

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

Aplicatii ale sistemelor automatizate pentru monitorizarea in timp real a campului electromagnetic

Prof. univ. dr. ing. Paul BECHET
ACADEMIA FORTELOR TERESTRE "NICOLAE BALCESCU" din SIBIU

- 2016 -

Rezumatul tezei de abilitare

Teza de abilitare evidentiaza rezultatele principale pe linia cercetarii stiintifice obtinute de catre candidat dupa sustinerea tezei de doctorat in anul 2001 cu tema "Cercetări privind dezvoltarea fiabilă a structurilor de sintetizoare de frecvență pentru aplicații speciale", domeniul Inginerie Electrica, la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, conducător prof. univ. dr. ing. Radu Ioan MUNTEANU.

In capitolul 1 sunt prezentate principalele repere ale evolutiei profesionale ale candidatului si sintetizate contributiile semnificative si impactul acestora.

Capitolul 2 evidentiaza principalele rezultate obtinute pe linia cercetarii stiintifice.

In prima parte este prezentata o procedura de evaluare cu acuratete a expunerii umane la radiatia electromagnetica emisa de dispozitive wireless specifice retelelor wireless locale (WLAN).

Problema principala in evaluarea campului electromagnetic in cazul WLAN consta in aceea ca semnalele emise sunt impulsuri de scurta durata, intr-o banda larga de frecventa. Procedura propusa investigheaza posibilitatea imbunatatirii acuratetei evaluarii expunerii folosind sistemele de masura cu baleiere, in cazul unor scenarii de operare a dispozitivelor wireless WLAN reprezentative pentru calitatea semnalului. Parametru critic pentru un analizor spectral cu baleiere in monitorizarea unor semnale variabile de tip burst, cum sunt si semnalele WLAN, este timpul de baleiere (SWT). Valoarea timpului de baleiere trebuie sa ia in considerare durata minima activa a semnalului. Un SWT mai mic decat durata activa a semnalului va supraestima valoarea masurata, in timp ce un SWT mai mare va subestima valoarea masurata. In cazul semnalelor WLAN dificultatea setarii SWT consta in faptul ca durata activa a semnalului nu este fixa ci variabila si depinde de foarte multi factori.

Procedura propune luarea in considerare pentru durata minima a semnalului, pe langa cea a cadrului de date, a doua cazuri: durata minima data de semnalul cu cea mai mare amplitudine care este semnalul de beacon si durata minima a semnalizarilor care este a cadrelor ACK (Acknowledgement). Avantajul luarii in considerare a duratei minime in acest mod este ca atat cadrele ACK cat si semnalul beacon au durate fixe, ceea ce va conduce la o valoare precisa pentru SWT in orice conditii de trafic. Validarea rezultatelor masuratorilor atat in domeniul freventa cat si in domeniul timp s-a facut prin comparatie cu un analizor spectral vectorial cu capabilitate de raspuns in timp real.

In subcapitolul 2.1.2 este prezentata o procedura pentru evaluarea cu acuratete a expunerii umane la campurile electromagnetice emise de statiile de baza GSM (Global System for Mobile Communications). Originalitatea procedurii consta in aceea ca studiul distributiei temporale a traficului nu se face in acelasi timp pe intreg spectrul GSM downlink ci identifica traficul separat pe fiecare din cele 124 de canale GSM.

Evaluarea pe intreg spectrul GSM downlink se realizeaza prin integrarea rezultatelor pe fiecare canal GSM. In acest mod intr-o locatie in care se face evaluarea expunerii poate fi identificata distinct contributia fiecarui canal GSM. Traficul pentru fiecare statie de baza a unui anume operator este independent iar analiza expunerii individualizata pe fiecare canal GSM contribuie astfel la o acuratete mai buna a evaluarii. In acelasi timp, procedura analizeaza distributiile campului electromagnetic pe fiecare din cele doua tipuri de canale reprezentative standardului GSM, de control

BCCH (Broadcast Control Channel) și de trafic (TCH - Traffic Channel) și nu necesită informații suplimentare de trafic, de exemplu de la operatori. Validarea procedurii a fost făcută cu ajutorul unui analizor spectral cu capacități de analiză în timp real, controlat de o aplicație software în mediul MATLAB, special realizată în acest scop.

