarea eficientă a spectrului și implicațiile asupra principalilor actori din domeniul radiocomunicațiilor

Una dintre componentele importante în utilizarea eficientă a spectrului este reconfigurabilitatea în varianta sa completă, reconfigurabilitatea rețelelor capăt-la-capăt. Acest tip de reconfigurabilitate are un puternic impact asupra tuturor componentelor sistemului, începând de la terminal, interfața radio și până la partea de rețea. Viitoarele arhitecturi de rețea trebuie să fie suficient de flexibile pentru a suporta scalabilitatea, precum și elementele de rețea reconfigurabile, cu scopul de a oferi cele mai bune soluții de management al resurselor corelate cu o dezvoltare eficientă a rețelei din punctul de vedere al costurilor. Scopul final al acestor noi soluții este de a crește eficiența spectrală prin utilizarea unor scheme de alocare a spectrului și de management al resurselor radio mult mai flexibile. Alături de acesta se dorește și crearea unor mecanisme necesare pentru echilibrarea încărcării rețelei în vederea maximizării capacității sistemului, pentru optimizarea calității serviciului și de creștere a eficienței spectrului.

În acest fel, utilizatorii mobili vor beneficia de acestea prin posibilitatea de a accesa serviciile cerute când și unde au nevoie la un cost convenabil.

Din punct de vedere ingineresc cea mai bună soluție posibilă poate fi obținută doar când elementele rețelei radio sunt configurate în mod corespunzător și când sunt aplicate metodele potrivite de management al resurselor radio. Cu alte cuvinte, este necesar un management eficient al întregului proces de decizie de reconfigurare pentru a exploata avantajele oferite de reconfigurabilitate. În acest sens viitoarele rețele radio mobile trebuie să se confrunte cu problema de a oferi o calitate a serviciului ridicată prin suportarea serviciilor multimedia cu mobilitate și eficiență ridicate, luând în considerare chiar și reducerea resurselor de spectru. Deși mărimea spectrului de frecvențe limitează fizic capacitatea rețelelor radio, *soluțiile efective* de creștere a eficienței spectrale pot optimiza capacitatea disponibilă.

Analizând nevoile participanților importanți într-un sistem de comunicații mobile, de exemplu *terminalul, utilizatorul, serviciul și rețeaua*, pot fi utilizate soluții eficiente pentru a defini configurația comunicației între *Terminal* și *Rețea*, în funcție de cerințele *Serviciilor* cerute de către *Utilizator*. Cu alte cuvinte, este necesar să fie identificate mecanismele potrivite de comunicație între echipamente, având la bază

caracteristicile utilizatorilor și serviciile aferente lor. Acest lucru ridică o serie de semne de întrebare legate de modul de gestionare în mod eficient a traficului în rețelele neomogene.

Terminalele mobile sunt caracterizate de o gamă largă de capacități influențate de capacitatea de prelucrare a Tehnologiilor de acces Radio (RAT), de exemplu: compatibilitatea cu mai multe sisteme, puterea de prelucrare, mărimea afișajului, etc. Tehnologiile SDR (Software Defined Radio – Echipamente Radio Definite prin Software) care se dezvoltă rapid permit terminalelor mobile să fie adaptabile la diverse tehnologii RAT prin intermediul procedurilor de *descărcare de soft* (SD). Reconfigurabilitatea, ca și extinderea SDR, tinde să optimizeze mecanismul de comunicație dintre terminal și rețea, cuprinzând protocoale definite pentru toate nivelele OSI (*Open System Interaction*).

