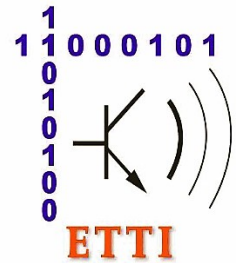




**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCURESTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației**

Decizia Nr.1 din 06-09-2023

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

ALGORITMI CU COOPERARE PENTRU SISTEME RADIO COGNITIV

Ing. Omer Mohammed Khodayer Al-Dulaimi
Conducător de doctorat: Prof. Călin Vlădeanu

COMISIA DE TEZĂ

Prof. Dr. Ing. Mihai Ciuc Universitatea Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Călin Vlădeanu Universitatea Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Daniela Tărniceriu Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi Iași	Referent
Prof. Dr. Ing. Ioan Nicolaescu Academia Tehnică Militară Ferdinand I București	Referent
Conf. Dr. Ing. Alexandru Marțian Universitatea Politehnica din București	Referent

BUCHAREST 2023

Conținut

Capitol 1: Introducere	1
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat.....	1
1.2 Obiectivele și scopul tezei de doctorat	2
1.3 Conținuturile și materialele tezei de doctorat	3
Capitol 2 : Sistem oportunist de acces la spectru și rețele	4
2.1 Sisteme și rețele radio cognitive.....	4
2.1.1 Principiul rețelelor radio cognitive	4
2.1.2 Funcționarea radioului cognitiv	4
2.1.3 Arhitectura radio cognitivă	5
2.1.4 Caracteristici și funcționalitate radio cognitivă	5
2.1.5 Aplicații ale radioului cognitiv	5
2.1.6 Acces dinamic la spectru	5
2.1.7 Captarea spectrului pentru rețele fără fir	5
2.1.8 Tehnici de detectare a spectrului	6
2.1.9 Detectare prin detecție cooperativă.....	6
2.1.10 Fuziunea datelor.....	7
2.1.11 Probleme și provocări privind detectarea spectrului.....	7
2.2 Tehnologie de acces multiplu și rețea radio cognitivă	8
2.2.1 O rețea radio cognitivă bazată pe NOMA	8
2.2.2 Conceptul de acces multiplu non-ortogonal	8
2.2.3 NOMA pentru legătura descendentă.....	9
2.2.4 NOMA pentru uplink.....	9
2.2.5 Imperfectitatea în NOMA	9
Capitol 3 :Detecție cooperativă a spectrului cu mai mulți utilizatori secundari	10
3.1 Detecție cooperativă a spectrului pentru CR prin utilizarea retransmisie secvențială cu trei SU	10
3.2 Metoda de detecție cooperativă cu retransmisie secvențială.....	10
3.2.1 Detectare cooperativă cu retransmisie secvențială pentru 3 SU	10
3.2.2 Modelul de canal și relația dintre câștigurile de canal ale SU-urilor	12
3.3 Performanță de detectare prin cooperare	12
3.4 Rezultatele simulării	13
Capitol 4 : Tehnici de prag în medii radio cognitive	15
4.1 Prag adaptiv pentru metoda pragului dublu.....	15
4.2 Abordare prag cu adaptativ alternativ	15

4.3	Algoritmi de detectare a energiei cu prag dublu.....	16
4.4	Fix algoritm cu dublu prag folosind detectarea convențională a energiei medii	16
4.5	Detectie convențională a energiei cu prag dublu fix propusă cu un prag adaptiv de detectare a energiei medii	17
4.6	Rezultatele simulariit.....	17
Capitol 5 : Detectarea energiei cu prag triplu pentru detectarea cooperativă a spectrului.....		20
5.1	Algitm cu prag dublu fix folosind detectarea convențională a energiei.....	20
5.2	treilea prag adaptiv înseamnă detectarea energiei	21
5.3	Algoritmi cooperativi de detectare a energiei.....	21
5.3.1	Reguli de vot pentru centrul de fuziune.....	22
5.3.2	Algitm cooperativ de detectare a energiei cu prag triplu propus.....	22
5.4	Rezultatele simularii	22
5.4.1	Probabilitatea unei erori de decizie bazată pe o valoare prag de decizie..	23
5.4.2	Probabilitatea erorii de decizie în funcție de ciclul de lucru.....	26
5.4.3	Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de un număr de sloturi de detectare pentru testul de energie medie.....	26
5.4.4	Probabilitatea erorii de decizie în funcție de numărul de SU	27
Capitol 6 : Strategie pentru acces multiplu non-ortogonal și performanță în rețelele 5G și 6G.....		28
6.1	Obiectivul concepiei NOMA.....	28
6.2	Tehnici NOMA separate de coduri.....	28
6.2.1	Dezvoltarea tehnologiei NOMA	29
6.2.2	Răspândire cu densitate scăzută prin tehnologia CDMA	29
6.3	Divizarea codului cu procesare.....	30
6.4	MA cu separare de cod	30
6.4.1	Secvențe de coduri individuale pentru abonații tradiționali de modulare 5G	30
6.4.2	Implementarea secvențelor de eructare în modelele NOMA.....	31
6.4.3	Protocoale NOMA bazate pe secvențe Grassmanniene bazate pe egalitatea welch generalizată	31
6.4.4	Scheme NOMA bazate pe secvențe cu modulație reconfigurată bazată pe șabloane rare	32
6.4.5	A Character-level extension and scrambling implementation of a NOMA system	32
6.4.6	Schema NOMA la nivel de caractere cu intercalare fără adăugare	33
6.5	Caracteristicile metodologiei de implementare a schemelor NOMA.....	33
6.6	Concluzii.....	33

Capitol 7 : Detectarea energiei medii cu prag adaptiv pentru detectarea spectrului în sistemele radio cognitive.....	34
7.1 Algoritm de detectare a energiei medii.....	34
7.2 Adaptarea pragului de detectare AED pentru probabilitatea minimă de eroare de decizie	35
7.3 Rezultat numeric.....	37
7.3.1 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de SNR.....	37
7.3.2 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de L.....	39
7.3.3 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de α	39
Capitol 8 : Concluzie.....	40
8.1 Rezultate obținute	41
8.2 Contribuții originale	42
8.3 Lista publicațiilor originale	44
8.3.1 Lucrări legate de tema de doctorat.....	44
8.3.2 Conferinței relevante și publicații în reviste	45
8.4 Perspective pentru evoluții ulterioare și lucrări viitoare.....	47
Bibliografie	48

Capitolul 1

Introducere

De la începutul sistemelor de comunicații fără fir, multe componente ale telefonului mobil personal au fost dezvoltate și adaptate pentru a satisface cerințele tot mai mari și popularitatea acestor tehnologii [1]. Trecerea de la comunicațiile analogice la cele digitale și schimbarea atenției de la vorbire la date. Mai ales în ultimele decenii, s-a înregistrat o creștere a interesului pentru capacitatea de a comunica în orice moment și în orice locație. Cererea în creștere de spectru pentru a susține sisteme și rețele fără fir în continuă expansiune a dus la o penurie de spectru. Prin planul de lucru al rețelei radio cognitive, ținta principală este depășirea acestei probleme prin utilizarea tehnologiilor creative. Unele studii recente de utilizare spectrală au arătat că tehnica actuală de alocare fixă a spectrului utilizată pentru gestionarea rețelelor de comunicații fără fir este ineficientă. Profitând de canalele goale atunci când acestea devin disponibile, radioul cognitiv (CR) este capabil să maximizeze eficiența spectrului.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Datorită creșterii și extinderii rapide a tehnologiilor de rețea fără fir și a modului în care acestea sunt utilizate, s-a alocat mult timp cercetării resurselor spectrului de frecvență în ultimii câțiva ani. Pentru a depăși constrângerile spectrului și a ține pasul cu cererea tot mai mare de lățime de bandă și volume de date, trebuie dezvoltate tehnologii inovatoare care pot folosi mai bine benzile de frecvență disponibile.

CR devine din ce în ce mai cunoscut ca o posibilă soluție la problema congestiei spectrului. Utilizează utilizarea oportunistă a spectrului ca o dezvoltare majoră pentru rețelele de comunicații fără fir ulterioare. Sentirea spectrală este o parte importantă a tehnologiei CR, deoarece arată unde sunt disponibile goluri în spectru. De asemenea, noile tehnologii precum accesul dinamic la spectru (DSA) și detectarea spectrului fac progrese pentru a îmbunătăți modul în care este utilizat spectrul radio. Chiar dacă s-au făcut multe cercetări și dezvoltare pentru a face tehnologiile de comunicații fără fir mai eficiente, cantitatea mică de spectru radio este văzută ca o problemă majoră pentru creșterea industriei. Spectrul este limitat în rețelele de comunicații fără fir 5G, DSA și CR au fost sugerate ca modalități de a gestiona această problemă în spectru. [1].

Comisia Federală de Comunicații (FCC) definește un CR ca un radio care își poate detecta mediul de operare cu frecvența radio și își poate confirma setările de operare radio în mod dinamic pentru a ajusta performanța sistemului [2]. CR poate reduce interferența, crește debitul și poate îmbunătăți interoperabilitatea. Rețelele personale wireless (WPAN) pot utiliza setările de operare comerciale Industrial Scientific Medical (ISM) în mod dinamic [2]. Există o problemă serioasă, deoarece

utilizatorii din același sistem de spectru radio pot avea interacțiuni considerabile între ei. Cu toate acestea, din cauza numărului mare de rețele care operează în benzile ISM, nu există metode adecvate de sincronizare sau de gestionare a resurselor radio. Evoluții mai recente în CR și procesarea semnalului au oferit răspunsuri la aceste provocări. Funcția principală a CR este de a identifica o legătură de comunicație neobstrucționată. Fiind un potențial domeniu de dezvoltare viitor și o componentă suplimentară a bazei de date care depind de rețelele CR, abordările bazate pe detectarea spectrului sunt deosebit de importante pentru comunicarea la distanță apropiată. Datorită accesului dinamic al canalului, detectarea fiabilă și sensibilă a spectrului necesită cooperare și monitorizare periodică din partea mai multor utilizatori [3].

1.2 Obiectivele și scopul tezei de doctorat

În contextul rețelelor CR, algoritmi SS bazați pe ED sunt foarte importanți pentru creșterea debitului SU și PU. De asemenea, pentru configurațiile NOMA, secvențele de împrăștiere sunt de o importanță capitală pentru creșterea capacității rețelei.

- Având în vedere acest context de cercetare, principalele obiective ale tezei au fost formulate astfel:
 1. Să contribuie la creșterea performanței de detectare a SU prin proiectarea de noi algoritmi SS bazați pe ED, folosind metode cooperante și non-cooperante. Dintre scenariile de cooperare, ar trebui investigate metodele bazate pe relee distribuite sau amplificare și transmitere (AF). De asemenea, algoritmi SS cooperativi centralizați sau bazați pe un centru de fuziune ar fi importanți pentru această investigație. În ceea ce privește metodele SS necooperante (sau unice SU), adaptarea valorii de prag pentru performanță optimă de detecție reprezintă o abordare promițătoare de cercetare.
 2. Să contribuie la problema alocării resurselor pentru maximizarea performanței rețelei în arhitecturile NOMA. Aici, proiectarea setului de secvențe de împrăștiere este problema cheie și aceasta va fi direcția de investigare luată în considerare.
- De asemenea, pentru această cercetare se vor avea în vedere obiectivele secundare:
 1. Prezentarea stadiului actual al tehnicii în contextul algoritmilor SS cooperativi și necooperativi pentru rețele CR și arhitectura NOMA.
 2. Să proiecteze noi algoritmi SS cu performanțe îmbunătățite în comparație cu soluțiile convenționale.
 3. Investigarea prin metode analitice și prin simulări în Matlab a performanței de detecție a tuturor algoritmilor SS considerați.
 4. Să investigheze diferite soluții pentru proiectarea setului de secvențe de împrăștiere în schemele NOMA și să compare performanțele acestora.

1.3 Conținuturile și materialele tezei de doctorat

Structura tezei este următoarea și este compusă din următoarele opt capitole:

Capitolul 1 va prezenta o introducere, ideea tezei de doctorat și obiectivele tezei. Tot conținutul și materialele enumerate vor fi prezentate.

Capitolul 2 va descrie elementele fundamentale ale mediului de rețea radio cognitivă, precum și contextul tehnicilor CSS. În plus, va fi prezentată problema detectării spectrului și provocările aferente.

Capitolul 3 va introduce o nouă tehnică cooperativă de amplificare și transmitere care include trei SU. În această schemă, două SU-uri realizează retransmiterea secvențială pentru semnalul care este transmis de al treilea SU utilizând protocoale de transmisie TDMA. Va fi ilustrată și evaluarea probabilității de detectare atât analitic, cât și prin simulare.

Capitolul 4 va include anumite ajustări la o tehnică propusă recent pentru detectarea spectrului cu prag dublu utilizând detectarea energiei medii. Acest lucru vizează reducerea probabilității de a avea o eroare de decizie prin implementarea unui prag adaptiv folosind testul MED. Rezultatele simulării demonstrează că pentru diferite valori ale ciclului de lucru, tehnica inovatoare de detectare a spectrului adaptiv oferă performanțe mai bune în comparație cu algoritmul tradițional cu dublu prag.

Capitolul 5 va descrie o nouă metodă SS cooperativă în care SU utilizează tehnica de detectare a energiei cu prag triplu și nodul centrului de fuziune, care ia o decizie finală folosind o procedură simplă de vot. Vor fi explicate și efectele regulii de vot FC asupra performanței detectării cooperative SS. Un mecanism de control adaptiv pentru pragul intermediar de detectare în fiecare SU va fi utilizat pentru a reduce probabilitatea unei erori generale în determinarea unei decizii.

Capitolul 6 va prezenta cele mai importante protocoale de acces multiplu cu diviziune de cod utilizate în rețelele 5G și 6G în contextul standardizării 3GPP au fost explicate la un nivel înalt. Protocoalele NOMA permit mai multor utilizatori să partajeze simultan aceeași resursă de spectru. Acest lucru duce la dezvoltarea unei rețele de comunicații fără fir (5G, 6G).

Capitolul 7 va descrie mai mulți algoritmi ED necooperativi, precum CED, ACED, A3EED și va propune un AAED îmbunătățit, cu un prag de detecție adaptiv, care va fi demonstrat ca fiind metode SS importante pentru sistemele radio cognitive. Investigarea performanței de detecție se va face prin derivarea teoretică a expresiilor analitice și prin simulări pentru acești algoritmi. Aceste rezultate vor arăta că algoritmul AAED propus reduce probabilitatea de eroare de decizie mai mult decât alternativele.

Capitolul 8 include un rezumat al rezultatelor obținute în timpul cercetării doctorale. De asemenea, va descrie contribuțiile originale și, în final, va fi ilustrată o discuție despre direcțiile potențiale pe care le-ar putea lua dezvoltarea ulterioară.

Capitolul 2

Sistem oportunist de acces la spectru și rețele

Radioul cognitiv prezintă ideea utilizării fără licență a benzilor de frecvență radio licențiate. Studiile recente de utilizare a spectrului au arătat oportunități în frecvență, timp și spațiu, care au inspirat dezvoltarea radioului cognitiv. Radioul cognitiv în sistemele primare necesită detectarea spectrului pentru a detecta comunicațiile cu utilizatorul principal. Pentru a fi mai precis, spectrul rețelei primare planificate în funcție de frecvență a fost verificat abordând lacunele din spectrul geografic. Rata de realizare a sistemului CR este considerată una de măsurare a performanței acestuia.

2.1 Sisteme și rețele radio cognitive

2.1.1 Principiul rețelelor radio cognitive

Spectrul radio este o resursă guvernamentală utilizată de emițătoarele radio, cunoscute și ca utilizatori primari [4]. Datorită benzii de alocare a distribuției fixe, unele intervale de frecvență sunt în prezent saturate, în timp ce altele nu sunt utilizate. Calitatea slabă a semnalului în benzile supraaglomerate și subutilizarea spectrului rămas sunt consecințele utilizării ineficiente a spectrului, deoarece spectrul radio este subutilizat, există lacune în acoperire cunoscute sub numele de găuri de spectru. Cu toate acestea, doar un procent semnificativ din spectru este într-adevăr utilizat la un anumit moment. Utilizatorului secundar fără licență i se permite să utilizeze spectrul în anumite momente și locații. Radioul cognitiv este responsabil pentru controlul efectuării acestui tip de atribuire dinamică.

2.1.2 Funcționarea radioului cognitiv

CR este un sistem de comunicații fără fir auto-cunoaștere, conștient de mediu și determinat. Modifică cogniția CR ca răspuns la variațiile statistice ale stimulilor RF de intrare. Acest lucru se realizează prin ajustarea unui număr de parametri de operare, cum ar fi puterea de transmisie, frecvența purtătoarei și strategia de modulație în timp real. CR are, de asemenea, capacitatea de a se adapta și de a învăța din mediul înconjurător [5].