În subcapitolul 2.2 este prezentată o metodă non-contact pentru detectia prezenței umane. Preocupările specialiștilor cu privire la utilizarea radarului cu undă continuă în măsurarea pulsului sau respirației au vizat atât implementarea unor arhitecturi de radiofrecvență eficiente cât și îmbunătățirea algoritmilor în prelucrarea semnalelor recepționate în banda de bază. Arhitecturile de radiofrecvență care s-au consacrat sunt cele bazate pe recepția în cuadratură, dar pentru care apare necesitatea compensării imperfecțiunilor între cele două componente de semnal I și Q, ca urmare a prezenței pe lângă semnalul util a DC offset și a reflexiilor suplimentare date de clutter.

Cercetarea investighează posibilitatea implementării unui algoritm de prelucrare numerică bazat pe estimarea spectrală parametrică de tip MUSIC (Multiple Signal Classification), în scopul evaluării cu acuratețe a frecvenței pulsului, în urma realizării unor măsurători cu durata cât mai scurtă.

Sistemul de testare utilizează măsurarea fazei parametrului s_{21} cu ajutorul unui analizor vectorial de rețea (VNA), iar algoritmul a fost optimizat pentru durate de achiziție în intervalul 8-30 s. Validarea performanței algoritmului de prelucrare a fost realizată prin minimizarea erorii medii a frecvenței pulsului în urma măsurătorilor simultane comparative realizate pe mai mulți subiecți, atât prin metoda non-contact, cât și cu ajutorul unui sistem de măsură clasic, în contact direct cu subiectul supus investigației.

Originalitatea lucrării constă în aceea că, prin algoritmul propus, se obțin estimări cu acuratețe ridicată a pulsului pentru durate de achiziție scurte și în condițiile unui raport semnal/zgomot redus. Pentru măsurarea pulsului a fost utilizat un radar Doppler cu undă continuă implementat cu ajutorul unui analizor de rețea R&S ZNB4. Măsurătorile au fost realizate pentru frecvența de 2.4GHz prin evaluarea variației fazei parametrului s_{21} . Estimarea frecvenței pulsului a fost realizată prin prelucrarea numerică în mediul MATLAB a semnalului obținut la ieșirea radarului. Pentru validarea rezultatelor a fost utilizat sistemul Vernier de măsurare a pulsului în contact direct cu subiectul supus investigației.

În subcapitolul 2.3.1 este investigată detectia semnalelor TETRA (Terrestrial Trunked Radio Standard) utilizând drept criterii probabilitățile de detectie și de alarmă falsă în scopul estimării distribuției de putere. Sistemul de măsură ce se propune are în vedere îndeplinirea funcțiilor unui radiometru digital de către un analizor spectral cu baleiere. Parametri principali a unui radiometru (W – lățimea de bandă de analiză; T – durata de integrare) pot fi asimilați prin intermediul parametrilor analizorului spectral. Datele măsurate cu ajutorul analizorului spectral (în cadrul experimentului a fost folosit un analizor R&S FSH3) sunt preluate și procesate automat cu ajutorul unei aplicații software scrise în mediul MATLAB.

În subcapitolul 2.4.1 este prezentat un algoritm de evaluare a canalului High Frequency (HF) bazat pe o formă de undă de tip Ortogonal Frequency Division Multiplex (OFDM). Algoritmul a fost proiectat și implementat în cadrul proiectului de cercetare „Predicții de propagare ionosferică și comunicații de bandă largă folosind

senzori SDR în gama HF pentru suportul informațional în situații de urgență pe teritoriul României”.

Algoritm pentru estimarea raportului semnal/zgomot (SNR) în cadrul sistemului de sondare se bazează pe evaluarea SNR utilizând forma de undă OFDM. Această tehnică permite evaluarea simultană a SNR și a celorlalți parametri ai canalului pe tot parcursul realizării măsurătorilor. Principalele avantaje obținute prin utilizarea acestei tehnici sunt următoarele:

- ✓ Datorită utilizării formei de undă OFDM cu 64 subpurtătoare se crează premisa extragerii semnalului util din zgomot sau interferențe, pe baza analizei spectrale;
- ✓ Prin modificarea ecartului între subpurtătoarele OFDM pot fi realizate evaluări ale SNR pentru canale cu diferite benzi ocupate;
- ✓ Forma de undă OFDM permite evaluarea SNR pentru fiecare subcanal, astfel încât este posibilă identificarea subcanalelor afectate de interferențe.