Din punctul de vedere al utilizatorului, se așteaptă ca serviciile să depindă nu numai de un singur tip de trafic (soluția tradițională), ci de o multitudine de tipuri de trafic de la una sau mai multe rețele radio. Aplicațiile multimedia sunt destul de răspândite și solicită tot mai mult transportul wireless. Ele acoperă tipuri de informație gen voce, date de control sau audio, video sau orice combinație a acestora. Un aspect important al sistemelor viitoare de comunicații radio îl constituie acceptarea unui trafic multimedia cu rate de date de ordinul Mbps. Un utilizator mobil ar putea folosi serviciile de voce normale de acces de la terminalul mobil în medii cu mobilitate ridicată; s-ar putea utiliza un laptop pentru a accesa serviciile de date cu rate foarte ridicate în medii cu mobilitate scăzută. De exemplu, ratele de date oferite de sistemele UMTS FDD pot ajunge la 384 kbps pentru o acoperire de arie largă și la câțiva Mbps pentru acoperirea de arie locală, chiar și prin utilizarea unei singure benzi de frecvență. Cu un terminal multimod utilizatorul nu este limitat la o singură tehnologie RAT. Oricine este capabil să acceseze mai multe tehnologii alternativ sau simultan. Rețeaua radio este responsabilă de selectarea celei mai accesibile și potrivite tehnici RAT sau a unei combinații de tehnici, având în vedere informațiile legate de rețea și de serviciul solicitat de utilizator.

În concluzie, managementul resurselor radio (RRM) este un proces complex, dar necesar în dezvoltarea rețelelor 4G. El este alcătuit din resurse gestionate în mod dinamic, așa cum este spectrul, precum și din alocarea dinamică a traficului în rețelele RAT dintr-o infrastructură de acces fără fir neomogenă.

3. Rețele bazate pe standardul IEEE 802.11: Necesitatea dezvoltării versiunii IEEE802.11k

Versiunea IEEE 802.11k este elaborată de un grup de lucru IEEE pentru a permite, completarea popularului standard pentru rețele WLAN, IEEE 802.11 cu facilități de tip radio cognitiv. Abordarea acestor aspecte este realizată după o trecere în revistă a principalelor aspecte cu privire la standardul principal. Această extensie specifică măsurători radio prin care se obțin informații pentru optimizarea funcționării rețelei. De exemplu, stațiile pot evalua cât de încărcat sau liber este un canal radio. Extensia definește metodele de cerere și raportare pentru aceste măsurători și formatul cadrelor.

Un singur rezultat al unei măsurători poate să nu fie suficient pentru o evaluare precisă. Și chiar dacă există mai multe rezultate tot este nevoie de un indicator cu privire la calitatea măsurătorilor pentru a evalua nivelul de încredere în rezultatele măsurătorii. În acest capitol este prezentată o metodă pentru estimarea acestui parametru. Se propune ca determinarea intervalelor de încredere ale rezultatelor măsurătorilor din 802.11k să fie făcută asemănător cu estimarea încrederii

în rezultatele simulării folosită în cazul simulărilor stohastice. O stație care efectuează măsurători va trebui să raporteze nu doar rezultatul unei singure măsurători dar și intervalul de încredere care este caracterizează acea măsurătoare. Metoda analizată poate permite optimizarea duratei măsurătorilor și rata de repetiție a acestora. Dacă stații diferite efectuează măsurarea unui același parametru atunci intervalele de încredere asociate rezultatelor diferitelor măsurători diferite poate servi la o evaluarea mai precisă a rezultatelor.

3.1 O scurtă prezentare a versiunii IEEE 802.11k

Această versiune specifică anumite tipuri de informații radio și respectiv mesajele de cerere și raportare. Principalele obiective ale versiunii 802.11k constau în facilitarea unor măsurători caracteristice stațiilor radio și în standardizarea mesajelor cerere/raportare pentru schimbul rezultatelor măsurătorilor astfel încât să facă disponibile aceste informații pentru nivelele superioare ale protocoalelor. Dezvoltarea acestui standard va oferi metode utile de management pentru stațiile dintr-o rețea astfel încât informațiile transferate unor protocoale adaptate noii situații să fie utile.

Trebuie precizat că versiunea 802.11k se referă la măsurători ale unor parametri și nu la managementul lor. Ca urmare utilizarea informațiilor obținute în urma măsurătorilor nu este definită.

Până acum standardul 802.11k specifică opt tipuri de măsurători radio. Din cele opt, mai jos se prezintă doar măsurătorile utilizate de metoda de alocare analizată în această lucrare:

- Informații despre *încărcarea canalului radio* - se culeg informații despre încărcarea unui anumit număr de canale pe durata măsurătorii. Stația măsurătoare obține această informație raportând timpul în care mediul este liber la durata măsurătorii. Stația măsurătoare poate utiliza NAV sau detecția purtătoarei pentru a detecta dacă mediul este liber.