2.1.3 Arhitectura radio cognitivă

CRN-urile sunt adesea împărțite în două categorii distincte: utilizatori primari (PU) și utilizatori secundari (SU). În proiectarea rețelei principale, utilizatorilor li se acordă acces la benzile de spectru licențiate. Sistemul este format din utilizatorii principali și stațiile de bază [6]. Orice goluri din rețeaua primară vor fi completate de rețeaua secundară (radio cognitiv). Acest sistem constă dintr-o stație de bază radio cognitivă și un utilizator suplimentar (un utilizator CR).

2.1.4 Caracteristici și funcționalitate radio cognitivă

Conceptul de ciclu radio cognitiv se referă la varietatea de acte efectuate de un CR, precum și la modul în care interacționează cu mediul radio înconjurător. Un alt nume pentru un ciclu radio cognitiv este un ciclu de cogniție și descrie procesul prin care un CR identifică posibilitățile din spectru, elaborează strategii pentru a-l adapta, ia o decizie și apoi ia măsuri pentru a accesa spectrul [7].

2.1.5 Aplicații ale radioului cognitiv

Utilizarea CR ca strategie de rezolvare a acestei probleme câștigă din ce în ce mai mult sprijin. Următoarele exemple de aplicație arată cum CR contribuie la mediu [8]; adaptarea mediului înconjurător este ceea ce a făcut CR renumit în domeniul comunicațiilor. CR oferă mai multe beneficii pentru o varietate de industrii, inclusiv sectorul comercial, armata, administrația publică și securitatea.

2.1.6 Acces dinamic la spectru

Au o mulțime de alocare a spectrului care nu este folosită din cauza modului în care este alocat. Golurile albe sau găurile de spectru descriu intervalele de frecvență neocupate [9]. DSA este o metodă inovatoare de partajare a spectrului. Aceasta umple porțiunile neutilizate ale spectrului radio pentru a crește capacitatea și a reduce deficitul.

2.1.7 Captarea spectrului pentru rețele fără fir

În ciuda dezvoltării rapide a tehnologiilor de comunicații fără fir, cererea de spectru crește mai rapid din cauza DSA; radioul cognitiv este o opțiune practică pentru a face față deficitului de spectru. Un CR trebuie să îndeplinească trei pași pentru a comunica oportunist: detectarea spectrului, captarea spectrului și comunicarea. În rețelele dinamice de partajare a spectrului, CR-urile trebuie să îndeplinească SS o sarcină specializată de procesare a semnalului [5].

2.1.8 Tehnici de detectare a spectrului

Există câteva moduri diferite de a detecta spectrul electromagnetic, dar toate pot fi clasificate în trei categorii: metoda de detectare a transmițătorului primar, metoda de detectare bazată pe interferențe și metoda de detectare prin cooperare [10],[11].

- **Detectare energie:**

Strategia ED este utilizată pe scară largă pentru detectarea spectrului, datorită simplității sale în calcul, implementare și independență față de informațiile anterioare despre semnalul PU. Pentru a evalua dacă un semnal PU este activ sau nu, trebuie doar să comparăm semnalul de energie primit cu un prag predeterminat [10].

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \sum |Y(f)|^2 \geq \lambda \dots \dots H_1 \\ \text{otherwise } \dots \dots \dots H_0 \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

- **Detectarea caracteristicilor ciclostaționare:**

Există câteva aspecte ale transmisiilor fără fir, cum ar fi frecvența purtătoare, tipul de modulație și durata simbolului, care au proprietăți ciclostaționare. La nivelul utilizatorului cognitiv, analiza ciclostaționară poate fi utilizată pentru a determina caracteristicile distinctive ale unei emisiuni radio date.

$$R_y^{(\alpha)}(\tau) = \mathbb{E} [y(t + \tau) y^*(t - \tau) e^{-j2\pi\alpha t}] \quad (2.2)$$

- **Detectarea filtrului potrivită:**

Filtrarea potrivită este o metodă de detectare foarte utilă, deoarece poate crește SNR-ul semnalului primit. Se poate vedea cum sunt folosite canalele de filtrare potrivite pentru SS. În CR, filtrul potrivit este cunoscut și ca detector coerent [10].

2.1.9 Detectare prin detecție cooperativă

În CSS, multe SU lucrează împreună pentru a crește performanța de detectare prin combinarea informațiilor lor de detectare. O metodă CSS poate reduce semnificativ probabilitatea unei detectări ratate și a unei alarme false prin utilizarea diversității multiutilizator și a canalelor de estompere independente [12]. În plus, există trei forme distincte de CSS, delimitate de gradul de centralizare, distribuție sau relație de cooperare în diseminarea informațiilor de detectare între SU-urile participante într-o rețea. [13],[14],[15].

- **Detecție centralizată a spectrului de frecvențe**

Pentru a detecta prezența unui PU, fiecare SU își efectuează propria detecție spectrală și ia o decizie bazată pe propriile date locale de sensibilitate. Apoi, toți utilizatorii cognitivi își transmit deciziile într-o locație centrală [12].

- **Detectie cooperativă distribuită a spectrului**

CSS distribuit este mai ieftin decât CSS centralizat, deoarece nu are nevoie de un centru de date central. Chiar dacă algoritmul distribuit pentru CSS poate fi rulat într-o singură trecere, poate fi nevoie de mai multe treceri pentru a conveni dacă există sau nu PU.

- **Detectie cooperativă a spectrului asistată de releu**

Cercetătorii au analizat detectarea cooperativă asistată de releu, care se întâmplă atunci când mulți utilizatori cognitivi folosesc un algoritm de detector pentru a găsi canalul primar licențiat și apoi raportează constatările la un FC central. [12].

2.1.10 Fuziunea datelor

O altă parte a CSS este fuziunea datelor, care este procesul de combinare a datelor de la diferiți senzori locali, astfel încât FC să poată testa ipotezele. Fuziunea datelor poate fi realizată fie într-o metodă soft, fie într-o metodă hard, în funcție de lățimea de bandă disponibilă [1].

- **Combinatie moale**

Utilizatorii CR au opțiunea de a trimite fie toate mostrele locale de detectare, fie toate statisticile locale de testare pentru a lua o decizie ușoară. Similar cu combinarea soft, combinarea soft cuantizată permite utilizatorilor CR să cuantizeze rezultatele detectării și difuzării locale.

- **Combinare dificilă**

Este foarte ușor și convenabil să transmiteți decizia de un bit pentru o combinare grea după ce deciziile locale binare au fost raportate centrului de fuziune. Regulile standard de fuziune includ AND, SAU și majoritate.

$$Q_f = Prob \{ H_1 | H_0 \} = \sum_{l=k}^N \binom{N}{l} P_f^l (1 - P_f)^{N-l} \quad (2.4)$$

$$Q_d = Prob \{ H_1 | H_1 \} = \sum_{l=k}^N \binom{N}{l} P_d^l (1 - P_d)^{N-l} \quad (2.5)$$

2.1.11 Probleme și provocări privind detectarea spectrului

Tratându-se cu mai multe surse de incertitudine care ar putea rezulta din lucruri precum incertitudinea canalului, incertitudinea zgomotului și limita interferenței de detectare, este unul dintre aspectele provocatoare ale SS pentru CRN care poate fi abordat. [12],[14].

2.2 Tehnologie de acces multiplu și rețea radio cognitivă

Această secțiune se concentrează pe ideea abordărilor de acces multiplu non-ortogonal (NOMA) pentru rețelele wireless iminente de generația a cincea (5G). Toate rețelele celulare existente utilizează tehnici de acces multiplu ortogonal (OMA), cum ar fi accesul multiplu cu diviziune în timp (TDMA), accesul multiplu cu diviziune în frecvență (FDMA) sau accesul multiplu cu diviziune în cod (CDMA), ca parte a celuilalt. Cu toate acestea, niciuna dintre aceste metode nu este capabilă să satisfacă cerințele exigente ale viitoarelor sisteme de acces radio. NOMA este fundamental diferit. Fiecare utilizator NOMA operează în aceeași bandă și timp, distins prin nivelul de putere. În NOMA, codarea de suprapunere la transmițător este folosită pentru a separa utilizatorii pe canalele uplink și downlink [38].

2.2.1 O rețea radio cognitivă bazată pe NOMA

În acest scenariu, intervenția utilizatorului secundar este în mod clar dăunătoare utilizatorului principal; prin urmare, intervenția secundară a utilizatorului trebuie limitată. Prima soluție este tehnologia CR, care poate selecta canalele în mod autonom fără interferența utilizatorului (overlay CR) sau la temperaturi de intervenție specifice (underlay CR). NOMA este o alternativă mai promițătoare la accesul multiplu ortogonal (OMA), deoarece permite mai multor utilizatori să transmită semnale folosind același interval de timp și purtătoare. Ambele tehnologii menționate mai sus pentru a spori eficiența spectrală bazată pe partajarea spectrului ar putea fi o problemă de siguranță a comunicațiilor.

2.2.2 Conceptul de acces multiplu non-ortogonal

Schema de modulare folosită în acest studiu este OFDM, în timp ce schema de acces multiplu utilizată este NOMA. În rețelele tradiționale 4G, utilizarea OFDMA este folosită ca o extensie naturală a OFDM de multiplexare a diviziunii de frecvență ortogonale. Această tehnică implică alocarea de informații pentru utilizatori individuali unor subseturi specifice de subpurtători. În schimb, NOMA permite utilizarea tuturor subpurtătorilor de către fiecare utilizator. [Figure 2.14](#) ilustrează schema de alocare a spectrului pentru tehnicile OFDMA și NOMA în contextul găzduirii a doi utilizatori. Conceptul precedent este aplicabil atât transmisiei pe legătura ascendentă, cât și transmisiei pe legătura descendentă [28].

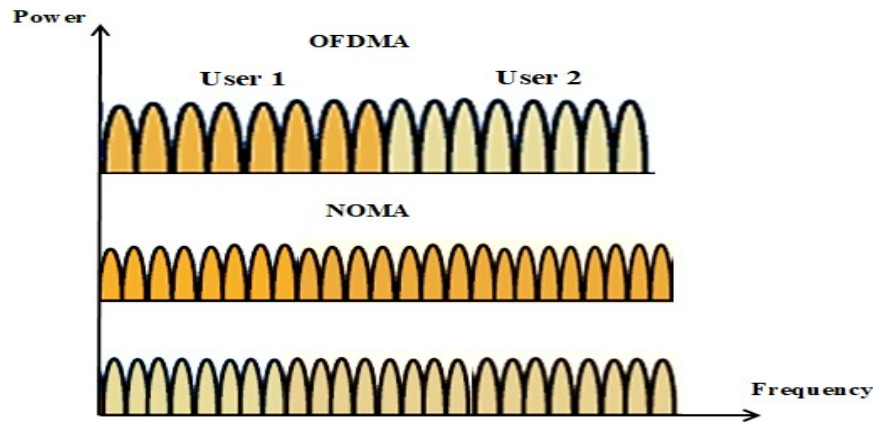


Figure 2.14 Partajarea spectrului OFDMA și NOMA cu doi utilizatori.

2.2.3 NOMA pentru legătura descendentă

Stația de bază din legătura descendentă NOMA suprapune formele de undă informaționale consumatorilor pe care îi deservește. SIC este utilizat de fiecare echipament de utilizator (UE) pentru detectarea semnalului. UE-urile BS și K, toate echipate cu receptoare SIC. Se presupune în întreaga rețea că UE1 este cel mai apropiat UE de BS și că UE K este cel mai îndepărtat. Unul dintre cele mai dificile aspecte ale implementării SIC de anulare succesivă a interferenței este determinarea modului de distribuire a puterii între diferite forme de undă de informații. Când se utilizează legătura descendentă NOMA, UE care este cel mai îndepărtat de BS primește cea mai mare putere, în timp ce UE care este cel mai aproape de BS primește cea mai mică.

2.2.4 NOMA pentru uplink

Implementarea NOMA pentru legătura în sus este puțin diferită de implementarea pentru legătura în jos. O rețea care utilizează NOMA pentru a multiplexa echipamentele K utilizatorului în uplink. De data aceasta, BS folosește SIC pentru a diferenția între semnalele care vin de la utilizatori.

2.2.5 Imperfecțiunea în NOMA

Tot materialul anterior s-a bazat pe presupunerea că receptorul SIC are anulare perfectă. Scăderea semnalului decodificat din semnalul primit fără a face greșeli este o provocare în practică pentru SIC. Aici, aruncați o privire la ideea NOMA din nou, de data aceasta luând în considerare o greșală de anulare într-un receptor SIC. Amintiți-vă că receptorul SIC decodifică iterativ semnalele informaționale pe rând. După ce un semnal a fost decodat utilizând SIC, formele de undă individuale pot fi recreate și scăzute din semnalul primit. Este posibil să finalizați acest proces fără a face o greșală în teorie, dar în practică, sunt de așteptat greșeli datorate anulării.

Capitolul 3

Detecție cooperativă a spectrului cu mai mulți utilizatori secundari

Sentirea spectrului de spectru cooperativ pentru rețelele CR implică SU-uri mai oportuniste care se ajută reciproc să detecteze prezența semnalului transmis de un PU licențiat. Printre metodele cooperante de detectare a spectrului, tehnica Amplify and Forward (AF) presupune că SU-urile transmit semnalele primite fără procesare suplimentară.

3.1 Detecție cooperativă a spectrului pentru CR prin utilizarea retransmisie secvențială cu trei SU

Aceasta modifică o metodă de detectare cooperativă bazată pe releu Amplifică și înainte (AF) care a fost introdusă în [16]. De fapt, această lucrare este o continuare a unei cercetări anterioare efectuate în [17], unde asta a extins numărul de SU de la două (în [16]) la trei. Cu toate acestea, în [17], care a adăugat pur și simplu un SU, care funcționează independent și în paralel cu SU-urile originale. Chiar și în [17] a demonstrat că SU suplimentar crește performanța de detecție prin exploatarea diversității spațiale.

3.2 Metoda de detecție cooperativă cu retransmisie secvențială

3.2.1 Detectare cooperativă cu retransmisie secvențială pentru 3 SU

Aceasta este luând în considerare un mediu CR cu trei SU, notate ca S1, S2 și S3, așa cum este ilustrat în Figure 3.8. Schema include, de asemenea, un receptor CR comun, iar cele trei SU au scopul de a detecta semnalul unui PU notat cu P.

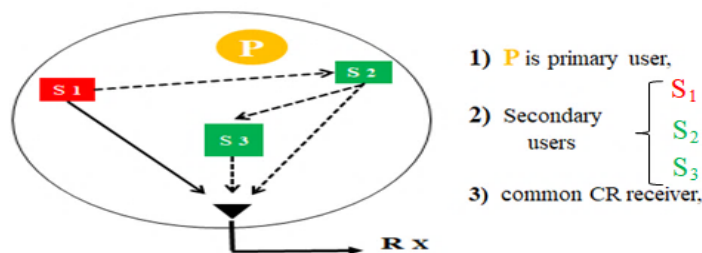


Figure 3.8 Cooperare de retransmisie secvențială în rețele radio cognitive.

Figure 3.9 ilustrează un model de transmisie TDMA care utilizează un protocol AF pentru a transmite semnale SUs în intervale de timp secvențiale [16], [17].

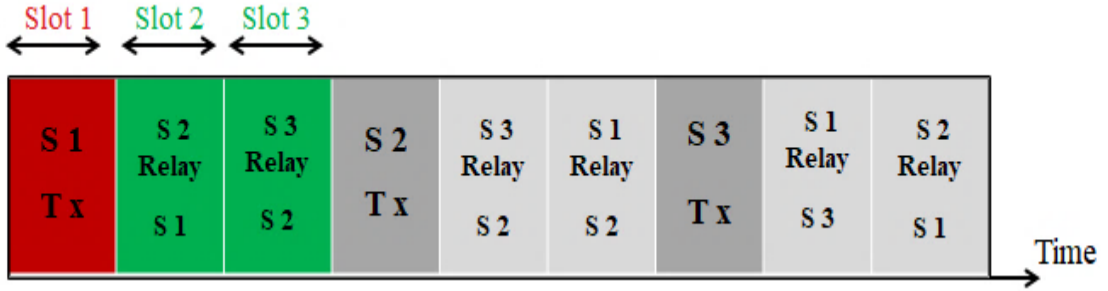


Figure 3.9 Tehnicile de retransmisie secvențială cu trei SU cadru TDMA.