Principalul dezavantaj constă în aceea că împărțirea puterii la numărul de subpurtătoare va reduce puterea semnalului util pe fiecare subbandă. Comparativ cu un sistem de evaluarea SNR cu o singură purtătoare nemodulată, pentru o formă de undă OFDM, SNR va fi mai mic cu un factor egal cu numărul de subpurtătoare utilizate (aceasta dacă se păstrează puterea la emisie). Evaluarea SNR necesită izolarea semnalului util de semnalul de zgomot și interferență. Având în vedere că pentru un semnal OFDM, forma spectrală a semnalului util este cunoscută și constă într-un număr fix de subpurtătoare dispuse la un ecart constant, rezultă că prin analiză spectrală, utilizând o rezoluție suficient de bună, puterea semnalului util poate fi evaluată prin extragerea componentelor spectrale corespunzătoare semnalului OFDM.

Subcapitolul 2.4.2 investighează posibilitatea utilizării unei forme de undă de tip OFDM pentru creșterea ratei de transfer a datelor în gama HF. Atât la recepție cât și la emisie au fost utilizate platforme Software Defined Radio (SDR) NI USRP (Universal Software Radio Peripheral) comandate cu ajutorul unei aplicații software implementate în mediul GNU Radio.

Achiziția, calculul raportului semnal zgomot și recepția pachetelor de date au fost realizate în mediul GNU Radio iar durata de monitorizare în fiecare caz a fost de 1 min (215 pachete transmise). Analiza statistică a măsurătorilor a fost realizată în mediul MATLAB. Achiziția a fost făcută în timp real pentru o lățime de bandă de 16 kHz iar calculul SNR a fost realizat prin diferența între puterea măsurată în canalul de interes de lățime de bandă 4 kHz și puterea zgomotului măsurată în canalul adiacent de aceeași lățime de bandă de 4 kHz. Înainte de evaluarea SNR pentru fiecare măsurătoare a fost verificată starea celor două canale astfel încât să nu existe alte emisii care să influențeze acuratetea măsurătorii. În comportamentul canalului ionosferic din perspectiva SNR s-a urmărit evidențierea celor două situații limită, prima în care prin creșterea SNR se face trecerea de la pachet pierdut la pachet recepționat, și cea de a doua, în care prin scăderea SNR se face trecerea inversă, de la pachet recepționat la pachet pierdut. Pentru fiecare din cele două situații interesează valorile limită ale SNR pentru care pachetul de date a fost recepționat corect. Experimental s-a demonstrat că scăderea SNR sub 10 dB, în cazul transmiterii folosind tehnica OFDM cu 64 subpurtătoare pe un canal standard HF de 3 kHz, comunicatia de date se compromite total.

În capitolul 3 sunt prezentate concluziile și direcțiile de cercetare viitoare.

Cu privire la activitatea autorului tezei de abilitare pot fi formulate urmatoarele concluzii:

- ✓ A condus mai multe proiecte de cercetare în calitate de director de proiect sau de responsabil de proiect la partener, în care au fost îndeplinite cu succes obiectivele asumate. Împreună cu colegi din Academia Forțelor Terestre a format o echipa de cercetare competitiva care a reușit promovarea unor teme și proiecte de cercetare finanțate prin diferite programe.
- ✓ A contribuit la consolidarea infrastructurii de cercetare din Academia Forțelor Terestre. În acest scop a colaborat atât cu firme importante furnizoare de echipamente de comunicații moderne cât și cu alte compartimente din cadrul academiei. Este relevanta colaborarea cu reprezentanța firmei Rohde & Schwartz din Romania, pe de o parte în implementarea unor sisteme automate de măsură și control, iar pe de altă parte, în organizarea unor evenimente pe linia echipamentelor de măsură și control de radiofrecvență. Beneficiile au fost multiple, cum sunt: prezentarea unor echipamente de măsură și testare de ultimă generație; identificarea unor teme de interes de colaborare, în mod special pe linia cercetării științifice; susținerea desfășurării unor activități didactice și de cercetare cu aparatură de măsură și control modernă; atragerea studenților către mediul economic și susținerea acestora în finalizarea diferitelor lucrări (de licență, dizertație sau teze de doctorat).
- ✓ A colaborat cu alte universități atât pe linie didactică cât și pe linia cercetării științifice. Un exemplu este reprezentat de programul de masterat “Sisteme integrate de comunicații cu aplicații speciale” inițiat și dezvoltat împreună cu specialiști din Universitatea Tehnică din Cluj Napoca. Cel de al doilea exemplu este cartea “Compatibilitatea electromagnetică în medii de comunicații radio” publicată în Editura Academiei Române și care a obținut premiul “Gheorghe Cartianu” al Academiei Române pe anul 2010.
- ✓ A participat și a condus cu succes diferite aplicații pe linia comunicațiilor militare, multe dintre acestea, prin testele efectuate, au avut caracter de pionerat pentru România.
- ✓ A încurajat și susținut de-a lungul timpului student, masteranzi și doctoranzi în diferite acțiuni cum sunt cele de finalizare a lucrărilor de disertație sau a tezelor de doctorat. Cu o parte dintre ei a format echipe de cercetare în cadrul unor proiecte de cercetare desfășurate cu succes.
- ✓ A colaborat cu specialiști din alte instituții pe diferite teme, în mod special în elaborarea și publicarea unor lucrări științifice sau în desfășurarea unor proiecte de cercetare. Relevant pentru tematica tezei de abilitare este colaborarea cu “Technological Educational Institute of Crete”, Grecia, în cadrul proiectului “Archimedes III”, în urma căreia a fost implementat un sistem automat de măsură a câmpului electromagnetic (partenerii din Grecia au rezolvat problema comenzii și controlului antenei iar în Academia Forțelor Terestre a fost rezolvata problema interfațării analizorului spectral și a procesării datelor măsurate).

