

### 1. Aspecte generale

O primă parte a activităților desfășurate în cadrul fazei din anul 2009 se referă la utilizarea eficientă a spectrului prin prisma tehnologiei WiFi care are la bază versiuni ale standardului IEEE802.11. În acest caz, ca și mai departe de un real folos în studiile efectuate a fost mediul de simulare QUALNET. Din aceeași perspectivă au fost abordate și aspectele referitoare la tehnologia WIMAX – dezvoltată pornind de la standardul IEEE 802.16e ca și în cazul rețelelor WRAN (rețele de arie regională) care, la rândul lor, au ca premisă standardul IEEE 802.22.

Dintre aspectele abordate se remarcă cele legate de detecția prezenței sau absenței unei transmisiuni într-o anumită bandă de frecvență. De asemenea au fost abordate o seamă de probleme legate de implementarea infrastructurii care să permită implementarea tehnologiilor radio cognitive: echipamentele radio definite prin software (SDR). Cu o oarecare întârziere, datorată procedurilor greoaie pentru procurarea inițială și, ulterioră, a unor subansamble, am reunit în final toate subansamblele hard și software de dezvoltare de la compania Sundance și au început studiile pe această platformă.

În aceste activități au fost implicați toți membrii echipei care au strâns în jurul lor circa 16 studenți la licență, masterat sau chiar alți doctoranzi.

În cadrul acțiunii de diseminare au fost elaborate mai multe lucrări dintre care una a fost publicată într-o revistă cotate ISI (Revue Roumaine de Sci. Technique) și trei prezentate în conferințe internaționale ale căror lucrări sunt incluse în baza de date IEEE și sunt recunoscute ISI: ISSCS Iași 2009, EUROCON 2009 Sankt Petersburg și EUSIPCO 2009 Glasgow.

### 2. Studiu și contribuții la aplicațiile Radio Cognitiv pentru utilizarea eficientă a spectrului în tehnologia WLAN

Primul standard de Ethernet fără fir, IEEE 802.11, a fost adoptat în 1997 și clarificat în 1999. Ulterior standardul a evoluat în două direcții: *802.11b*, ce suporta o lățime de bandă de până la 11 Mbps, frecvența de lucru de 2,4 GHz și DSSS (spectru împrăștiat tip secvență directă) ca tehnică de modulație și *802.11a*, cu viteze de transfer de până la 54 Mbps, frecvența de lucru de 5 GHz (U-NII) și OFDM (multiplexare cu diviziune în frecvență ortogonală) ca tehnică de modulație.

O nouă variantă denumită *802.11g* apare în 2003 și încearcă să combine avantajele specificațiilor 802.11a și 802.11b, obținând cu ajutorul tehnicii de codare OFDM folosită în 802.11a o lățime de bandă de până la 54 Mbps și păstrând în același timp frecvența purtătoare de 2,4 GHz pentru o acoperire mai mare și pentru a păstra compatibilitatea cu rețelele 802.11b existente.

Ratificarea 802.11h, apărută în 2004, a marcat *începutul implementării tehnologiilor radio-cognitive* în echipamentele destinate rețelelor fără fir. El a fost inițial conceput din nevoia de a adresa reglementările europene și japoneze referitoare la banda de 5 GHz și pentru a rezolva probleme precum interferența cu sateliții sau radarele militare ce folosesc aceeași bandă. În acest scop, această extensie a introdus două tehnologii inovatoare: *Selecția Dinamică a Frecvenței (DFS)* – ce se ocupa de managementul spectrului disponibil și *Controlul Puterii Transmise (TPC)* – care asigura că puterea medie de emisie este mai mică decât maximumul reglementat.

Cel mai nou standard intrat în familia 802.11 este *802.11n* (prevăzut să apară în noiembrie 2009) a fost construit pentru a îmbunătăți standardele anterioare în domeniul lărgimii de bandă suportată (mai mult de 100Mbps), una dintre noile tehnici folosite în acest scop fiind MIMO (multiple antene de emisie și recepție).