Analizați toate semnalele transmise de cele trei SU și performanța schemei lor de detectare a spectrului AF cooperant.

$$y_2 = \theta h_{p2} + \alpha h_{12} + w_2 \quad (3.22)$$

$$E \{ |ah_{12}|^2 \} = PG_{12} \quad (3.23)$$

$$E \{ |y_2|^2 \} = \theta^2 P_2 + PG_{12} + 1 \quad (3.24)$$

Pentru semnalul primit Y, detectorul de energie calculează statistica $T(Y) = |Y|^2$.

$$T(Y) = |w|^2 \sim \exp [\sigma_w^2 (\sigma_w^2)^2] \quad (3.37)$$

Să luăm în considerare $F_k(t)$ ca funcție de densitate cumulativă (CDF) pentru o variabilă aleatorie $T(Y)$, într-una din ipoteze H_k , Unde $k=0$ or $k=1$. Prin urmare, CDF-ul lui $T(Y)$ pentru H_0 se poate scrie astfel:

1. Primul caz: Pentru H_0 , ($\theta = 0$), cel CDF de $T(Y)$ este dat de :

$$\begin{aligned} F_0(t) &= \int_0^\infty \int_0^\infty P(T(Y) > t | H_0, h_1, h_2) pdf(h_1) pdf(h_2) dh_1 dh_2 \\ &= \int_0^\infty \int_0^\infty e^{-\frac{t}{2 + \tilde{\beta}_3^0 h_1 + \beta_2^0 f(h_1 + h_2) + \tilde{\beta}_2^0 \tilde{\beta}_3^0 h_1 h_2}} e^{-(h_1 + h_2)} dh_1 dh_2 \\ &= \varphi(t; 2, \tilde{\beta}_3^0, \tilde{\beta}_2^0, \tilde{\beta}_2^0 \tilde{\beta}_3^0) \end{aligned} \quad (3.39)$$

2. Al doilea caz : Pentru H_1 ($\theta = 1$):

$$F_1(t) = \varphi[t; 4P_1 + 2, \tilde{\beta}_3(P_3 + 1), \beta_2^0 (P_2 + 1), \tilde{\beta}_2 \tilde{\beta}_3 (P_2 + 1)] \quad (3.40)$$

Detecție cooperativă și non-cooperativă: Este posibil ca S1 să fie detectat în combinație cu S2 și S3:

$$P_c^{(1)}(t) = \varphi[\lambda; 4P_1 + 2, \tilde{\beta}_3(P_3 + 1), \beta_2^0(P_2 + 1), \tilde{\beta}_2 \tilde{\beta}_3(P_2 + 1)] \quad (3.41)$$

$$P_n^{(1)}(t) = \alpha^{1/(P_i+1)} \quad i \in \{1,2,3\} \quad (3.43)$$

3.2.2 Modelul de canal și relația dintre câștigurile de canal ale SU-urilor

Ca și în [17], aceasta va considera pierderea traiectoriei prin legea puterii ca model de canal în sistemul CR cooperativ. Prin urmare, semnalul primit y poate fi scris ca:

$$y = hx = \frac{x}{\sqrt{d^n}} \quad (3.44)$$

După cum a fost introdus în [17], topologia utilizată de schema cooperativă din Figure 3.8 este specificat în întregime de distanțele dintre toți utilizatorii (PU și trei SU). Această topologie și toți parametrii de configurare sunt descrise în Figure 3.10. Pentru acest mediu care face niște presupuneri simplificatoare.

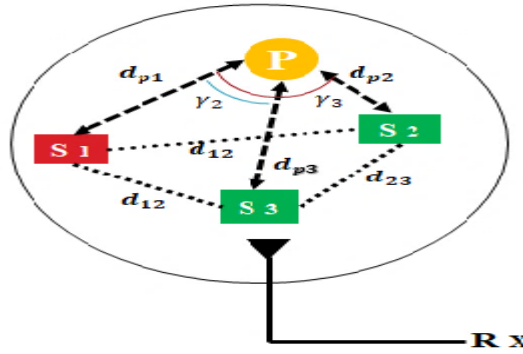


Figure 3.10 Topologie de rețea folosită pentru detectarea spectrului de către SU.

În acest caz, cunoscând valorile distanțelor dintre PU, cele trei SU și valoarea unghiurilor γ_2 and γ_3 care poate calcula folosind teorema generalizată a lui Pitagora [17].

$$d_{pi}^2 + d_{p1}^2 - 2d_{p1}d_{pi} \cos \gamma_2 = d_{1i}^2 \quad i \in \{1,2\} \quad (3.45)$$

$$d_{pi} = P_i^{-1/n}, \quad i \in \{1, 2, 3\} \quad (3.46)$$

În mod similar, canalul câștigă între utilizatori S_i și S_j sunt:

$$d_{ij} = G_{ij}^{-1/n} \quad \forall i,j \in \{1, 2, 3\} \quad i \neq j \quad (3.47)$$

3.3 Performanță de detectare prin cooperare

Aceasta evaluează probabilitatea de detectare pentru S_1 , care folosește celelalte două SU-uri (S_2 și S_3) ca relee. Probabilitatea de detectare la S_1 prin cooperare cu S_2 și S_3 este estimată atât teoretic folosind expresia (3.41) cât și prin intermediul simulărilor Monte-Carlo. Pentru a avea o comparație corectă cu schema propusă în [17] care utilizează aceleași valori ale parametrilor sistemului pentru testarea performanței [18]: $P_1 = \tilde{P} = P = 1W$, $\gamma_2 = \pi/6$, $\gamma_3 = \pi/8$, $P_2, P_3 \in [0, 50]$ dB, $\alpha = 0.1$, $n = 3.5$.

3.4 Rezultatele simularii

În [Figure 3.11](#), se observă în graficul 3D, probabilitatea de detectare necooperativă nu depinde de puterea recepționată a semnalului PU la S_2 și S_3 . Totuși scenariul cooperativ îl depășește pe cel necooperativ ($P_c^{(1)} > P_n^{(1)}$). Trebuie remarcat faptul că $P_c^{(1)}$ determinată pentru schema actuală este asimetrică (în timp ce în [\[17\]](#), plotul 3D este simetric) oferind o performanță mai bună cu P_3 (puterea de S_3) decât cu P_2 . Prin urmare, pentru valori mici ale P_3 (S_3 este departe de PU, $P_3 < 10$ dB) schema cooperativă are rezultate mai slabe decât schema necooperativă. Pe de altă parte, dacă P_2 este scăzut ($P_2 < 10$ dB), performanța schemei cooperativă este totuși mai bună decât performanța celui necooperativ. Această asimetrie a performanței de detecție se explică prin faptul că S_3 transmite semnalul de S_2 , în timp ce S_2 detectează direct semnalul de la PU. Deci, retransmiterea secvențială (S_2 urmată de S_3) oferă o replică mai puternică (amplificată) a semnalului PU. Principalul avantaj al schemei propuse în lucrarea curentă este acela pentru valori mari ale ambelor P_2 și P_3 , depășește întotdeauna schema necooperativă.

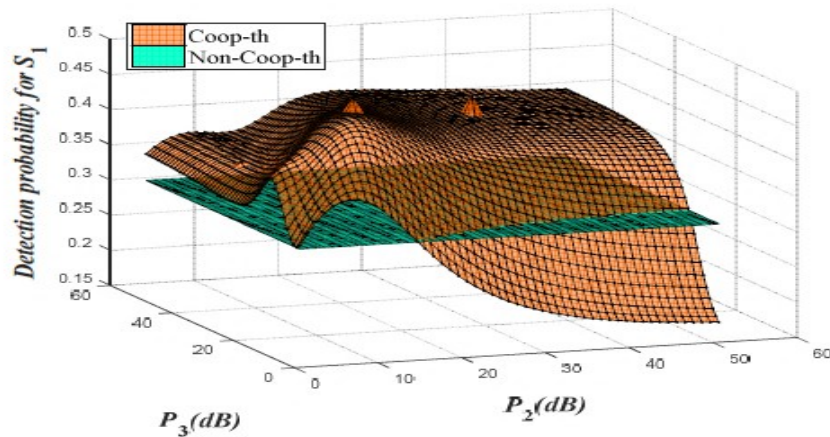


Figure 3.11 Detecția teoretică cooperativă și necooperativă Probabilitate pt S_1 ca o funcție a P_2 și P_3 .

Pentru a sublinia trăsăturile asimetriche ale performanței de detectare cooperativă ilustrate în [Figures 3.12-3.15](#) valorile de $P_c^{(1)}$ and $P_n^{(1)}$ pentru diferite valori ale P_2 și P_3 . În [Figures 3.12](#) și [3.15](#) care este reprezentat $P_c^{(1)}$ ca o funcție a P_2 pentru două valori fixe ale P_3 , 10 dB și 40 dB, respectiv. Pentru o valoare scăzută de P_3 , care denotă o putere slabă recepționată pentru nodul principal de retransmisie S_3 , schema propusă are performanțe mai slabe decât schema din [\[17\]](#), așa cum este descris în [Figure 3.12](#). Aici, valoarea maximă a $P_c^{(1)}$ pentru ambele scheme (schema propusă și schema din [\[17\]](#)) este atins pentru $P_2 = P_3 = 10$ dB. Pe de altă parte, când valoarea de P_3 este larg (vedea [Figure 3.13](#)), schema propusă depășește schema din [\[17\]](#). Pe lângă faptul că schema propusă depășește și schema necooperativă, arată și o valoare a probabilității de detecție care este mai mare decât valoarea maximă a schemei în [\[17\]](#), pentru orice valoare de P_2 . În mod similar, în [Figures 3.14](#) și [3.15](#), care a completat $P_c^{(1)}$ ca o funcție a P_3 pentru $P_2 = 10$ dB și $P_2 = 40$ dB, respectiv. În [Figure 3.14](#) schema propusă funcționează aproape

la fel ca și schema din [17]. După cum sa explicat mai sus, și comparând rezultatele de la Figures 3.12 și 3.14 schema propusă depinde mai mult de nodul de retransmisie S_3 decât pe S_2 . În Figure 3.15, se arată că atunci când valoarea lui P_2 este mare și de asemenea, $P_3 > 15\text{dB}$, schema propusă depășește în mod clar schema din [17].

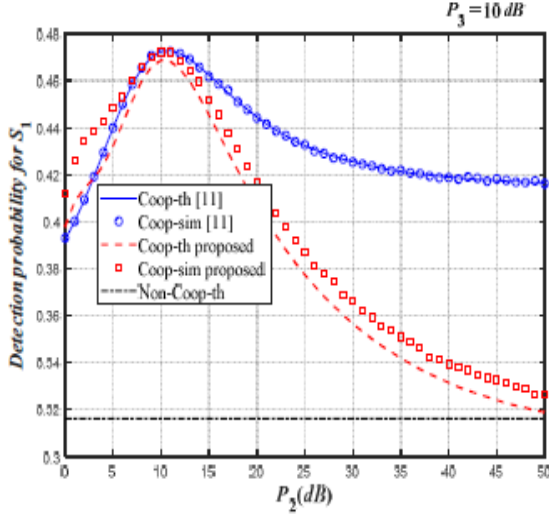


Figure. 3.12 Cooperative și non-cooperative S_1 detectare versus P_2 , $P_3=10$ dB.

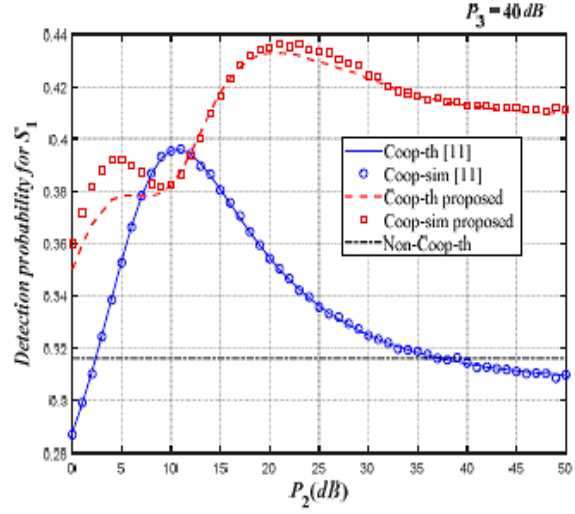


Figure. 3.13 Cooperative și non-cooperative S_1 detectare versus P_2 , $P_3=40$ dB.

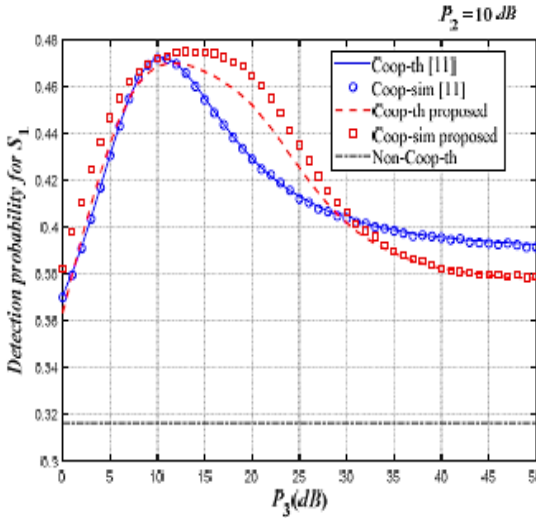


Figure. 3.14 Cooperative și non-cooperative S_1 detectare versus P_3 , $P_2=10$ dB.

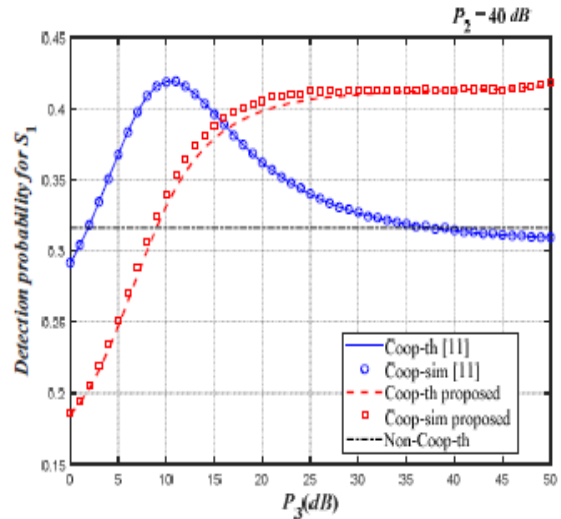


Figure. 3.15 Cooperative și non-cooperative S_1 detectare versus P_3 , $P_2=40$ dB.

De asemenea, pentru schema propusă care a observat în Figures 3.12-3.15 o mică diferență între valorile probabilității de detecție estimate teoretic și, respectiv, prin simulare; cu toate acestea, rezultatele simulării sunt întotdeauna mai bune decât cele teoretice corespunzătoare. În cele din urmă, este important de menționat că a obținut rezultate similare pentru diferite valori ale unghiurilor γ_2 și γ_3 .

Capitolul 4

Tehnici de prag în medii radio cognitive

Aceasta modifică metoda de detectare a energiei medii (MED) pentru detectarea spectrului cu prag dublu. Pragul adaptiv al testului MED reduce șansa probabilității erorilor de decizie finală (DEP). Simulările arată că detecția adaptivă a spectrului depășește tehnica dublu prag la orice ciclu de funcționare [19].

4.1 Prag adaptiv pentru metoda pragului dublu

Conform CED, fiecare SU este responsabil pentru luarea propriilor decizii locale prin compararea valorii sale de observație cu o valoare de prag predeterminedă λ . Acest lucru este ilustrat în [Figure 4.2](#).

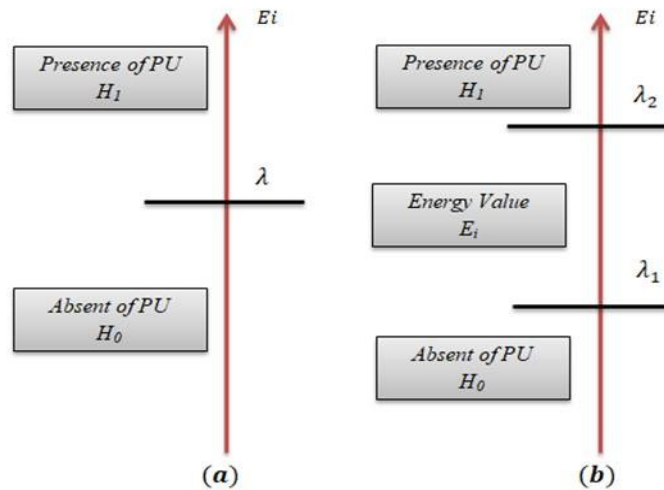


Figure 4.2 (a) metoda CED și (b) detectarea energiei cu prag dublu.

4.2 Abordare prag cu adaptativ alternativ

Au fost propuse și discutate un singur detector de energie adaptivă și un detector de energie cu dublu prag. Utilizarea unui prag dublu permite utilizarea optimă a periodicității activității dispersate exponențial a PU în domeniul temporal. Timpul petrecut cu detectarea a fost redus la minimum la cele două modele care au venit mult mai târziu.