Finalizarea activitatilor de cercetare în cadrul proiectului cu tema “Predicții de propagare ionosferică și comunicații de bandă largă folosind senzori SDR în gama HF pentru suportul informațional în situații de urgență pe teritoriul României” va reprezenta o prioritate imediată pe linia cercetării științifice. Sistemul de monitorizare a ionosferei propus în cadrul proiectului include inovații la nivel științific și integrează trei metode de sondare a ionosferei (sondarea oblică, sondarea pasivă și măsurare TEC - Total Electron Content pe baza semnalelor GPS - Global Positioning System). Din punct de

vedere al soluției tehnice, sistemul de măsurare a ionosferei este implementat pe suportul oferit de platforme SDR reconfigurabile. Rezultatele furnizate în timp real ofera informații despre parametrii ionosferei (foF2, foF1, hmF, hmE, foE) precum și date privind calitatea semnalelor recepționate (atenuare, Bit Error Rate - BER, Error vector Magnitude - EVM etc.).

Dezvoltarea sistemelor de monitorizare a campului electromagnetic va continua sa ramana o preocupare. Astfel unul dintre obiectivele viitoare ale consta in realizarea unui sistem de monitorizare in timp real a campului electromagnetic folosind tehnologia SDR, ce va fi utilizat cu precadere pentru evaluarea expunerii umane la radiatia electromagnetica emisa de dispozitive wireless specifice standardelor 3G, 4G si 5G.

Fata de studiile actuale de expunere la radiatia electromagnetica in care este vizata mai ales intensitatea campului electromagnetic in diferite game de frecventa, realizarea senzorilor pe baza tehnologiei SDR creaza oportunitati de diversificare a analizei expunerii. Colectarea in timp real a datelor si analiza ulterioara a acestora poate sa conduca la analize ale expunerii si din alte perspective ale parametrilor tehnici ai semnalului (tehnologia de comunicatie - 3G, 4G, 5G; caracteristicile locatiei in care se face evaluarea - densitatea traficului, momentul de timp in care se face masuratoarea, sursele principale de radiatie care se gasesc in zona; tipul serviciului de comunicatie – voce, date, video; caracteristici tehnice ale datelor - rata de transfer a datelor; caracteristici de modulatie; etc). In acest mod devin posibile diferite studii statistice ale expunerii si identificarea reala a unor profile particulare electromagnetice reprezentative pentru expunerea la radiatia electromagnetica.

Intensificarea cercetarilor in domeniul platformelor SDR va reprezenta cadrul ideal in care masteranzi si doctoranzi vor fi implicati si sprijiniti scopul finalizarii tezelor de dizertatie si a tezelor de doctorat.

Acest lucru reprezinta o motivatie suplimentara a candidatului pentru a sustine teza de abilitare, consolidarea unui grup de cercetare prin implicarea unor tineri cercetatori, fiind o preocupare pentru perioada imediat urmatoare.