Din punct de vedere al implementării software, într-o primă etapă este prezentată o rețea Wi-Fi, bazată pe standardul 802.11g, folosind mediul de simulare QualNet. Ulterior

este demonstrată folosind programul Matlab o tehnică radio-cognitivă de tipul Selecției Dinamice a Frecvenței (întâlnită la standardele 802.11h și k).

A fost aleasă această abordare deoarece, la acest moment, în QualNet, nu există nici o bibliotecă sau resursă dedicată rețelelor fără fir de tip radio-cognitiv. Astfel a fost ales programul Matlab pentru demonstrarea unei tehnici de folosire eficientă a spectrului. Pentru viitor se intenționează modificarea scenariilor deja existente în Qualnet și adaptarea lor pentru tehnica Radio Cognitiv.

### **3. Studiu și contribuții la aplicațiile Radio Cognitiv pentru utilizarea eficientă a spectrului în tehnologia WMAN**

WiMAX este un concept definit ca Interoperabilitate Globală pentru Accesul cu ajutorul Microundelor – World Wide Interoperability for Microwave Access” de către WiMAX Forum, organizație formată în iunie 2001 pentru a promova interoperabilitatea standardului IEEE 802.16.

Datorită creșterii competiției din partea tehnologiilor fixe, în special DSL, a apărut o a doua generație de tehnologii wireless de bandă largă, menite să asigure acces la resursele Internetului la viteze competitive cu cele oferite de sistemele cu linii cablate. O problemă principală era însă necesitatea de a exista o legătură în vizibilitate directă între stația de bază și terminalul utilizatorului. În majoritatea cazurilor, problema vizibilității directe a fost depășită prin utilizarea unor tehnici de acces de tip OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, CDMA – Code Division Multiple Access și prin implementarea unor sisteme cu antene premergătoare celor de tip MIMO – Multiple-Input and Multiple-Output, comunicația putându-se acum efectua și în lipsa unei vizibilități directe.

WiMAX asigură două tipuri de servicii wireless :

1. Pentru calea în vizibilitate indirectă dintre stația mobilă și stație de bază – NLOS, asemănătoare serviciilor Wi-Fi, unde cu ajutorul unei antene de mici dimensiuni situate pe lângă computerul abonatului, acesta se va conecta la stația de bază. În acest scop WiMAX folosește o gamă limitată de frecvențe de la 2GHz până la 11GHz.

2. Pentru calea în vizibilitate directă dintre stația mobilă și stație de bază – LOS. O conexiune de tipul LOS este mult mai puternică și mult mai stabilă față de o conexiune NLOS, fiind capabilă să transmită o cantitate mare de date cu puține erori. Transmisiunile de tip LOS utilizează o bandă la frecvențe mai înalte.

Un sistem WiMAX tipic constă din două părți esențiale :

- o stație de bază WiMAX (BS) alcătuită din componente electronice interioare și un pilon WiMAX. Raza de acoperire este uzual de până la 50Km, dar din considerații practice această rază de acoperire a fost limitată la 10Km. Practic orice nod de acces wireless care se află în aria de acoperire a rețelei WiMAX ar trebui să se poată conecta la internet.

- o stație mobilă – MS (sau SS – Subscriber Station) ce poate fi realizată: antena și receptorul ar putea fi realizate în cutii separate sau sub forma unui PC card care este conectat în notebook sau la calculatorul personal. Accesul la o stație de bază WiMAX este similar accesului la un AP wireless într-o rețea de tip Wi-Fi, dar diferența constă în faptul că WiMAX oferă o rază de acoperire mult mai mare.

De asemenea o problemă o reprezintă raportul semnal interferență pentru care trebuie găsite metode de a-l crește, fără a sacrifica atât de multă bandă, pe cât se pierde prin reutilizarea frecvențelor. O tehnică foarte folosită este aceea a sectorizării celulei, prin care se împarte celula în mai multe sectoare și fiecărui sector i se alocă un canal radio – un fel de reutilizare a frecvențelor în interiorul aceleiași celule. Aceasta se poate realiza folosind antene directive pentru stațiile de bază în loc de antene unidirecționale și are avantajul suplimentar de a micșora interferențele co-canal.