4.3 Algoritmi de detectare a energiei cu prag dublu

Pe baza acestor ipoteze, ED trebuie să aleagă între două scenarii concurente: ipoteza ocupată H_1 (prezența atât a semnalului PU, cât și a zgomotului), și ipoteza inactivă H_0 (prezența doar a zgomotului) [20]. În ipoteza unui CED cu un singur prag, un prag de detectare λ de P_d și P_{fa} poate fi calculat cu utilizarea funcției Q canonice, ca în [3]:

$$P_{fa}^{CED} = Prob[E_i > \lambda | H_0] = Q\left(\frac{\lambda - N \sigma_n^2}{\sqrt{2N} \sigma_n}\right) \quad (4.5)$$

$$P_d^{CED} = Prob\{E > \lambda | H_1\} = Q\left(\frac{\lambda - N(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)}{\sqrt{2N} (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)}\right) \quad (4.6)$$

În algoritmul CED, una dintre aceste două probabilități este considerată țintă, iar pragul este extras din ecuația corespunzătoare, (4.1) sau (4.2) și utilizat pentru testul statistic în timpul fiecărei intervale de detectare i .

$$\begin{aligned} \lambda_H &= \left[\sqrt{2N} Q^{-1}(P_{fa,target}^{CED}) + N \right] \sigma_n^2 \\ \lambda_L &= \left[N - \sqrt{2N} Q^{-1}(P_m) \right] (\sigma_s^2 + \sigma_n^2) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Unde probabilitatea de detectare ratată este dată de $P_m^{CED} = 1 - P_d^{CED}$, λ_H este pragul de valoare ridicată și λ_L este, respectiv, pragul de valoare scăzută. Având în vedere aceste notații, se generează detectarea corectă a prezenței semnalului PU $q_i = 1$, dacă $E_i \geq \lambda_H$, iar detectarea corectă a absenței semnalului PU generează $q_i = 0$, dacă $E_i < \lambda_L$. De fapt, algoritmul 2FT-CED [21] nu furnizează nicio decizie la SU pentru regiunea de confuzie, când $\lambda_L \leq E_i < \lambda_H$.

4.4 Fix algoritm cu dublu prag folosind detectarea convențională a energiei medii

În această lucrare de cercetare [22], a propus un algoritm de detectare cu prag dublu care utilizează un test suplimentar pentru regiunea de confuzie. Acest test suplimentar implică testarea energiei medii estimate pe L sloturi de detecție consecutive, unde ultimul slot este cel curent i . $\bar{E}_i = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L E_{i-L+j}$. Trebuie remarcat faptul că pentru testarea regiunii de confuzie este necesar un nou prag de decizie, care ia o valoare intermediară λ_I , astfel încât $\lambda_L \leq \lambda_I \leq \lambda_H$.

4.5 Detecție convențională a energiei cu prag dublu fix propusă cu un prag adaptiv de detectare a energiei medii

Având în vedere că valoarea fixă a pragului intermediar λ_I este restrictivă, prima consideră o variație liniară a λ_I între valori λ_L and λ_H , respectiv:

$$\lambda_I = (1 - \delta_\lambda)\lambda_L + \delta_\lambda\lambda_H = \lambda_L + \delta_\lambda(\lambda_H - \lambda_L) \quad (4.13)$$

Aceasta a folosit DEP ca măsură de performanță pentru a identifica cea mai bună valoare pentru λ_I în (4.13) [23]:

$$P_e(\delta_\lambda, \alpha, \sigma_s^2, \sigma_n^2) = (1 - \alpha)P_{fa}^{2FT-CED-1AT-MED} + \alpha(1 - P_d^{2FT-CED-1AT-MED}) \quad (4.14)$$

Acestea definesc problema de optimizare pentru valoarea pragului intermediar λ_I (sau pentru valoarea de δ_λ) pentru a minimiza DEP [24]:

$$\delta_{\lambda,opt} = \arg \min_{\delta_\lambda} P_e(\delta_\lambda, \alpha, \sigma_s^2, \sigma_n^2) \quad (4.15)$$

Este dificil să se obțină o expresie exactă a pragului optim de decizie λ_I pentru algoritmul adaptiv 2FT-CED-1AT-MED. După cum sa ilustrat anterior în [25] care aleg să determine optimul λ_I valoare prag prin simulare, folosind un algoritm de căutare a forței brute pentru rezolvarea problemei definite în (4.15) [24].

4.6 Rezultatele simularii

Este descrisă metoda de detectare a spectrului 2FT-CED-1AT-MED propusă. Pentru a demonstra performanța algoritmului propus 2FT-CED-1AT-MED, acesta îl va compara cu algoritmi CED cu un singur prag și cu algoritmi 2FT-CMED cu prag dublu fix, folosind aceleași scenarii de testare. Aceasta determină valorile fixe ale celor două praguri λ_H și λ_L utilizând (4.12) De asemenea, valoarea fixă a numărului de sloturi de detectare, utilizată pentru estimarea statisticii testului MED \overline{E}_t la $L = 3$. În [3], s-a arătat că pt $L > 3$ performanța de detectare nu se va îmbunătăți semnificativ. În primul rând, trebuie să verifice convexitatea funcției DEP pentru algoritmul 2FT-CED-1AT-MED în funcție de δ_λ . De exemplu, în Figure 4.4, care reprezintă valoarea DEP pentru cei trei algoritmi ED testați cu $\alpha = 0.3$ și $\text{SNR} = -11\text{dB}$.

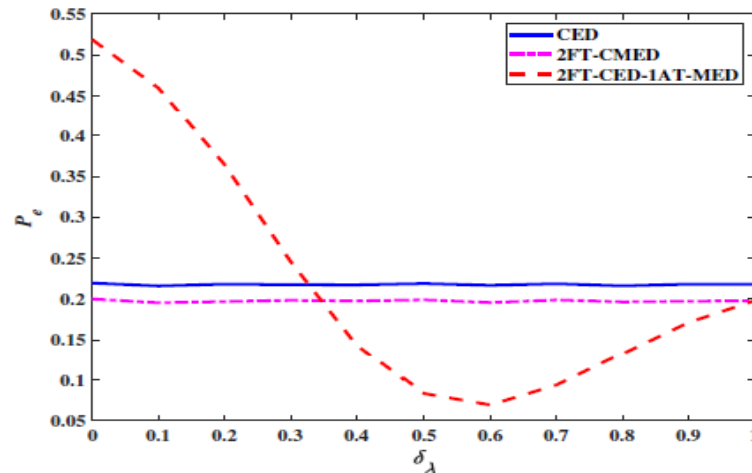


Figure 4.4 Probabilitatea de eroare P_e vs. δ_λ pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.3$, $SNR = -11dB$.

În Figure 4.4, funcția DEP a algoritmului propus 2FT-CED-1AT-MED este convexă, prezentând o valoare minimă pentru $\delta_\lambda \approx 0.6$, care este mult mai mic în comparație cu DEP determinat pentru algoritmi CED și 2FT-CMED. De asemenea, observați că DEP pentru algoritmi CED și 2FT-CMED este constant cu δ_λ deoarece aceștia sunt algoritmi cu valori de prag fix. Cu toate acestea, algoritmul 2FT-CMED are rezultate puțin mai bune decât CED în ceea ce privește DEP. În Figures 4.5-4.7, au trasat aceste rezultate pentru $\alpha = 0.3$, $\alpha = 0.5$, și $\alpha = 0.7$, respectiv. Pentru valori scăzute ale ciclului de lucru, $\alpha \leq 0.5$, care observă că toți cei trei algoritmi ED funcționează la fel pentru valori SNR foarte scăzute și foarte mari. Cu toate acestea, pentru $SNR \in [-20, -6]$ dB, care observă că algoritmul 2FT-CED-1AT-MED propus depășește algoritmi 2FT-CMED și CED cu cel puțin 3dB [19]. De fapt, acest câștig SNR de detecție al algoritmului propus față de algoritmi ED convenționali crește cu α [19]. De fapt, acea notificare în Figure 4.7, pentru $\alpha = 0.7$, valori foarte scăzute ale DEP ale algoritmului propus, care sunt chiar de 2,3 ori mai mici decât DEP pentru algoritmi convenționali.

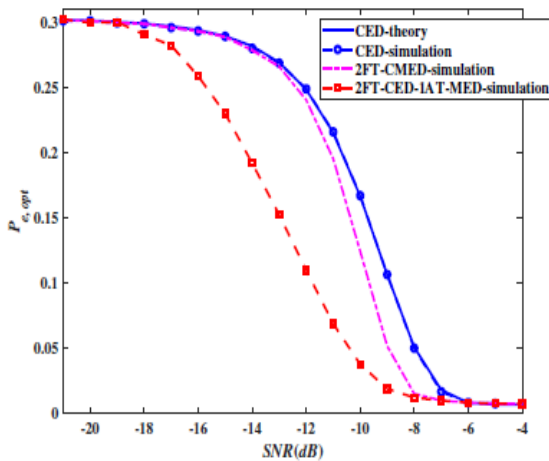


Figure 4.5 Probabilitatea de eroare P_e vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.3$.

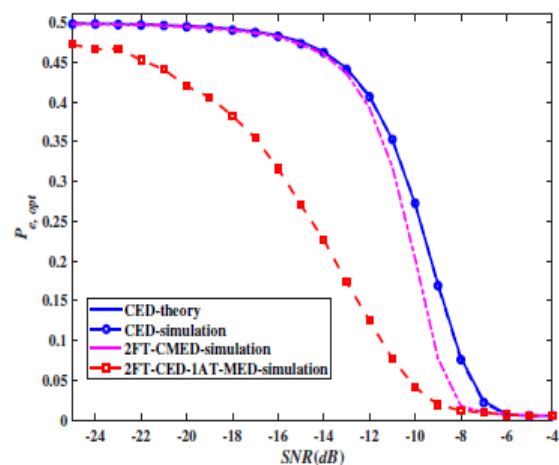


Figure 4.6 Probabilitatea de eroare P_e vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.5$.

În ceea ce privește rezultatele afișate în [Figures 4.5-4.7](#) care au observat, algoritmul ED propus funcționează mult mai bine decât algoritmi convenționali, în special pentru valori SNR scăzute și valori α ridicate.

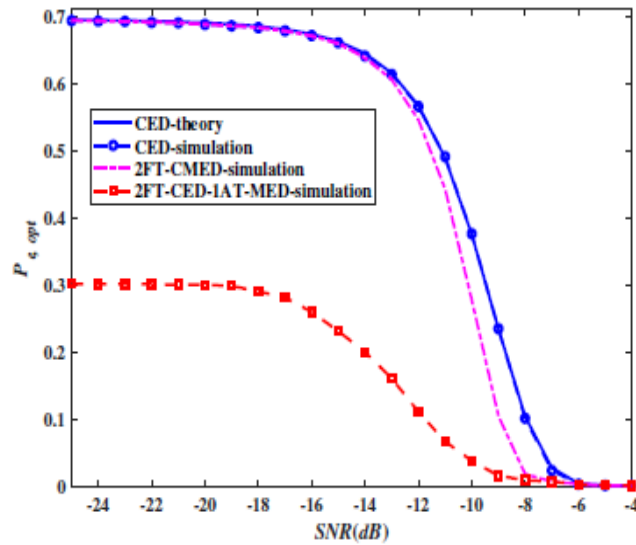


Figure 4.7 Probabilitatea de eroare P_e vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.7$.

În cele din urmă, în [Figures 4.8-4.10](#) care prezintă valorile probabilității corecte de detecție P_d estimate pentru cei trei algoritmi ED. Se utilizează aceleași scenarii de simulare pentru a obține rezultatele anterioare din [Figures 4.5- 4.7](#). În mod similar, algoritmul ED propus observă o creștere semnificativă a P_d cu α . De fapt, estimat P_d valoare pentru algoritmul 2FT-CED-1AT-MED, utilizat pentru a detecta un PU foarte ocupat cu $\alpha = 0.7$, atinge aproape valoarea teoretică maximă pentru orice valoare SNR din intervalul considerat. Așa cum era de așteptat, acestea P_d parcelele sunt în concordanță cu P_e rezulta din [Figures 4.5-4.7](#).

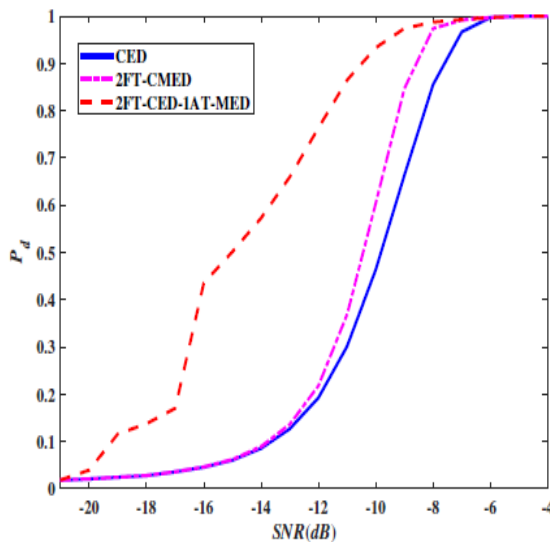


Figure 4.8 Probabilitatea de detectare P_d vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.3$.

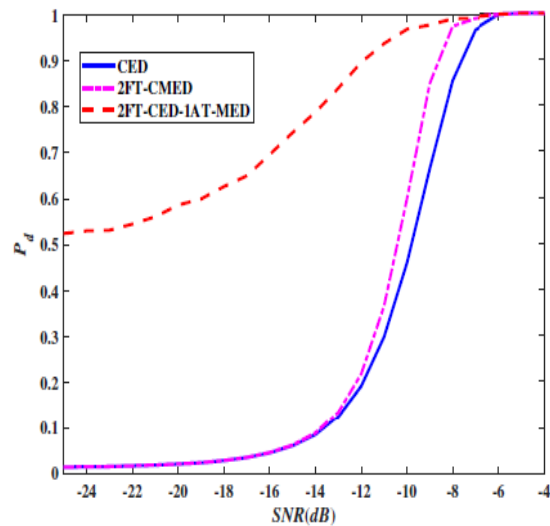


Figure 4.9 Probabilitatea de detectare P_d vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.5$.

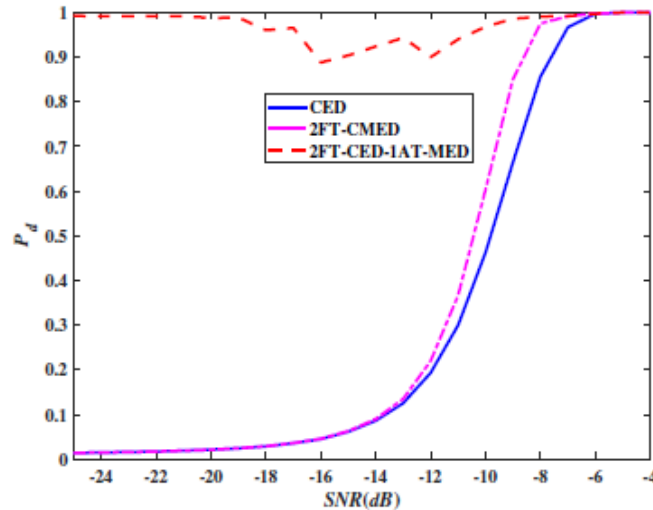


Figure 4.10 Probabilitatea de detectare P_d vs. SNR pentru algoritmi ED, $\alpha = 0.7$.

Capitolul 5

Detectarea energiei cu prag triplu pentru detectarea cooperativă a spectrului

O altă componentă a rețelei CR este FC care colectează informațiile individuale de detectare de la SU-uri și pe baza acestora ia decizia finală cu privire la prezența sau absența semnalului PU. Acesta analizează algoritmul cooperativ SS folosind un algoritm ED cu trei prag în fiecare SU și o regulă simplă de vot pentru decizia finală la nodul FC. Aceasta investighează dependența de performanță de detectare a SS în cooperare de regula de vot FC, mecanismul de control adaptiv pentru pragul intermediar de detectare în fiecare SU pentru a minimiza DEP. [26].

5.1 Algoritm cu prag dublu fix folosind detectarea convențională a energiei

Acestea sunt necesare pentru a evidenția o slăbiciune a algoritmului 2FT-CED, și anume că nu oferă o decizie pentru valoarea energiei semnalului recepționat în regiunea dintre pragurile „jos” și „înalt”, cunoscute și sub denumirea de „regiune confuzie”, $\lambda_L \leq E_i < \lambda_H$. Aceasta este o limitare semnificativă a algoritmului care trebuie abordată [27], [19], după cum este ilustrat în Figure 5.1 [22].