- *Histograma zgomotului* – oferă histograma valorilor nivelelor zgomotului colectate într-un anumit număr de canale pe durata măsurătorii. Stația măsurătoare realizează măsurători ale nivelelor zgomotului numai atunci când mediul este liber.

O stație poate realiza măsurători și asupra canalului în care operează dar și asupra canalelor diferite de acesta. Majoritatea măsurătorilor pot fi făcute într-un mod pasiv doar prin observarea schimbului de pachete fără a afecta mersul rețelei. Totuși, măsurarea canalelor diferite de cel în care se operează poate duce la performanțe scăzute din moment ce stațiile măsurătoare trebuie să comute pe canalele măsurate rezultând incapacitatea de schimb de pachete pe durata măsurătorii. Standardul 802.11k recomandă doar măsurători rare și scurte ale canalelor neoperaționale.

Prin *raportul de încărcare a canalului*, o stație măsurătoare oferă procentul din durata măsurătorii în care mediul este liber. Așa cum se va vedea mai departe această măsurătoare este utilizată pentru a comenta unele aspecte cu privire la intervalele de încredere. Cu ajutorul *histogramei de zgomot*, o stație măsurătoare determină niveluri de energie non-802.11. Acest tip de măsurătoare se face numai când mediul este liber. Un alt raport interesant este cel referitor la semnalele baliză: *raportul de baliză*. Prin raportul de baliză o stație măsurătoare raportează semnalele baliză sau răspunsurile de probă pe care le primește în timpul măsurătorii. Prin *raportul de cadre*, o stație măsurătoare raportează informații despre toate cadrele pe care le primește pe durata măsurătorii. Prin *raportul de nod ascuns*, se indică existența și statistica unor cadre corespunzătoare nodurilor ascunse detectate în timpul măsurătorii. În *raportul privind statistica stațiilor*, se transmit informații cu privire la

calitatea legăturii radio și la performanțele rețelei din timpul măsurătorii. O măsurătoare interesantă se referă la **histograma timpului în care mediul este ocupat sau liber** în timpul măsurătorii. La fel ca în cazul **histogramei zgomotului**, pot fi măsurate nivele de energie non-802.11 ceea ce face ca această măsurătoare să fie foarte utilă în aplicații de tip radio cognitiv unde stații 802.11 trebuie să măsoare interferențe ce apar de la rețele radio non-802.11.

Pentru a evalua utilitatea măsurătorilor după un anumit timp sunt importanți următorii parametri: **intervalul optim de măsurare, intervalul de încredere a rezultatelor și valabilitatea măsurătorilor**. De exemplu, nu întotdeauna creșterea duratei măsurătorii îmbunătățește precizia rezultatelor. Mai mult, observarea mediului mai des cu intervale mai scurte între măsurători nu va crește neapărat cantitatea de informații.

Versiunea 802.11k nu specifică durata unei măsurători. O stație care solicită o măsurătoare poate să specifice și durata ei. Sigur că dacă o măsurătoare se face fără o cerere prealabilă, stația măsurătoare determină ea singură durata măsurătorii.

Similar cu decizia cu privire la momentul de transmitere a unei cereri de măsurătoare și eventual cu decizia cu privire la durata după care cererea poate fi repetată, există și o decizie locală a stației cu privire la intervalul în care se face măsurătoarea și dacă este cazul sau nu ca această măsurătoare să fie repetată după un anumit timp.

Pentru realizarea măsurătorilor sau pentru raportare are loc **un schimb de mesaje**. Standardul IEEE 802.11k definește două tipuri de mesaje de bază: *de solicitare și de raport*. Schimbul acestor mesaje se poate face între două stații sau între stație și AP. În plus, mesajele pot fi transmise în mod unicast, broadcast sau multicast. Schimbul de mesaje apare atunci când o stație solicită altei stații o măsurătoare sau când o stație își raportează propria măsurătoare.

Fiecare mesaj de solicitare/raportare este un cadru de management MAC care conține informații despre parametrii măsurătorii care arată stației măsurătoare cum să realizeze măsurătoarea (canalele, durata, momentul de început). În cele ce urmează este prezentată o metodă pentru calculul intervalelor de încredere care oferă o plajă de valori care poate fi transmisă stației solicitante împreună cu rezultatul măsurătorii pentru aprecierea calității acesteia.