Prin utilizarea sectorizării, se poate crește factorul de re folosire a frecvențelor fără a diminua raportul semnal interferență - figura 9. De obicei se folosesc sectoare cu

unghiul la centru de  $120^0$  sau  $60^0$ . Antenele directive folosite vor avea deci un unghi de deschidere în azimut de  $120^0$  sau  $60^0$ . Acestea se numesc antene sectoriale și sunt de obicei alcătuite din sisteme de antene pentru a obține directivitatea cerută.

Aceste tehnici de reutilizare a frecvențelor și de sectorizare a celulei sunt folosite în toate tehnologiile de telefonie mobilă și de asemenea și în tehnologiile WiMAX. Din cauza ratei mari de transfer specifică sistemelor WiMAX, planificarea celulară trebuie făcută cu mare atenție și orientată către obținerea unui raport semnal-interferențe ridicat, necesar susținerii unei viteze mari de trafic.

Datorită flexibilității mari oferite de sistemele WiMAX, este nevoie de o gamă largă de antene pentru a acoperi întregul domeniu de aplicații. Antenele WiMAX, asemenea celor destinate oricărei aplicații wireless (radio FM, telefonie mobilă, televiziune), sunt construite pentru a avea performanțe optime în cadrul aplicației în care sunt utilizate. Pot exista antene omidirecționale (pentru BS sau echipamentele mobile), sectoriale (pentru arhitecturile celulare) sau foarte directive (pentru conexiunile directe de tip punct la punct).

Explicând nivelul fizic al WiMAX trebuie menționat că utilizează multiplexarea cu diviziune ortogonală de frecvență OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Modulația OFDM poate fi folosită pentru a facilita unica frecvență a rețelelor (single frequency network–SFN). Lățimea de bandă a canalului este împărțită în mai multe subpurtătoare înguste ce sunt transmise simultan. Principala particularitate a sistemelor OFDM este că banda alocată  $B$  este divizată în  $N$  subbenzi de lățime mai mică  $\Delta F=B/N$ . Banda totală, reuniunea subbenzilor, nu se modifică și astfel nici rata de transfer nu suferă vreo schimbare. Principalul avantaj îl constituie robustețea la fadingul multicale. Astfel dacă  $N$  este suficient de mare, astfel încât banda de coerență a canalului (banda în care fading-ul este de tip plat) să fie mult mai mare decât  $\Delta F$ , atunci se poate aproxima că pe fiecare subbandă funcția de transfer a canalului rămâne aproximativ constantă.

Pentru aplicația practică s-a folosit **QualNet 4.5.1 Developer Gui** în care nivelul MAC WiMAX poate fi configurat pentru întreg scenariul, pentru fiecare subrețea, pentru fiecare nod al rețelei sau pentru o anumită interfață, din acest punct de vedere programul fiind foarte flexibil. În ceea ce privește nivelul fizic PHY802.16 în QualNet se poate implementa doar OFDMA PHY.

Scenariul WiMAX este compus din patru stații de bază WiMAX, două stații mobile WiMAX, o stație de abonat WiMAX, un switch și un headquarter (cartier general). Fiecare dintre acestea sunt privite în rețea ca noduri și fiecare are propriul „NOD ID”.

Programul Qualnet este un program destul de complex dar care poate avea și multe îmbunătățiri.

În ceea ce privește specificarea unei platforme pentru evaluarea soluțiilor Radio Cognitiv implementate în WMAN trebuie menționat că, întrucât la momentul actual, în mediul de simulare QualNet nu există nici o bibliotecă sau resursă dedicată rețelelor fără fir radio-cognitive, s-a ales varianta implementării unui model de detecție a energiei în mediul de simulare Matlab. Pe viitor se intenționează modificarea scenariilor deja existente în Qualnet și adaptarea lor pentru tehnica Radio Cognitiv.