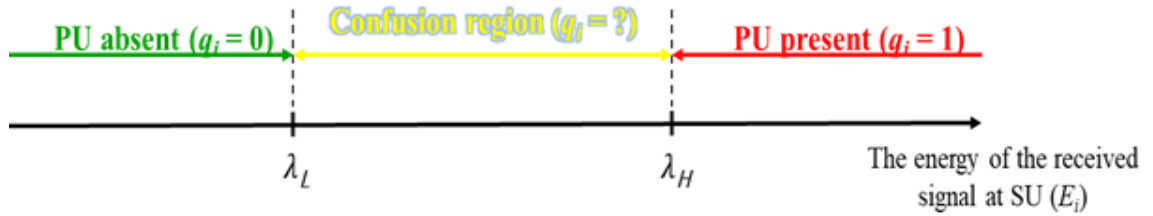


Figure 5.1 Ilustrați tehnică de detectare cu prag dublu fix (2FT-CED).

5.2 treilea prag adaptiv înseamnă detectarea energiei

As shown in [19] and [22], the value of the intermediate threshold can be chosen to maximize a number of performance functions as shown in Figure 5.2.

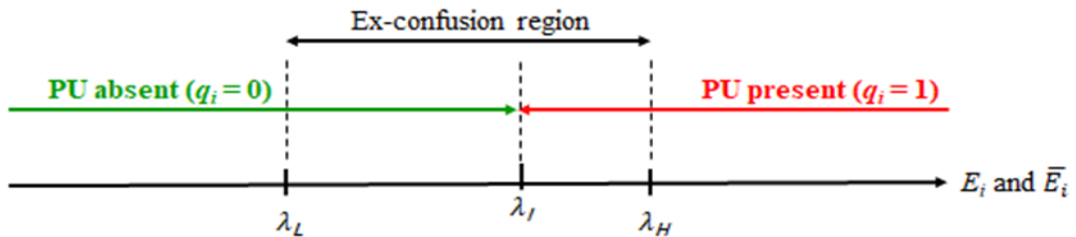


Figure 5.2 Ilustrați CED cu prag dublu fix folosind energia medie (2FT-CMED).

Pentru a atenua problema regiunii de confuzie, un al treilea (intermediar) λ_I se introduce prag între λ_L and λ_H [19],[22]. Această statistică de testare suplimentară (a treia) poate folosi aceeași valoare simplă a energiei din slotul curent (ca CED) sau, pentru o performanță de detectare și mai bună, poate folosi valoarea energiei medii (ME) estimată pentru L sloturi consecutive de detectare, i.e., $\bar{E}_j = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L E_{j+k-L}$. După cum se explică în [19],[22], valoarea pragului intermediar poate fi selectată pentru a optimiza mai multe funcții de performanță. În [20], pragul intermediar pentru testarea ME este setat pentru a îndeplini FAP țintă, $\lambda_I = \lambda_H$, și astfel algoritmul folosește două valori de prag pentru trei teste și a fost numit algoritmul 2FT-CED folosind 2FT-CMED. În [19] care a propus utilizarea funcției DEP pentru controlul adaptiv al valorii λ_I .

5.3 Algoritmi cooperativi de detectare a energiei

Analizați performanța de detectare a algoritmilor de prag multiple introduși anterior, inclusiv algoritmul 2FT-CED-1AT-MED [19], într-un scenariu de cooperare. Astfel, luați în considerare prezența SU-urilor NSU în zona de acoperire a PU, care sunt capabile să transmită informațiile de detectare către un FC comun, care ia decizia finală cu privire la prezența semnalului PU și o trimite înapoi către SU-uri acest lucru. rezultat.

5.3.1 Reguli de vot pentru centrul de fuziune

O strategie de vot bine-cunoscută este funcția logică „SAU” care se aplică rezultatelor deciziei transmise de SU. Prin urmare, utilizarea regulii de vot SAU în FC are ca rezultat interferența minimă cauzată PU.

$$P_{d,FC}^{OR} = 1 - \prod_{i=1}^{N_{su}} (1 - P_d^i) \quad (5.4)$$

$$P_{fa,FC}^{OR} = 1 - \prod_{i=1}^{N_{su}} (1 - P_{fa}^i) \quad (5.5)$$

O altă strategie de vot bine-cunoscută este funcția logică „ȘI” care se aplică rezultatelor deciziei transmise de SU. Folosirea regulii de vot „ȘI” în FC are ca rezultat un număr minim de alarme false.

$$P_{d,FC}^{AND} = \prod_{i=1}^{N_{su}} P_d^i \quad (5.6)$$

$$P_{fa,FC}^{AND} = \prod_{i=1}^{N_{su}} P_{fa}^i \quad (5.7)$$

5.3.2 Algoritm cooperativ de detectare a energiei cu prag triplu propus

Această lucrare descrie o metodă unică de cooperare care profită de algoritmul 2FT-CED-1AT-MED, așa cum este explicat în [19], totuși, în loc să optimizeze DEP local la fiecare SU, care își propun să estimeze și să optimizeze DEP estimat pentru toate SU la FC, în funcție de regula de vot [26].

$$\delta_\lambda = \underset{\delta_\lambda}{\operatorname{argmin}} P_{e,FC}(\delta_\lambda, \alpha, \sigma_x^2, \sigma_\omega^2), i \in \overline{1, N_{SU}} \quad (5.8)$$

5.4 Rezultatele simularii

Prin urmare, un număr de SU-uri NSU efectuează detectarea locală folosind fie CED cu un singur prag, 2FT-CMED, fie 2FT-CED-1AT-MED și trimit deciziile locale către FC, care aplică regula de vot pentru a lua decizia finală. După cum sa menționat mai devreme, în cazul 2FT-CED-1AT-MED valoarea pragului intermediar $\lambda_{i,i}$ este adaptat independent la fiecare SU. Acesta modelează generarea semnalului AWGN și PU în Matlab și rulează teste Monte Carlo pentru a estima performanța DEP în funcție de mai mulți parametri ai sistemului. Pentru a avea o referință bună pentru algoritmul cooperativ 2FT-CED-1AT-MED propus care estimează și performanța DEP pentru un singur algoritm SU 2FT-CED-1AT-MED, unde SU considerat este cel care are cea mai mare valoare SNR, SU plasat cel mai aproape de PU și oferind cea mai fiabilă detecție.

Determinarea valorii SNR maxime între toate N_{SU} SUs poate fi considerată o metodă non-CSS cu SU multiple, în care nodul FC necesită timp și resurse suplimentare pentru a estima valoarea SNR pentru fiecare SU. Un alt algoritm de referință pentru simulări este algoritmul 2FT-CED-1AT-MED care realizează optimizarea pragului intermediar în fiecare SU, independent și apoi trimite deciziile individuale către FC. În toate parcelele, acest scenariu de decizie optimizat individual este desemnat Coop. opta. 2FT-CED-1AT-MED'. Totuși, acest scenariu nu este eficient, deoarece deciziile luate la cea mai „slabă” SU (cea mai mică valoare SNR) vor participa în mod egal la regula de vot la FC. Prin urmare, optimizarea individuală nu oferă nicio îmbunătățire în scenariile de cooperare.

5.4.1 Probabilitatea unei erori de decizie bazată pe o valoare prag de decizie

În [Figures 5.3-5.5](#) care ilustrează unele rezultate tipice DEP pentru un scenariu de regulă de vot ȘI cu $N_{SU} = 4$ SU-urile care au $SNR_i \in \{-20, -17, -13, -10\}$ dB, o valoare a ciclului de lucru de $\alpha = 0.3$. Singura valoare a parametrului care diferă de la o cifră la alta este dimensiunea ferestrei ME, $L = 3$ ([Figure 5.3](#)), $L = 5$ ([Figure 5.4](#)), și $L = 9$ ([Figure 5.5](#)), respectiv.

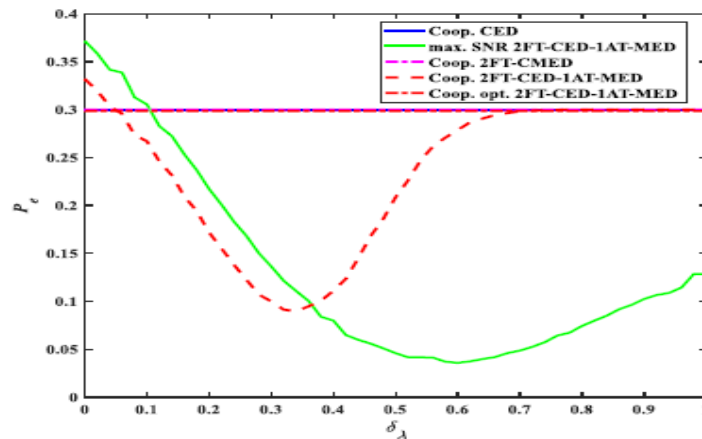


Figure 5.3 In comparație cu Pe și δ_λ pentru algoritmul cooperativ ED cu patru SU, $\alpha = 0.3$, $L = 3$, $SNR = (-20, -17, -13, -10)$ dB, și 'AND' regula de vot al centrului de fuziune.

În [Figure 5.3](#), observați că pentru ferestrele ME mici, CED-ul cooperativ, SFT-MED cooperativ și 2FT-CED-1AT-MED optimul local de cooperare funcționează aproape la fel și nu prezintă nicio dependență DEP de δ_λ . Pe de altă parte, pentru o valoare de $\delta_\lambda = 0.6$, maximumul SNR singur SU 2FT-CED-1AT-MED oferă un minim DEP ≈ 0.04 , în timp ce cooperativa 2FT-CED-1AT-MED utilizând FC cu un 'AND' regula de vot la $\delta_\lambda \approx 0.34$, oferă un minim DEP ≈ 0.09 . Acești ultimi doi algoritmi funcționează mai bine decât restul pentru aproape orice valoare a δ_λ , dar cooperativa 2FT-CED-1AT-MED cu „AND” FC are performanțe mai bune, ceea ce modifică cea mai bună decizie oferită de maximum SNR SU.

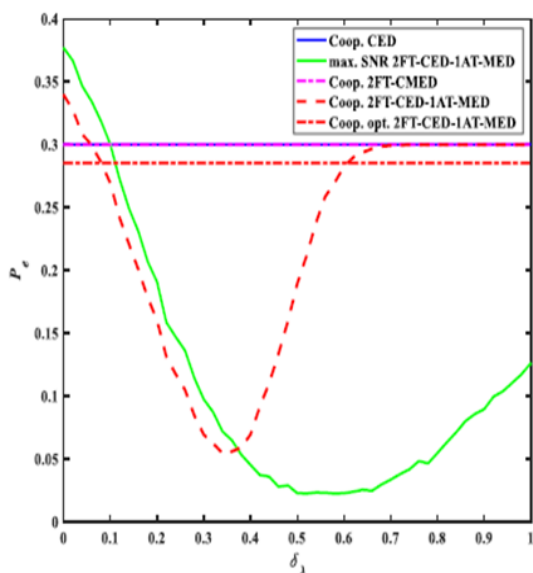


Figure 5.4 In comparație cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, $L = 5$, și 'AND' regula de vot al centrului de fuziune.

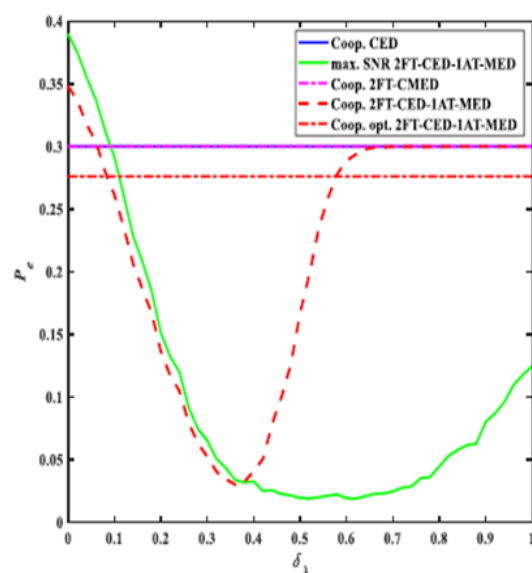


Figure 5.5 In comparație cu P_e și δ_λ pentru algoritmul cooperativ ED cu patru SU, $\alpha = 0.3$, $L = 7$, și 'AND' regula de vot al centrului de fuziune.

După cum s-a observat în [Figures 5.4](#) și [5.5](#), în comparație cu [Figure 5.3](#), când L crește valoarea DEP minimă pentru cooperativa 2FT-CED-1AT-MED cu „ȘI” FC se apropie de DEP minim al SNR maxim SU 2FT-CED-1AT-MED. Acest lucru se explică prin faptul că atunci când energia medie pentru semnalul primit este mai bine estimată de către toate SU, deciziile lor individuale, care sunt trimise către FC, devin mai precise. De asemenea, scenariul de decizie optimizat individual Coop opta. 2FT-CED-1AT-MED funcționează puțin mai bine, dar totuși mai rău decât cooperativa DEP minimă 2FT-CED-1AT-MED. În [Figures 5.6-5.9](#) care ilustrează rezultatele DEP pentru același scenariu ca în [Figures 5.3-5.5](#), ci pentru o regulă de vot „SAU”. În principal, care observă aici aceeași dependență generală a DEP pe δ_λ și L . Cu toate acestea, aceasta a considerat o nouă valoare pentru $L = 20$ ([Figure 5.5](#)), deoarece valoarea minimă DEP pentru regula „OR” necesită o fereastră mai mare pentru estimarea energiei medii în comparație cu cazul regulii „ȘI” prezentat în [Figures 5.3-5.5](#). Mai mult decât atât, DEP pentru algoritmi de prag adaptiv (cooperativ 2FT-CED-1AT-MED și SNR maxim unic SU 2FT-CED-1AT-MED) au rezultate mai proaste decât ceilalți algoritmi pentru mai multe valori de δ_λ . Acest lucru este explicat mai devreme, regulile „OR” măresc considerabil probabilitatea alarmelor false, ceea ce crește DEP.

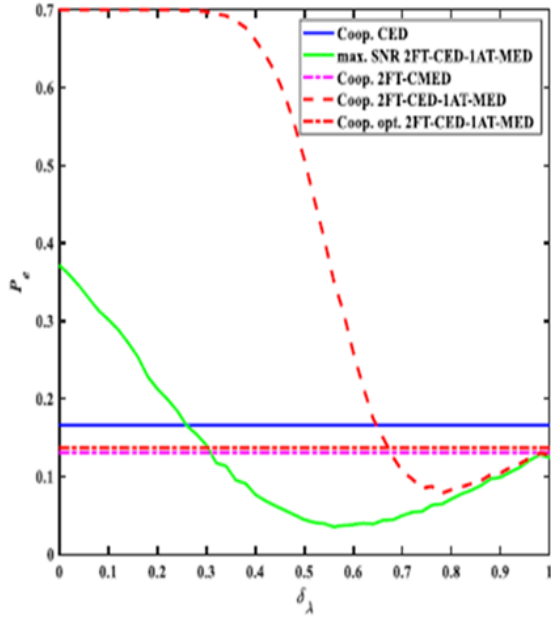


Figure 5.6 In comparatie cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, $L = 3$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

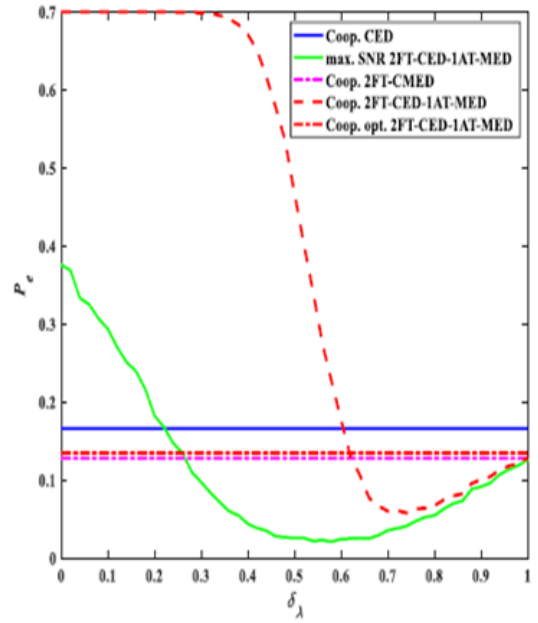


Figure 5.7 In comparatie cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, $L = 5$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

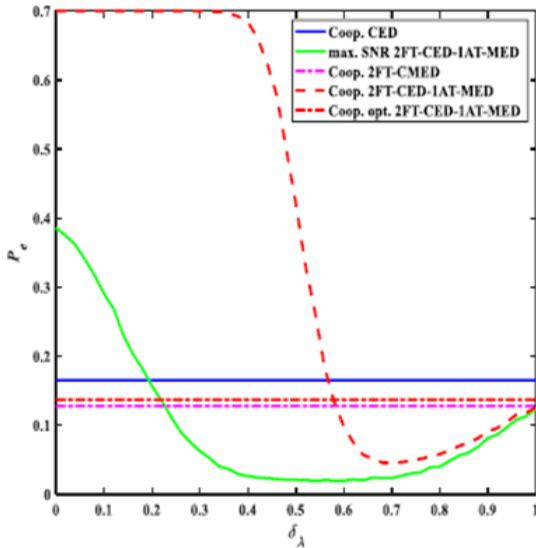


Figure 5.8 In comparatie cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, $L = 7$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

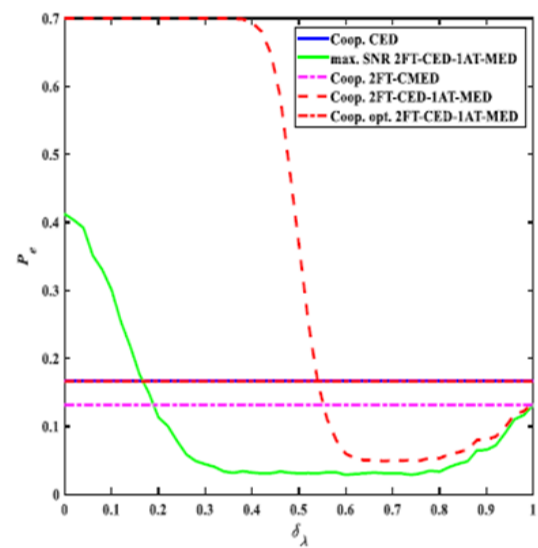


Figure 5.9 In comparatie cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, $L = 20$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

5.4.2 Probabilitatea erorii de decizie în funcție de ciclul de lucru

În **Figures 5.10** și **5.11** care iau în considerare Analiza DEP pentru regula de vot „OR”, în același scenariu de simulare ca în **Figure 5.6** ($L = 3$), pentru diferite valori ale ciclului de lucru, $\alpha = 0.5$ (**Figure 5.10**) și $\alpha = 0.7$ (**Figure 5.11**). Comparând aceste ultime două cifre cu parcelele corespunzătoare obținute pentru $\alpha = 0.3$ (**Figure 5.6**). Evident, valoarea minimă a DEP pentru fiecare algoritm adaptiv depinde de α , dar este important de reținut că aceste funcții sunt, de asemenea, convexe cu valoarea de prag, pentru orice α .