Intervale de încredere

O metodă standard de a verifica credibilitatea rezultatelor măsurătorilor este cea bazată pe intervale de încredere. Un interval de încredere asociat rezultatului unei măsurători reprezintă o plajă de valori plauzibile în care este foarte probabil să se găsească valoarea parametrului măsurat.

Intervalul de încredere este calculat numai pe baza rezultatelor măsurătorilor fără a avea alte informații despre situația reală. Un aspect relevant pentru metoda prezentată se referă la faptul că valoarea parametrului de măsurat este necunoscută atât în timpul cât și după realizarea măsurătorii. Dacă vom lua în considerare o serie de ipoteze apriori cu privire la Totuși, considerându-se niște presupuneri a priori cu privire la distribuția aleatoare a parametrului, intervalul de încredere oferă credibilitate rezultatelor.

În timpul măsurătorii, sunt înregistrate valori independente ale aceluiași parametru - valori luate la momente de timp suficient de diferite - și apoi este calculat un interval de încredere pentru fiecare valoare. Un *nivel de încredere*, exprimat de obicei în procente, determină gradul de încredere al intervalului. *Intervalele de încredere* sunt calculate de obicei pentru un *nivel de încredere* de 95%, dar sunt posibile și alte valori ca 90% sau 99%. Mărimea intervalului de încredere rezultat indică incertitudinea cu

privire la valoarea parametrului necunoscut. Un interval mai mare indică faptul că trebuie colectate mai multe valori înainte ca rezultatul măsurătorii să reprezinte situația reală. Un interval calculat la un nivel de încredere de 95% înseamnă că sistemul poate fi 95% sigur că intervalul de încredere rezultat conține valoarea reală (dar necunoscută) a parametrului. De asemenea, 95% din intervalele de încredere formate în acest mod conțin și ele valoarea reală a parametrului.

3.2 Analiza unei metodă de alocare dinamică a canalelor în rețelele IEEE 802.11

Popularitatea mare a rețelelor IEEE 802.11 asociată cu numărul redus de canale poate duce la performanțe slabe ale rețelei dacă nu este utilizată o metodă inteligentă de alocare a canalelor. O metodă de alocare a canalelor care nu ține cont de prezența în zonă a altor rețele poate determina creșterea competiției pentru acces la mediu și a interferențelor co-canal, afectând astfel performanța globală a rețelelor. În cele ce urmează este analizată o metodă nouă și automată de alocare a canalelor în rețelele 802.11 infrastructurate. Această metodă lucrează într-un mod independent și distribuit în punctele de acces și se bazează pe schimbul rezultatelor măsurătorilor efectuate de stațiile client, schimb realizat cu ajutorul noului standard 802.11k.

Numărul în creștere al rețelelor bazate pe standardul IEEE 802.11 creează multe probleme. Una dintre aceste probleme se referă la selectarea canalelor. În modul de lucru infrastructurat, toate pachetele circulă între stații și AP. Selectarea canalului de către AP precizează frecvența centrală utilizată în aceste transmisii. Dacă selectarea nu este realizată corespunzător ea poate afecta într-un mod nefavorabil performanțele rețelelor prin creșterea competiției pentru acces la mediu și a interferențelor co-canal.

Rețelele IEEE 802.11b și 802.11g operează în banda nelicențiată de 2.4 GHz cunoscută sub numele de banda ISM (Industry, Scientific and Medical band). IEEE 802.11 împarte banda ISM în 11 canale dintre care numai trei (canalele 1, 6 și 11) nu prezintă aliere spectrală. Rețelele 802.11a operează în banda nelicențiată de 5.4 GHz și oferă 12 canale fără aliere spectrală dintre care opt pentru utilizare indoor și patru pentru outdoor.