Mecanismul detecției energiei într-un posibil canal utilizabil este destul de simplu. Rolul detectorului este de a calcula energia semnalului recepționat și de a compara valoarea acesteia cu un prag. Pragul diferă în funcție de proveniență semnalului. Pentru fiecare dintre cei trei utilizatori primari (TV analogică, TV digitală, microfoane wireless) este definită o valoare diferită. sistemul este format din trei emițătoare, trei blocuri de adăugare a zgomotului pe canal și un bloc sumator urmat de un filtru trece bandă. După FTB urmează blocul de calcul al puterii și blocul comparator. Cele trei emițătoare funcționează simultan, trimițând semnale modulate digital pe trei canale diferite. Semnalele sunt captate de o antenă și apoi se face o selecție în funcție de canalul pe care doresc efectuarea detecției. Este calculată valoarea energiei din interiorul acestui canal și

comparată cu un prag. Dacă pragul este (de exemplu) mai mare, se poate realiza transmisie de date.

În urma simulărilor, nivelul energetic obținut pentru fiecare canal în parte este:

- 8,377 dBm pentru canalul 1
- 8.043 dBm pentru canalul 2
- 8,673 dBm pentru canalul 3.

În cazul în care acest nivel este mai mic decât nivelul pragului, se concluzionează ca în canal nu există decât zgomot, deci se poate efectua o eventuală transmisie de date. Dacă valoarea energiei obținute este mai mare decât valoarea pragului, canalul nu poate fi folosit, el fiind ocupat de către utilizatorii primari.

Simulările efectuate pentru determinarea nivelului energiei au arătat că valoarea de -14 dB aleasă pentru prag este de fiecare dată mai mică decât valoarea energiei ceea ce este normal pentru că a fost realizată transmisie pe fiecare canal.

Astfel scopul modelului practic implementat a fost atins, realizându-se o detecție de energie viabilă. Decizia în legătură cu utilizarea unui canal este luată la nivelul stației de bază.

#### **4. Studiu și contribuții la aplicațiile Radio Cognitiv pentru utilizarea eficientă a spectrului în tehnologia WRAN**

Punctul de plecare pentru standardul 802.22 a fost reprezentat de propunerea făcută de FCC, în mai 2004, ca benzile nelicențiate să opereze în interiorul benzilor de emisie TV, fără a interfera cu echipamentele de drept, pe care le-am numit „principale” (ca de exemplu receptoarele TV). Standardul a fost emis de IEEE sub numele de 802.22 WG (sau mai simplu 802.22) pentru rețele WRAN, în Noiembrie 2004, având ca obiectiv principal implementarea și dezvoltarea unor interfețe wireless bazate pe tehnologia Radio Cognitiv.

Rețeaua 802.22 este o rețea de tip P-MP („*Point-to-multipoint*”), în cadrul căreia există o stație de bază numită BS („*Base Station*”) cu rolul de manager asupra propriei celule, precum și asupra echipamentelor CPE („*Consumer Premise Equipments*”) asociate. Standardul 802.22 necesită ca toate dispozitivele să fie într-o locație fixă și să încorporeze dispozitive GPS; înainte de a transmite date, fiecare client (CPE), acesta trebuie să își localizeze corect poziția și apoi se asociază cu BS.

Rețeaua 802.22 prezintă o eficiență spectrală în intervalul 0.5 bit/sec/Hz – 5 bit/sec/Hz. Considerând o medie de 3 bit/sec/Hz, aceasta ar corespunde unei rate de 18Mbps pe un canal TV de 6 Mhz.

**Nivelul fizic** 802.22 (PHY) trebuie să ofere flexibilitate și în termeni de modulație și codare. Totodată, în momentul proiectării nivelului PHY, este esențial controlul asupra puterii de transmisie TPC și agilitatea în frecvență. OFDMA îndeplinește toate aceste cerințe, schemele de modulație folosite fiind QPSK, 16-QAM, 64-QAM cu codare convoluțională cu rata 1/2, 3/4, 2/3.

Una dintre trăsăturile de bază ale nivelului fizic este *dynamic channel bonding*, care permite rețelei 802.22 să folosească mai multe canale TV libere prin alipire. Există două scheme de cuplare a canalelor: una pentru canalele învecinate (*contiguous channel*) și alta pentru canale care nu se învecinează (*non-contiguous channel*).