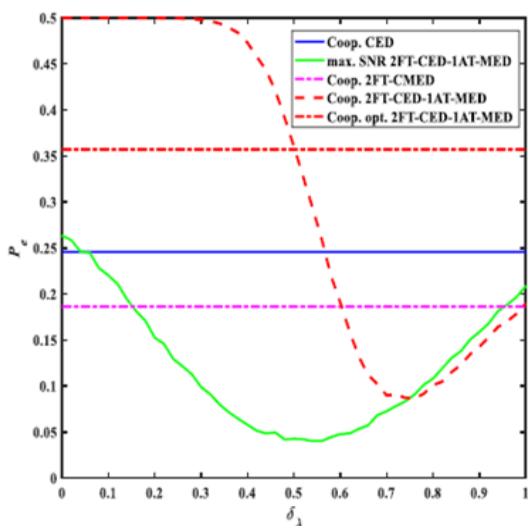


Figure 5.10 În comparație cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.5$, $L = 3$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

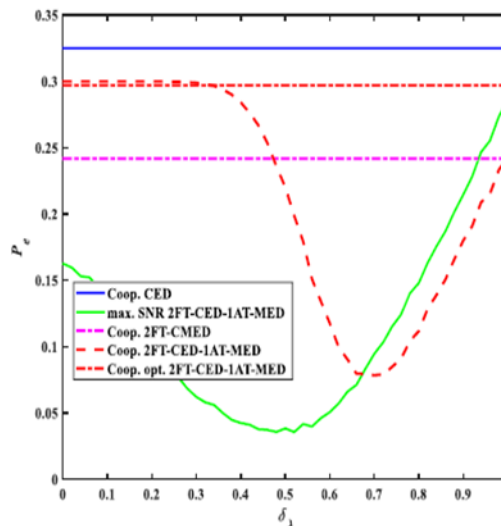


Figure 5.11 În comparație cu P_e și δ_λ pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.7$, $L = 3$, și 'OR' 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

5.4.3 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de un număr de sloturi de detectare pentru testul de energie medie

Pentru a avea o mai bună reprezentare a dependenței DEP de L , care a fost observată în toate parcelele din **Figures 5.3-5.9**, a efectuat aceste experimente separate pentru ambele reguli de vot. Prin urmare, DEP în funcție de L este reprezentat în **Figure 5.12** pentru regula de vot „ȘI” și în **Figure 5.13**, pentru regula „SAU”, respectiv. Era de așteptat, pentru algoritmi de prag adaptiv, DEP-ul scade cu L . Totuși, performanța DEP a algoritmului cooperativ 2FT-CED-1AT-MED propus depinde de regula de vot. De exemplu, în cazul regulii „ȘI”, când L crește, DEP al algoritmului propus scade și tinde spre DEP al algoritmului SNR maxim SU 2FT-CED-1AT-MED (vedea **Figure 5.12**). Pe de altă parte, pentru regula „OR”, chiar și DEP scade cu L , converge către o valoare mai mare decât pentru SNR-ul maxim SU 2FT-CED-1AT-MED. Ca o concluzie evidentă, regula „AND” este mai eficientă decât „OR” pentru această metodă cooperativă de detectare a spectrului.

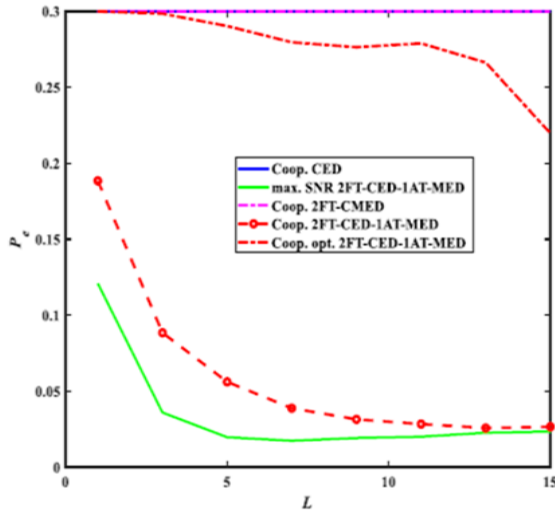


Figure 5.12 In comparație cu P_e și L pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, și 'AND' regula de vot al centrului de fuziune.

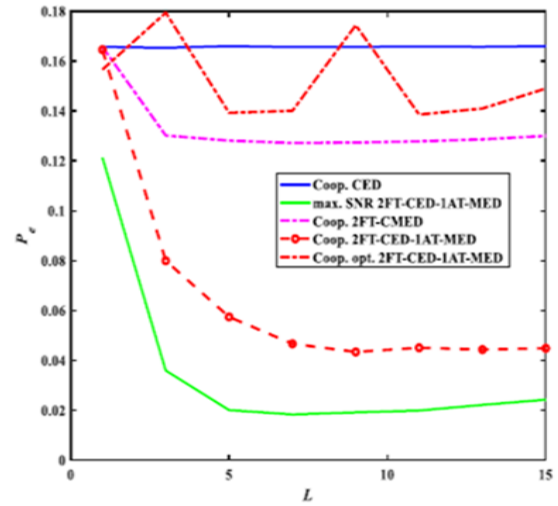


Figure 5.13 In comparație cu P_e și L pentru algoritmi ED cooperanți cu patru SU-uri, $\alpha = 0.3$, și 'OR' regula de vot al centrului de fuziune.

5.4.4 Probabilitatea erorii de decizie în funcție de numărul de SU

Această estimare a DEP pentru un număr diferit de SUs, N_{SU} . Se presupune că pentru toate SU-urile, valorile SNR ale acestora sunt distribuite egal în interval $SNR_i \in [-26, -10]$ dB, incluzând întotdeauna valoarea SNR maximă a -10 dB. Aceste rezultate sunt prezentate în **Figure 5.14**. Se observă că scăderea maximă a DEP pentru algoritmul cooperativ 2FT-CED-1AT-MED propus este obținută atunci când crește cantitatea de SU de la 1 la 2. Când aceasta continuă să adauge mai multe SU, îmbunătățirea DEP nu mai este semnificativă, deoarece SU-urile vor avea, de asemenea, valori SNR mai mici și, astfel, modifică votul FC.

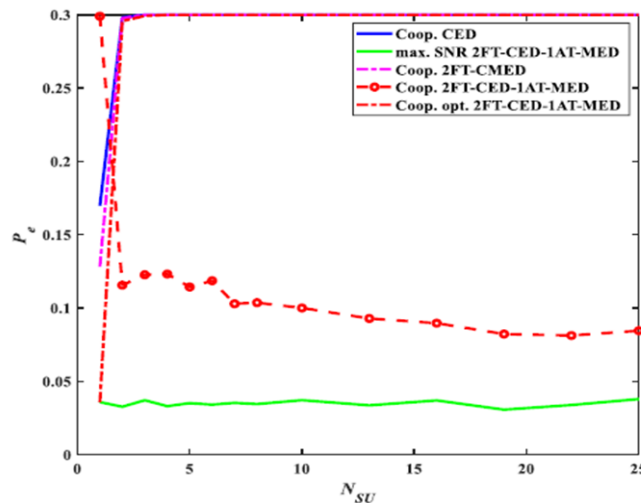


Figure 5.14 In comparație cu P_e and N_{SU} pentru algoritmi de cooperare ED, cu un distribuit egal $SNR \in [-26, -10]$ dB, $L=3$, $\alpha = 0.3$, și 'AND' FC regula de vot.

Capitolul 6

Strategie pentru acces multiplu non-ortogonal și performanță în rețelele 5G și 6G

Scopul acestui capitol este de a oferi o imagine de ansamblu la nivel înalt a celor mai importante protocoale de acces multiplu non-ortogonal (NOMA) din rețelele 5G și 6G care încorporează diviziunea codului în contextul standardizării 3GPP. Obiectivul capitolului este, de asemenea, de a analiza și compara diferitele strategii care au fost propuse ca soluție la problema distribuției resurselor pentru a obține performanțe ridicate. Multe planuri NOMA diferite pentru sistemele 5G și 6G au fost sugerate de o multitudine de companii. NOMA se dezvoltă în prezent în două direcții principale: una este cu diviziunea puterii, iar cealaltă este cu diviziunea codului. În timpul procesului de standardizare desfășurat de 3GPP, atenția dezvoltatorilor s-a concentrat în a doua direcție pentru aplicarea schemelor NOMA în sistemele 5G și 6G.

6.1 Obiectivul concepției NOMA

NOMA este o tehnologie care poate crește eficiența sistemelor de acces ortogonal datorită compatibilității cu alte metode de acces multiple, adaptabilității sale în utilizarea resurselor sistemului și simplității sale. Poate conecta și opera un număr mare de dispozitive de abonat. TDMA și FDMA sunt două tehnologii de separare a semnalelor ortogonale bine stabilite utilizate în sistemele moderne de comunicații multicanal [28]. Când se utilizează accesul ortogonal, fiecărui utilizator i se oferă exclusiv utilizarea unui semnal sau a unui interval de frecvență separat. Mai mulți utilizatori pot partaja aceeași frecvență sau timp specific într-o rețea care utilizează NOMA.

6.2 Tehnici NOMA separate de coduri

Pe baza diviziunii codului de semnal al abonatului, 3GPP a descris diverse sisteme NOMA. Schemele propuse pentru scenariile 5G existente nu au arătat un avantaj semnificativ față de tehnologiile 5G utilizate; prin urmare, NOMA nu a fost inclus în standardele 5G, dar a fost studiat în continuare pentru noi scenarii [29].

6.2.1 Dezvoltarea tehnologiei NOMA

Diviziunea puterii (domeniul de putere NOMA) și diviziunea de cod (domeniul de cod NOMA) sunt cele două tipuri de bază de scheme NOMA. În primul caz, utilizatorii de canal pot difuza la diferite niveluri de decibeli. Divizia de cod NOMA nu folosește secvențe de cod ortogonale pentru a partiționa semnalele abonaților, spre deosebire de sistemele CDMA tradiționale, care au o capacitate proporțională cu numărul de secvențe de cod. [30].

6.2.2 Răspândire cu densitate scăzută prin tehnologia CDMA

Secvențele LDS cu CDMA și OFDMA au fost folosite pentru a realiza primele scheme NOMA de diviziune de cod. LDS-CDMA, o îmbunătățire a CDMA care utilizează coduri de densitate scăzută a fost introdusă cu peste zece ani în urmă [31]. Datorită secvențelor LDS, tehnologia LDS-CDMA poate utiliza un algoritm de recepție multi-utilizator care este comparabil cu algoritmul care maximizează probabilitatea utilizatorilor. Luați în considerare un sistem LDS-CDMA cu $K = 6$ utilizatori folosind secvențe de lungime $N = 4$. Simbolurile de informații se reflectă în secvențele de cod folosind următoarea formulă:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

$M^k M^w$

În acest caz, baza semnalului este reprezentată de numărul de rânduri din matricea S , iar numărul de abonați care accesează aceste secvențe este reprezentat de numărul de coloane. Cu un raport de încărcare de 150%, sistemul poate suporta mult mai mulți utilizatori decât rețelele CDMA standard. O reprezentare grafică a acestui sistem este furnizată în [Figure 6.2](#); utilizator 1 (x_i) reprezintă simboluri de informare a abonatului și y_1 reprezintă elemente din secvențele de cod primite.

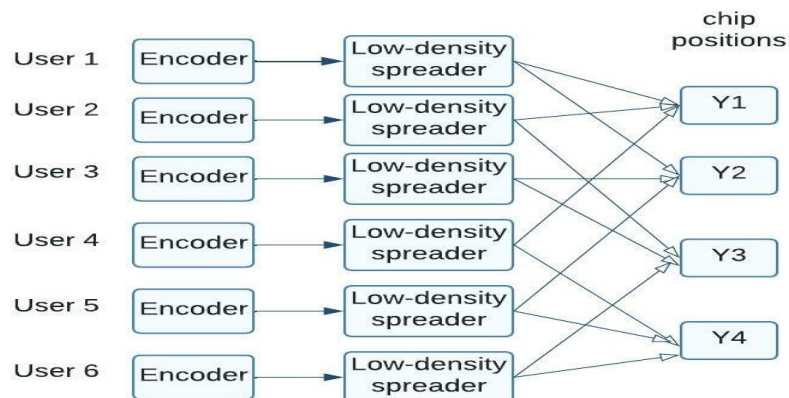


Figure 6.2 Ilustrație a unui sistem LDS-CDMA și a arhitecturii de bază.

6.3 Divizarea codului cu procesare

În dezvoltarea standardizării 3GPP, au fost prezentate două grupuri primare de scheme pentru dezvoltarea direcției NOMA cu divizare de cod aceste grupuri se disting prin tipul de procesare pe care o efectuează: fie la nivel de biți (înainte de modulator), fie la nivel de simbol (după modulator). [Figure 6.3](#) este o schema bloc a unui sistem NOMA de procesare la nivel de biți.

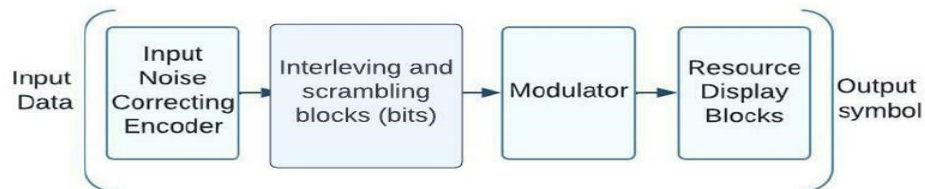


Figure 6.3 O schemă a părții de trimitere a unui sistem NOMA care arată procesarea la nivel de biți.

6.4 MA cu separare de cod

Documentul 3GPP sugerează și circuite NOMA cu procesare la nivel de simbol (după modulator), care includ numeroase variații care diferă în modul în care sunt produse semnalele grupului NOMA. Aceste circuite NOMA prezintă procesare la nivel de simbol. Atunci când sunt procesate la nivel de simbol, semnalele de grup care sunt conforme cu cerințele 5G pot fi generate folosind o serie de metode diferite [32], cum ar fi intercalarea individuală pentru fiecare abonat cu adăugarea de caractere invalide sau utilizarea secvențelor de cod individuale pentru diverși abonați care utilizează tipuri de modulație care sunt deja specificate în standardele 5G.