Numărul limitat de canale specific rețelelor bazate pe 802.11 - o problemă mai evidentă în cazul rețelelor 802.11b și g - limitează numărul de rețele care pot funcționa în aceeași zonă fără a fi afectate de interferențe. Utilizarea spectrului de către mai mulți utilizatori este principala cauză care determină interferențe afectând astfel debitul și întârzierea. Totuși trebuie luate în evidență și alte tipuri de interferențe cum ar fi cele produse de canalele adiacente. În consecință se propun trei obiective de bază pentru scăderea interferențelor:

- (a) minimizarea împărțirii spectrului prin evitarea competiției pentru acces la mediu și maximizarea reutilizării frecvențelor,
- (b) minimizarea interferențelor între canale adiacente prin evitarea degradării performanțelor cauzate de alierea spectrală și
- (c) minimizarea interferențelor co-canal prin evitarea transmisiilor cu un raport semnal-zgomot inacceptabil.

În practică, problema selectării canalelor poate apărea în două situații diferite: situația rețelelor cu administrare unică și a celor fără administrare unică. În cazul administrării unice, entitatea centrală are acces la multe informații importante care fac mai ușoară găsirea de soluții pentru problema alocării canalelor. În cazul administrării descentralizate, entități diferite controlează AP-urile și se cunosc foarte puține

informații despre celelalte AP-uri din zonă. În acest caz este foarte dificil de găsit o soluție pentru alocarea canalelor din pricina lipsei de informații și coordonare dintre administratorii AP-urilor. În cele ce urmează se analizează o metodă de alocare a canalelor pentru rețelele 802.11 infrastructurate care operează în administrare descentralizată. Metoda prezentată operează la nivelul AP-ului și selectează în mod automat canalul de lucru și nu necesită comunicarea cu celelalte AP-uri.

4. Concluzii

Studiile au condus la concluzia că utilizarea eficientă a spectrului prin folosirea tehnologiei CR, având în vedere utilizarea actuală cu o eficiență de ordinul a 15%, poate duce la o creștere substanțială a capacității de transfer a datelor prin transmisii radio, cu efecte economice greu de cuantificat în etapa actuală dar substanțiale. De asemenea a rezultat că tehnologia WiFi care prin versiunea 802.11k înglobează facilități CR, și tehnologia WRAN care urmărește re folosirea oportunistă a spectrului alocat radioteleviziunii reprezintă pași importanți pe calea convingerii autorităților de reglementare că trebuie aleasă o nouă soluție pentru atribuirea benzilor de frecvență. De remarcat că tehnologia WiFi lasă la latitudinea producătorilor și utilizatorilor administrarea datelor obținute în urma măsurătorilor. Pentru a testa o serie de soluții în acest domeniu intenționăm să folosim kiturile de dezvoltare produse de Sundance și GE Fanuc și procurate în cursul acestui an.

Lucrări prezentate la workshop

și publicate în volumele conferinței **Communications 2008**:

1. Ion Marghescu, *Cognitive Radio Technology and the Future Communications Networks*
2. Ioana Marcu, Simona Halunga, *Cognitive Radio Architecture*
3. Marco Krondorf, Ting-Jung Liang, Gerhard Fettweis, *Adaptive OFDM Phy Techniques for Cognitive Radio Spectrum Management*
4. Alexandru Marțian, Călin Vlădeanu, Ion Marghescu, *RF Transceiver Architecture in Cognitive Radio Systems*
5. Călin Vlădeanu Alexandru Martian, *Spectrum Sensing Algorithms Used in Cognitive Radio Systems – An Overview*
6. Ramjee Prasad. *Unpredictable Future Wireless Communication: Wisdom (Invited Presentation)*
7. Octavian Fratu, Anthony Boucouvalas, Simona Halunga, *Reconfigurability And Interoperability of Wireless Networks Based on 802.21 Standards,*
8. Eduard-Cristian Popovici, Marian Bonta, *Intermediate Link Layer Driver for Media Independent Handover*
9. Liljana Gavrilovska, Vladimir Atanasovski, Valentin Rakovic, Ognjen Ognenoski, Aleksandar Momiroski, *Performance of Vertical Handovers in Heterogeneous Wireless Systems Utilizing IEEE 802.21*
10. Câmpan Pavel Gabriel, *3g Optimisation Trial – Building-up A Knowledge Database of a Reconfigurable Network*
11. Alexandros Kaloxylos Makis Stamatelatos AnthonyBoucouvalas, *Enabling Technologies for Mobility Management in Heterogeneous Networks*