Subnivelul MAC are un caracter dinamic, ceea ce îi permite să răspundă rapid schimbărilor de mediu. Există două structuri primare care alcătuiesc subnivelul MAC: structura Superframe (supercadru) și structura Frame (cadru).

Superframe-ul transmis de BS pe canalul de operare începe cu un Preambul și un Header de Control SCH („*Superframe Control Header*”), urmat de 16 frame-uri MAC. SCH conține informații precum: ce canale sunt utilizate, ce perioade urmează să avem canale libere, suportul pentru sisteme cu antene adaptive.

Pe durata fiecărui frame MAC, stația de bază este cea care coordonează operațiile de upstream (UP) și downstream (DS), care pot include transfer de date obișnuit, activități de măsurare, proceduri de coexistență.

Pentru evitarea interferențelor este necesară observarea spectrului de frecvențe radio și procesarea informațiilor pentru a determina starea unui canal.

Cea mai comună abordare pentru detecția semnalelor în prezența zgomotului se bazează pe măsurători ale energiei semnalului. Ea se poate aplica oricărui tip de semnal și necesită informații minimale despre semnal, incluzând doar lățimea de bandă și frecvența purtătoare.

Se pot folosi și tehnici de procesare statistică a semnalului pentru recunoașterea unor caracteristici prezente în semnalele modulate, pe baza proprietății de ciclostacionaritate.

Ideea de coexistență cu alte tehnologii este critică pentru interfața radio 802.22. Este necesar ca fiecare echipament CPE să dețină două antene separate (ambele sub controlul aceluiași MAC și PHY): o antenă uni-direcțională (pentru comunicația cu BS) și una omni-direcțională (pentru detecție).

Protocolul CBP („*Coexistence Beacon Protocol*”) permite CPE-urilor și BS-ului să trimită balize de semnalizare („*beacons*”) ce conțin informații utile concretizării coexistenței printre celulele 802.22 ce se suprapun.

Tehnologia Radio Cognitiv a fost definită ca având următoarele caracteristici: *accesul dinamic la spectru* (DSA) – ne referim la capacitatea echipamentelor CR de a detecta rapid și corect prezența utilizatorilor principali, care au dreptul să opereze în benzile folosite și de utilizatorii secundari; *utilizarea în comun a spectrului*, într-o manieră dinamică (DSS) – echipamentele CR trebuie să fie conștiente de existența și celorlalte echipamente, pentru a putea coexista și *operații multi-canal asupra spectrului* – precum alipire canalelor.

Standardul 802.22 este primul standard radio cognitiv care îndeplinește toate aceste trei caracteristici, având un rol deosebit de important în dezvoltarea tehnologiei de acest tip. Standardul 802.22 este cel care are șansa să îndeplinească obiectivul principal al tehnologiei radio cognitive: acela de a oferi servicii de bandă largă în zonele rurale și cele mai puțin populate, precum și eficientizarea ocupării spectrale.

## **5. Implicațiile socio-economice ale utilizării tehnologie Radio Cognitiv pentru folosirea eficientă a spectrului**

Tehnologia Radio Cognitiv este văzută ca fiind o soluție pentru o utilizare eficientă a spectrului care să combată slaba utilizare cu care se confruntă în prezent lumea comunicațiilor wireless și care a fost evidențiată de nenumărate studii. Radio Cognitiv este tehnologia care încearcă să ofere flexibilitate, eficiență dar și o transmisie sigură, prin adaptarea echipamentelor radio la caracteristicile reale ale mediului. Pentru extinderea rețelelor wireless FCC a încercat să-i convingă pe deținătorii de benzi licențiate să anuleze aplicațiile pentru care obținuseră în trecut acele licențe, pentru a permite dezvoltarea noilor servicii wireless, precum telefonia mobilă de exemplu. Momentan aproape toate aceste aplicații au fost mutate din sectoarele principale, realocându-li-se noi benzi.