6.4.1 Secvențe de coduri individuale pentru abonații tradiționali de modulare 5G

Secvențele de cod cu un număr mare de elemente zero și un nivel scăzut de corelație încrucișată între semnalele diferiților abonați sunt frecvent utilizate pentru această metodă de formare a semnalului de grup [33]. Elementele de bază ale acestor secvențe pot fi derivate din standardele de structură a semnalului BPSK, QPSK sau QAM definite de 3GPP. [Figure 6.4](#) arată structura laterală de transmisie a unui sistem NOMA care utilizează modulația 5G care a fost utilizată până în acest moment.

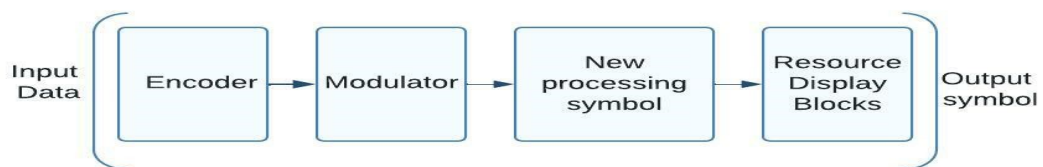


Figure 6.4 O schemă a unui sistem de transmisie NOMA modulat 5G.

6.4.2 Implementarea secvențelor de eructare în modelele NOMA

Două exemple de variante NOMA bazate pe secvența Welch (egalitatea legată de Welch) sunt RSMA de la Qualcomm și WSMA de la Ericsson. Egalitatea la graniță Welch este o egalitate folosită pentru a face secvențe WBE.

$$B_{Welch} = K^2/N \quad (6.2)$$

Diagrama bloc a emițătorului stației de abonat al sistemului WSMA este descrisă în [Figure 6.5](#). Este opțional să amestecați biții după ce au fost supuși unei codări de corectare a zgomotului (procesare la nivel de biți). Datele sunt apoi supuse modulării în amplitudine în cuadratură (QAM), răspândite și intercalate cu secvențe de cod. Sistemul WSMA folosește secvențe WBE scurte cu un coeficient de corelație încrucișată scăzut [\[34\]](#).

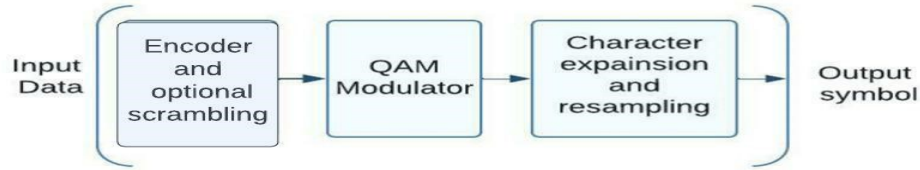


Figure 6.5 Un aspect al schemei WSMA se referă la transmisia structurală.

În funcție de caracteristicile cerute ale matricei de secvență S , se selectează indicatorul de eficiență, pentru schema WSMA, coeficientul de corelație pătrată totală (TSC), care este mărginit de egalitate (6.2) și specificat de relația,

$$TSC = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K |S_i \quad 'S_j|^2 \geq K^2/L \quad (6.3)$$

6.4.3 Protocole NOMA bazate pe secvențe Grassmanniene bazate pe egalitatea welch generalizată

Secvențele Grassmanian oferă fundația pentru propunerea NCMA a LG Electronics; aceasta a folosit aceste secvențe. Când se realizează astfel de secvențe, se aplică o strategie de optimizare mai severă în comparație cu schema WSMA această strategie implică minimizarea celui mai mare nivel de corelație reciprocă care poate exista între oricare două secvențe WBE.

$$\sum_{l=1}^K \sum_{j=1}^K P_l P_j |S_l S_j|^2 \geq \left(\sum_{k=1}^K P_k \right)^2 / N. \quad (6.5)$$

$$R_s = \|S'PS\|^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P_i P_j |S_i' S_j|^2 \quad (6.6)$$

Matricea este $G = [S_1 \dots S_K]$, care constă din vectori de valori secvențiale și $G \subset \mathcal{C}^{N \times K}$ Unde $\mathcal{C}^{N \times K}$ este mulțimea matricelor complexe cu dimensiunile $N \times K$, N este lungimea secvențelor, iar K este numărul total de secvențe.

6.4.4 Scheme NOMA bazate pe secvențe cu modulație reconfigurată bazată pe șabloane rare

Figure 6.5 ilustrează o diagramă bloc a unui sistem NOMA cu modele rare și modulație 5G modificată pe partea de transmisie a stațiilor de abonat.

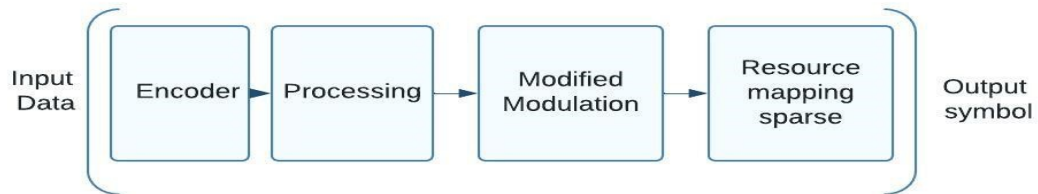


Figure 6.6 Model rar și structura sistemului NOMA cu modulație 5G modificată.

În acest scenariu, SCMA utilizează coduri în care numărul de zerouri de început este constant în toate șabloanele. Scopul abonaților de mai jos este un model de șablon de secvență cu patru elemente:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

În această configurație, fiecare coloană a matricei S corespunde unui abonat diferit, iar numărul de rânduri este egal cu numărul total de elemente din fiecare secvență.

6.4.5 A Character-level extension and scrambling implementation of a NOMA system

Figure 6.6 ilustrează faptul că procesul de amestecare poate fi utilizat și la nivel de simbol. Acest lucru este prezentat în diagramă [35].

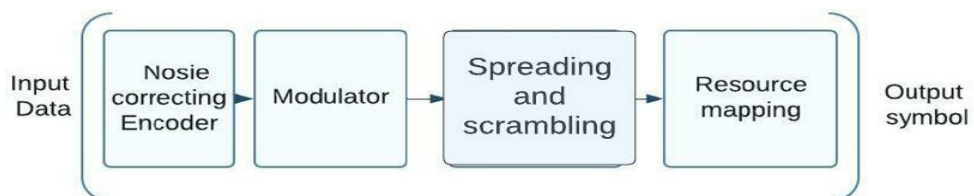


Figure 6.7 Proiectarea procesării hibride la nivel de caracter a unui sistem NOMA.

În tehnica RSMA introdusă de Qualcomm, fiecare simbol modulat are propria sa secvență scurtă de extindere care este folosită în timpul expansiunii simbolului.

6.4.6 Schema NOMA la nivel de caractere cu intercalare fără adăugare

Figure 6.7 ilustrează o diagramă bloc a unui sistem NOMA care include intercalarea și adăugarea elementului zero la nivelul simbolului (din perspectiva stației de abonat). După ce codul de interferență a fost procesat, este introdus nivelul de biți. Sistemul Samsung IGMA (acces multiplu la grilă intercalată) folosește un aranjament lateral de transmisie similar [36].

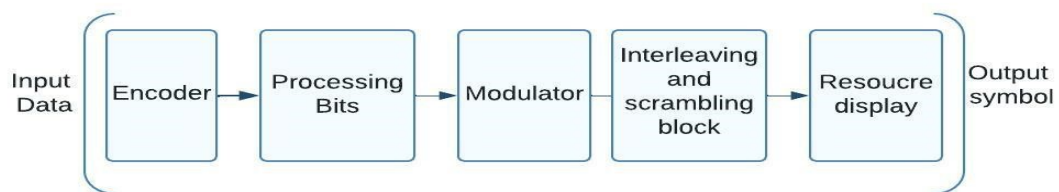


Figure 6.8 Structura sistemului NOMA cu elemente intercalate și zero.

6.5 Caracteristicile metodologiei de implementare a schemelor NOMA

Deoarece sistemele NOMA folosesc secvențe de cod complicate, metode sofisticate de modulare și codare și algoritmi complecși pentru recepția multi-utilizator a unor astfel de semnale, procesarea lor este în mod inerent dificilă. Metoda SCMA utilizată pe scară largă, de exemplu, necesită atât cod de transmisie sofisticat, cât și algoritmi elaborați de procesare a semnalului de recepție. Algoritmi complicați pentru recepția multi-utilizator a unor astfel de semnale sunt necesari pentru sistemul MUSA datorită utilizării secvențelor complexe. Tehnicile de codare trellis sunt cele mai dificil de implementat într-un cadru LPMA. Cercetarea unor algoritmi eficienți pentru realizarea de coduri și codare, metode inovatoare de modulare și mapare și combinații cu scheme de acces ortogonale și tehnologia MIMO sunt toate domeniile pe care membrii standardizării 3GPP le-au identificat ca necesită investigații suplimentare [37],[38].

6.6 Concluzii

Sa sugerat ca tehnologia NOMA să fie utilizată pentru a aborda aceste probleme. Multe tipuri diferite de acces non-ortogonal au fost propuse ca parte a procesului de standardizare 3GPP, dar nu a fost luată o decizie finală cu privire la reglementarea utilizării unei anumite scheme NOMA, analiza tehnică 3GPP demonstrează complexitatea ridicată a implementării algoritmilor pentru generarea și procesarea semnalelor. Această tehnologie ar fi utilă pentru o varietate de scenarii de aplicații uplink și downlink atât în sistemele 5G și 6G actuale, cât și viitoare.

Capitolul 7

Detectarea energiei medii cu prag adaptiv pentru detectarea spectrului în sistemele radio cognitive

În acest capitol, introduceți algoritmi CED, ACED, A3EED și AAED neadaptativi cu un prag de detecție adaptiv, care sunt unele dintre cele mai populare abordări pentru detectarea spectrului în sistemele CR. Algoritmul descris în acest studiu este analizat și demonstrat cu rezultate numerice din simulări. Rezultatele simulării arată că algoritmul AAED este semnificativ mai eficient decât alternativele în ceea ce privește reducerea probabilității de eroare de decizie. Pentru detectarea spectrului, performanța sa este demonstrată a fi superioară celei ale algoritmilor CED, ACED și A3EED.

7.1 Algoritm de detectare a energiei medii

În rețeaua CR, fiecare SU estimează energia semnalului recepționat eșantionat $y(n)$, Unde n denotă n -th probă dintr-un slot de detectare a N mostre. Prin urmare, energia semnalului primit estimată pentru i -th slotul de detectare este dat de $E_i = \sum_{n=(i-1) \cdot N+1}^{i \cdot N} |y(n)|^2$. Se presupune că semnalul primit la fiecare SU în timpul i -th slotul de detectare este dat de,

$$y(n) = \beta_i \cdot S(n) + \omega(n) \quad (7.1)$$

O metodă de îmbunătățire a performanței de detectare a algoritmului CED, energia poate fi estimată în L sloturi de detectare consecutive și o nouă statistică de testare poate fi generată prin calculul valorii energiei medii (AE), pentru ultimele L sloturi cui- th slot fiind ultimul, ca [3],[19],[26]:

$$\overline{E}_{i,L} = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L E_{i+k-L} \quad (7.2)$$

Dacă folosește AE de la (7.2) ca statistică de testare cu un prag de detectare dat λ , atunci probabilitățile de detectare corectă și alarmă falsă pentru acest algoritm de detectare a energiei medii (AED) sunt date de [3]:

$$P_d^{AED} = Prob(\overline{E}_L > |H_1) \quad (7.3)$$

și

$$P_{fa}^{AED} = Prob(\overline{E}_L > |H_0) \quad (7.4)$$

În regimurile SNR scăzute, numărul de eşantioane N este foarte mare și, prin urmare, partea de coadă a funcției de densitate de probabilitate a energiei medii a semnalului primit \overline{E}_L pentru valori mai mari decât pragul de detectare este aproximată printr-o distribuție normală [39][40], pentru fiecare ipoteză, cum ar fi:

$$\overline{E}_L \sim \begin{cases} N(\mu_{AE,0}, \sigma_{AE,0}^2), \text{ for } H_0 \\ N(\mu_{AE,1}, \sigma_{AE,1}^2), \text{ for } H_1 \end{cases} \quad (7.5)$$

Unde $\mu_{AE,j}$ și $\sigma_{AE,j}^2$ reprezintă, respectiv, valoarea medie și varianta energiei medii \overline{E}_L , estimat pentru H_j ipoteza, cu $j \in \{0, 1\}$. Folosind ipoteza făcută și notațiile introduse în (7.5), probabilitățile de detectare corectă și alarmă falsă din (7.3) și respectiv (7.4), pot fi scrise astfel:

$$P_d^{AED} = Q\left(\frac{\lambda - \mu_{AE,1}}{\sigma_{AE,1}^2}\right) \quad (7.6)$$

$$P_{fa}^{AED} = Q\left(\frac{\lambda - \mu_{AE,0}}{\sigma_{AE,0}^2}\right) \quad (7.7)$$

7.2 Adaptarea pragului de detectare AED pentru probabilitatea minimă de eroare de decizie

În această secțiune, va folosi metoda de optimizare a pragului de detectare, care minimizează DEP pentru algoritmul AED [23],[24]:

$$P_e = (1 - \alpha) \cdot P_{fa} + \alpha \cdot (1 - P_d) \quad (7.15)$$

DEP este o metrică care abordează atât sursele de erori de decizie într-un SS, alarmă falsă și evenimentele de detecție greșită [23]. Prin urmare, o optimizare a performanței poate lua în considerare minimizarea funcției DEP din (7.15) cu valoarea pragului de decizie ca argument [24]:

$$\lambda_{opt} = \underset{\lambda}{\operatorname{argmin}} P_e \quad (7.16)$$

În continuare, se va aplica optimizarea de la (7.16) la algoritmul AED prezentat în Secțiunea 7. 2. Prin urmare, utilizând în (7.15) expresiile lui P_{fa}^{AED} și P_d^{AED} din (7.7) și respectiv (7.6), putem scrie ecuația de optimizare ca.

$$\begin{aligned} \frac{d P_e^{AED}}{d\lambda} = 0 &\leftrightarrow (\sigma_{AE,0}^2 - \sigma_{AE,1}^2) \cdot \lambda^2 - 2 \cdot (\mu_{AE,1} \cdot \sigma_{AE,0}^2 - \mu_{AE,0} \cdot \sigma_{AE,1}^2) \cdot \lambda \\ &+ \mu_{AE,1}^2 \cdot \sigma_{AE,0}^2 - \mu_{AE,0}^2 \cdot \sigma_{AE,1}^2 - 2 \cdot \ln\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{AE,0}^2}{\sigma_{AE,1}^2}}\right) \cdot \sigma_{AE,0}^2 \cdot \sigma_{AE,1}^2 = 0 \end{aligned} \quad (7.17)$$

Unde a fost folosită expresia primei derivate a funcției Q :

$$\frac{dQ(x)}{dx} = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (7.18)$$

Discriminantul ecuației pătratice din (7.17) este dat de

$$\Delta = 4 \cdot \sigma_{AE,0}^2 \cdot \sigma_{AE,1}^2 \cdot \left\{ (\mu_{AE,1} - \mu_{AE,0})^2 + (\sigma_{AE,0}^2 - \sigma_{AE,1}^2) \cdot \ln \left[\frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \cdot \frac{\sigma_{AE,0}^2}{\sigma_{AE,1}^2} \right] \right\} \quad (7.19)$$

Aceasta ia valori pozitive pentru valorile parametrilor obișnuiți ai sistemului.

$$\Delta > 0, \forall \alpha \in [0,1], \rho = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_\omega^2} \leq 0 \text{ dB}, T > B \gg L - 1. \quad (7.20)$$

Rezultă valorile pragului de decizie optim, care minimizează DEP pentru algoritmul AED sunt date de:

$$\lambda_{opt,1,2} = \frac{\mu_{AE,1} \cdot \sigma_{AE,0}^2 - \mu_{AE,0} \cdot \sigma_{AE,1}^2 \pm \sqrt{\frac{\Delta}{4}}}{\sigma_{AE,0}^2 - \sigma_{AE,1}^2} \quad (7.21)$$

Este nevoie de o condiție suplimentară pentru a selecta valoarea pragului de decizie optimă din perechea specificată în (7.21). Aici, propunem condiția „regiunii de confuzie”, care este definită ca intervalul dintre valorile de prag care minimizează individual contoarele de performanță țintă, $P_{fa,target}^{AED}$ și $1 - P_{Pd,target}^{AED}$, probabilitățile de alarmă falsă și, respectiv, de detecție greșită [19],[26]:

$$\lambda_H = [\sqrt{2N} \cdot Q^{-1}(P_{fa,target}^{AED}) + N] \cdot \sigma_\omega^2, \quad (7.22)$$

$$\lambda_L = [N - \sqrt{2N} \cdot Q^{-1}(1 - P_{Pd,target}^{AED}) + N] \cdot (\sigma_s^2 + \sigma_\omega^2), \quad (7.23)$$

Prin urmare, condiția suplimentară „regiune de confuzie” pentru pragul optim de decizie AED este :

$$\lambda_L < \lambda_{opt} < \lambda_H \quad (7.24)$$

Verificând valorile prag obținute în (7.21) folosind condiția de la (7.24), rezultă că pragul de decizie optim pentru algoritmul AED este următorul:

$$\lambda_{opt,1,2} = \frac{\mu_{AE,1} \cdot \sigma_{AE,0}^2 - \mu_{AE,0} \cdot \sigma_{AE,1}^2 - \sqrt{\frac{\Delta}{4}}}{\sigma_{AE,0}^2 - \sigma_{AE,1}^2} \quad (7.25)$$

7.3 Rezultat numeric

În această secțiune, va prezenta rezultatele teoretice și ale performanței de simulare ale algoritmului AAED în comparație cu alți algoritmi ED, cum ar fi CED neadaptativ, ACED și, respectiv, A3EED. De fapt, performanța DEP va fi estimată în funcție de SNR, α și L . După cum va fi arătat în continuare, în toate aceste scenarii, AAED depășește toți ceilalți algoritmi ED. În toate scenariile de simulare, valorile considerate ale parametrilor sistemului sunt: numărul de mostre într-un slot de detectare este $N = 65.537$, modulația utilizată pentru semnalul transmis PU $s(n)$ este Binary Phase-Shift Keying (BPSK), durata totală a ciclului de transmisie PU este $T = 500$ de sloturi de detectare, numărul total de ipoteze făcute într-o încercare este de 2.500 de sloturi (care corespunde la 5 cicluri de transmisie PU), iar numărul de încercări de simulare (iterații) utilizate pentru a media valorile DEP este 10.