Justificarea folosirii tehnologiei Radio Cognitiv, care să permită mărirea eficienței în utilizarea spectrului licențiat sau nu, poate fi rezumată astfel:

- nu se dorește existența unui spectru neutilizat; utilizatorilor nu ar trebui să li se permită să dețină benzi de frecvențe fără să le folosească sau chiar fără să le exploateze la maxim.
- alocarea de licențe pentru noi benzi de frecvențe nu este o soluție benefică din punct de vedere economic întrucât găsirea unui investitor este destul de problematică. Populațiile rurale sau așezările mici, în general, trebuie să beneficieze și ele de servicii wireless, mai ales că cei care dețin licențe se concentrează asupra zonelor urbane și suburbane, acolo unde profitul este mai mare.

Este de remarcat faptul că “benzile fără licență” joacă un rol cheie în acest domeniu “wireless” prin faptul că cele mai semnificative inovații în domeniul radio s-au produs prin folosirea acestor benzi, rezultând o multitudine de aplicații precum: accesul wireless de bandă largă, rețelele wireless PANs/LANs/MANs, etc. Având în vedere

succesul foarte mare al utilizării acestor benzi nelicențiate, dar și dezvoltarea tehnologiei care a urmat, a făcut ca anumite organizații să supravegheze modalitatea de folosire a spectrului de frecvențe și, atunci când a fost necesar, să facă recomandări în vederea îmbunătățirii metodelor de exploatare a resurselor radio.

Studiile referitoare la utilizarea spectrului au arătat că majoritatea benzilor alocate sunt utilizate sub limită. O rezervă impresionantă de spectru RF ar putea fi obținută atunci când ambele dimensiuni de utilizare a frecvențelor: timpul și spațiul vor fi luate în considerare. În aceste condiții se constată că problema insuficienței spectrului, așa cum este percepută astăzi, reprezintă în majoritatea cazurilor un caz de management ineficient al spectrului și nu o problemă de spectru insuficient.

Accesul dinamic la spectru DSA („*Dynamic spectrum access*”) își propune să rezolve această problemă a ineficienței utilizării spectrului actual. Rețelele de comunicații „Next Generation” (xG), cunoscute totodată și sub numele de rețele „Dynamic Spectrum Access” (DSANs) sau rețele „Cognitive Radio” încearcă să ofere utilizatorilor mobili o bandă de lucru mai mare, prin implementarea de tehnologii wireless diferite și prin accesarea dinamică a spectrului radio. Se speră într-o îmbunătățire a eficienței spectrului, prin accesarea oportună a benzilor licențiate, fără a interfera cu echipamentele deja existente. Pentru a fi posibile toate acestea, este nevoie ca rețelele xG să depășească anumite dificultăți cauzate de intervalele extinse ale spectrului neutilizat sau de calitatea serviciului („*Quality of Service*”), care se dorește să se păstreze în limite rezonabile.

Tehnologia care susține rețele xG este tehnologia Radio Cognitiv. Aceasta oferă posibilitatea folosirii spectrului, chiar de către mai mulți utilizatori, într-o manieră „oportunistă”. Accesul dinamic la spectru permite tehnologiei radio cognitiv să opereze în canalul liber cel mai convenabil („*the best available channel*”).

Prin mecanismele sale de a recepționa informații legate de mediul de operare, capacitățile sale și de nevoile utilizatorului, un sistem ce folosește tehnologia Radio Cognitiv deține informațiile necesare pentru a-și proiecta singur soluția optimă pentru a îndeplini cerințele și constrângerile scenariului curent. Pentru a putea cântări câștigul din punctul de vedere al utilizării spectrului, câștig ce poate apărea într-un astfel de sistem CR, trebuie luate în considerare următoarele tehnici disponibile în echipamentele CR:

- accesul dinamic la spectru
- diversitatea multiutilizator
- codarea inteligentă a legăturii.

Atunci când o nouă tehnologie este dezvoltată acest lucru se traduce prin echipamente noi ce operează în benzi noi în timp ce dispozitivele și tehnologiile deja existente continuă să opereze în benzile vechi. Datorită acestei abordări eficiențele spectrale a benzilor anterior alocate și ale transmisiunilor echipamentelor vechi nu vor putea fi îmbunătățite până când ele nu au fost înlocuite și benzile realocate – procedeu lent și rar utilizat.

Odată cu utilizarea platformelor radio software (platforme pe care forumul SDR crede ca echipamentele CR le va adopta) nu mai este necesară crearea unor noi dispozitive care să utilizeze noile tehnologii radio. În schimb, o actualizare software poate adăuga noi tehnologii radio la echipamentul deja existent. Datorită preocupărilor legate de reglementare acest lucru nu înseamnă neapărat că echipamentul va transmite în mod liber tehnologia radio nouă în banda existentă, ci reglementările legate de spectru sunt regândite astfel încât să permită această funcționare.

Tehnologia CR merge chiar mai departe decât cea radio software în promovarea evoluției tehnologiilor mult mai eficiente d.p.d.v. spectral. Mai întâi capacitatea de acces dinamic la spectru înseamnă că formele de undă mult mai eficiente vor opera laolaltă cu celelalte forme de undă în alocările de bandă. Astfel vor trebui luate în considerare câștiguri spectrale ale noilor tehnologii la noile benzi alocate.

În al 2-lea rând dacă sunt dezvoltate noi reprezentări ale lucrurilor cunoscute și limbile de schimb de informații, forme de undă și tehnici mult mai eficiente pot fi în mod

autonom distribuite în întreaga lume, accelerând în mod semnificativ evoluția comunicațiilor radio.

În al 3-lea rând capacitatea de a lucra cu reguli definite de software după realizare va conduce la o evoluție rapidă a regulilor legate de spectru. Teoretic această reducere se va resimți în scăderea costului pentru introducerea schimbărilor care, în schimb, trebuie să promoveze o atitudine dornică de a experimenta aceste reguli noi.

În mod suplimentar tehnologia CR oferă posibilitatea de a descoperi noi aplicații ce vor îmbunătăți semnificativ eficiența spectrală. Deoarece aceste aplicații sunt mult prea numeroase pentru a le enumera, se va avea în vedere potențialul impact al comunicațiilor *cooperative*, economia d.p.d.v. spectral și managementul automat al resurselor radio.

## 6. 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 transmisiile 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 vom dezvolta în continuare aplicațiile pe kiturile de dezvoltare produse de Sundance și GE Fanuc și procurate în cursul acestui an și anul trecut.

Realizarea acestor activități a implicat toată echipa așa cum rezultă și din lucrările publicate. Cei doi doctoranzi au avut în responsabilitate realizarea simulărilor (Ioana Marcu și Marțian Alexandru), au colaborat la elaborarea studiilor, iar Marțian Alexandru a pregătit testele pe kiturile Sundance. Cei doi doctoranzi au continuat activitatea de pregătire la doctorat prin elaborarea ultimului referat (Ioana Marcu) și prin elaborarea proiectului pentru faza de cercetare. Toată echipa a coordonat activitatea studenților și masteranzilor care au elaborat lucrări de diplomă sau disertație în domeniul temei proiectului.

## BIBLIOGRAFIE

1. Ion Marghescu, *Cognitive Radio Technology and the Evolution of Wireless Communication Networks*, Revue Roumaine de Sci. Technique, Serie Electrotechnique et Energetique, to be published in Tome 55, No.3, 2010.
2. Călin Vlădeanu, Safwan El Assad, Jean-Claude Carlach, Raymond Quéré, Ion Marghescu, *Optimum PAM-TCM Schemes Using Left-Circulate Function over  $GF(2^N)$* , Proceedings of ISSCS, Iași, 2009.
3. Simona V. Halunga, Ioana M. Marcu, Octavian Fratu, Ion Marghescu, *ORTHOGONALITY, AMPLITUDE AND NUMBER OF USERS EFFECTS ON CONVENTIONAL MULTIUSER DETECTION USING TURBO DECODING*, Proceedings of EUROCON, Sankt Petersburg, 2009.
4. Calin Vlădeanu, Safwan El Assad, Jean-Claude Carlach, Ion Marghescu, *Optimum  $GF(2^N)$  Encoders using Left-Circulate Function for PSK-TCM Schemes*, Proceedings of the 17-th edition of EUSIPCO, Glasgow, 2009.