7.3.1 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de SNR

Primul test consideră variația DEP ca o funcție a SNR pentru toți algoritmi ED investigați. Intervalul SNR este setat între $[-25 \text{ dB}$ și $15 \text{ dB}]$ cu un pas de 1 dB . Pentru a sublinia dependența de SNR, este considerată o valoare constantă pentru raportul de utilizare a spectrului, $\alpha = 0.3$, care este o valoare tipică pentru sistemele de comunicații mobile actuale.

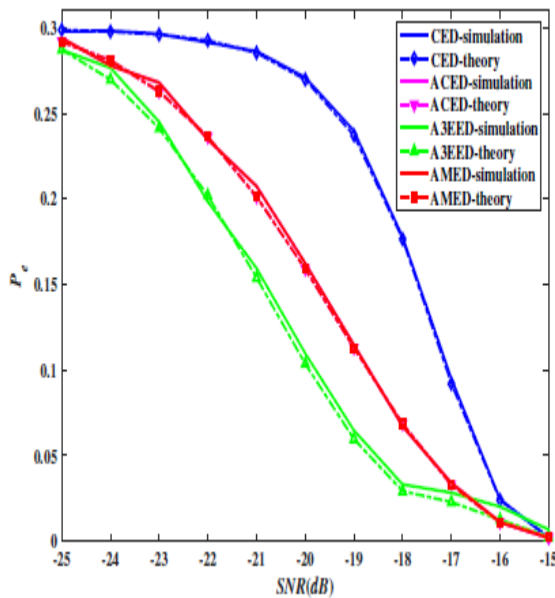


Figure 7.1 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$. $L=1$.

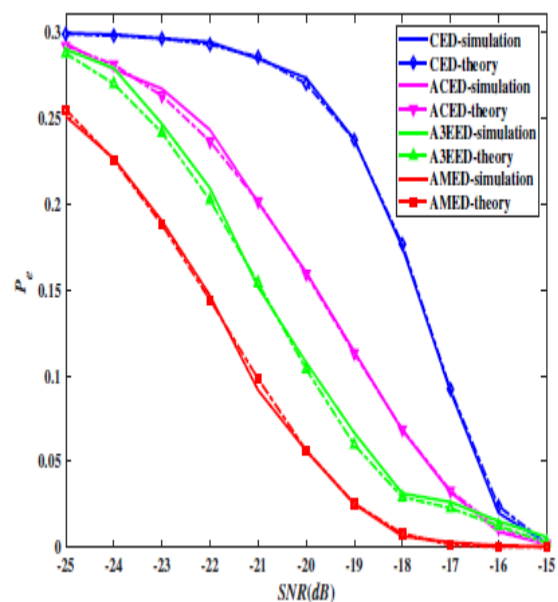


Figure 7.2 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$. $L=3$.

În **Figure 7.1**, algoritmul DEP al AAED este estimat pentru un singur slot de detectare ED, $L=1$. De fapt, pentru $L=1$, energia medie utilizată ca statistică de testare de algoritmul AAED este egală cu energia unui singur slot de detectare estimat pentru

semnalul recepționat. Prin urmare, algoritmul AAED cu $L=1$ este echivalent cu algoritmul ACED, așa cum este demonstrat de ecuațiile (7.2). Această echivalență este ușor de observat în [Figure 7.1](#). De asemenea, acest complot confirmă rezultatele obținute în lucrările anterioare [23],[24], unde ACED (și AAED, cu $L=1$) depășesc CED neadaptativ cu un câștig SNR de până la mai mult de 3 dB. Prin urmare, în următorul pas, se decide creșterea numărului de sloturi de detecție utilizate pentru estimarea AE la $L=3$ (vea [Figure 7.2](#)). În mod surprinzător, AAED cu $L=3$ depășește A3EED cu mai mult de 1 dB la toate valorile SNR considerate. Mai mult, AAED elimină întârzierea suplimentară a deciziei de până la un slot de detectare introdus de A3EED, așa cum este menționat în [24]. [Figure 7.3](#) arată DEP pentru AAED cu $L=7$, unde se obține un câștig SNR mai mare de 3 dB peste A3EED.

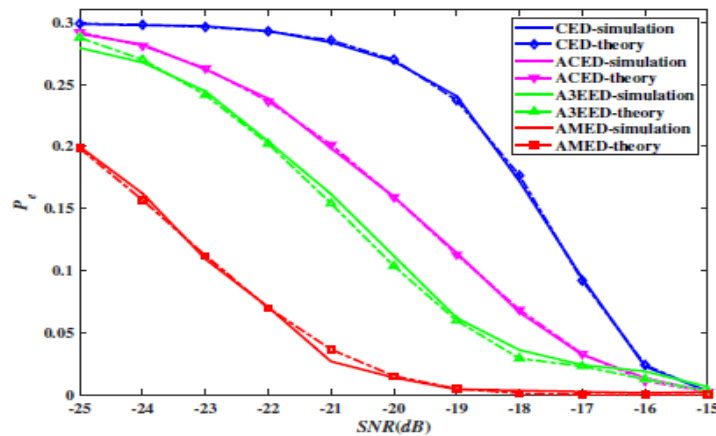


Figure 7.3 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha = 0.3$. (c) $L=7$

În [Figures 7.4](#) și [7.5](#), pentru $L=13$ și $L=17$, arătând câștiguri SNR peste A3EED de peste 4 dB și, respectiv, 4,5 dB.

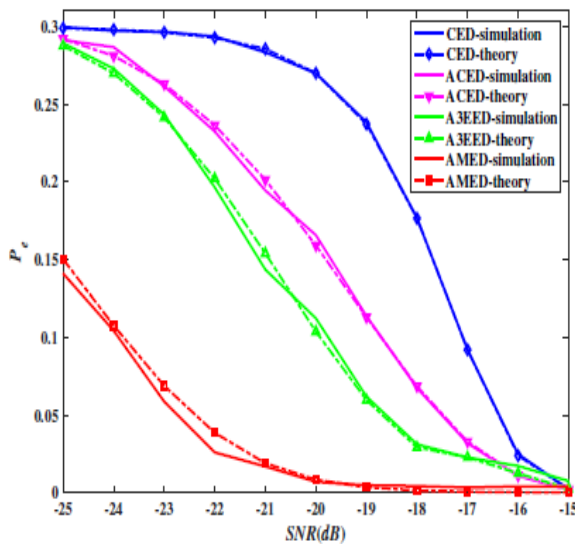


Figure 7.4 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$. $L=13$.

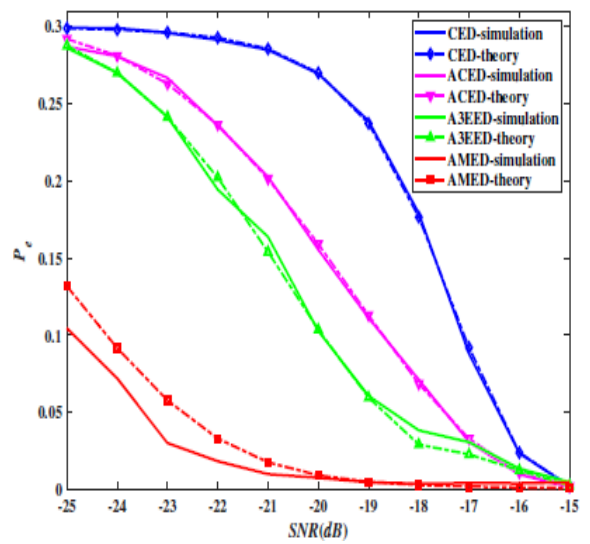


Figure 7.5 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$. $L=17$.

7.3.2 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de L

În [Figures 7.6 și 7.7](#), este descrisă variația DEP cu L pentru AAED și ceilalți algoritmi ED pentru două valori SNR diferite, SNR = -22 dB și, respectiv, SNR = -20 dB. După cum s-a observat în ambele figuri, singurul algoritm ED care depinde de numărul de sloturi de detectare este AAED și de aceea performanța DEP a acestui algoritm se îmbunătățește cu L . În [Figure 7.6](#), se observă că începând de la $L = 3$ până la $L = 13$, DEP scade cu un factor mai mare de 3. De asemenea, creșterea numărului de sloturi de detectare a mediei energiei peste $L = 13$ nu aduce un câștig de performanță și limitează în sus complexitatea algoritmului AAED. Pentru o valoare SNR mai mare (SNR = -20 dB), așa cum este descris în [Figure 7.7](#), se remarcă și scăderea DEP cu L , dar atinge o regiune plată pentru o valoare mai mică a numărului de sloturi, în jur de $L = 10$. Mai mult, așa cum era de așteptat, pentru valori SNR mai mari, DEP ia valori mai mici. În toate cazurile, DEP pentru AAED ia valori mai mici decât toți ceilalți algoritmi ED considerați.

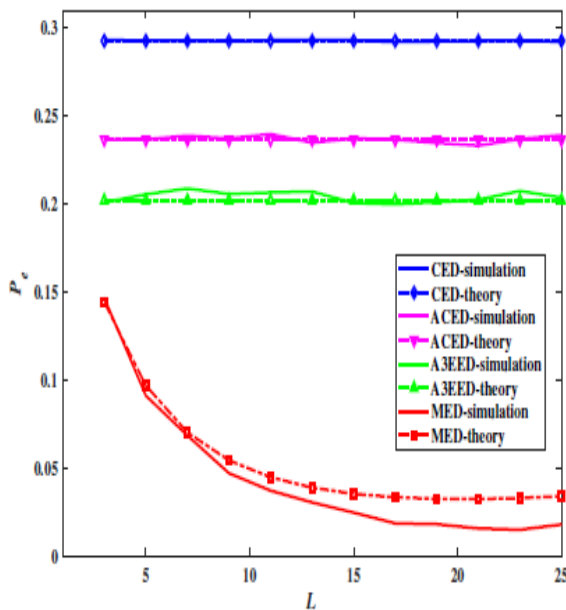


Figure 7.6 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$, SNR = -22 dB.

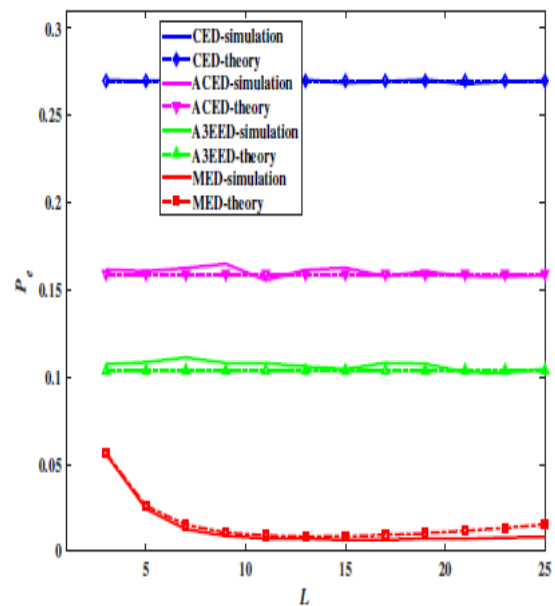


Figure 7.7 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de SNR, $\alpha=0.3$, SNR = -20 dB.

7.3.3 Probabilitatea de eroare de decizie în funcție de α

În acest test, se setează valoarea numărului de sloturi de detectare utilizate pentru estimarea AE la $L = 7$, ceea ce reprezintă un compromis bun între nivelurile de performanță și complexitate. În [Figures 7.8 și 7.9](#), se poate observa că DEP pentru AAED atinge valorile minime dintre toți algoritmi ED considerați. Pentru CED neadaptativ se observă o creștere liniară a DEP cu α , care se explică prin faptul că pragul de decizie nu este deloc ajustat. Pentru toți ceilalți algoritmi ED, care ajustează adaptiv pragul de decizie pentru atingerea unui DEP minim pentru orice valoare α , observați și o formă concavă a diagramei DEP cu α , cu valoarea maximă pentru $\alpha = 0,5$.

De asemenea, cu cât SNR este mai mare, cu atât DEP este mai mic, deoarece observă scăderea DEP în [Figure 7.9](#) în comparație cu [Figure 7.8](#).

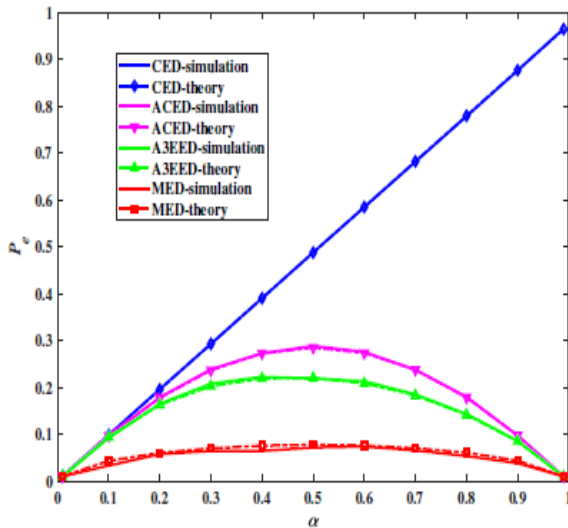


Figure 7.8 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de α , $L=7$. SNR = - 22 dB.

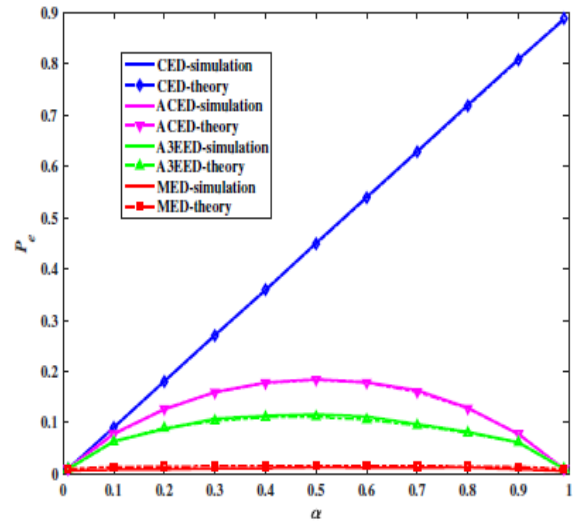


Figure 7.9 DEP pentru algoritmi adaptativi în funcție de α , $L=7$. SNR = - 20 dB.

Capitolul 8

Concluzie

Prin proiectarea unor strategii eficiente SS, scopul este de a maximiza beneficiul potențial al detectării semnalului PU, minimizând în același timp erorile de detectare în rețelele CR. Prin urmare, accentul acestei teze este pe proiectarea algoritmilor eficienți care se conformează nivelurilor specificate de fiabilitate a sesizării. Atât testarea ipotezelor secvențiale centralizată, cât și distribuită formează baza acelor sisteme. Metodele SS cooperative descentralizate sugerate își găsesc utilizarea majoră în sistemele de transmisie a utilizatorilor primari cu sloturi, în timp ce schemele SS cooperative centralizate utilizează detectarea individuală SU pentru a trimite aceste informații către FC care ia decizia finală. Alte soluții pentru îmbunătățirea performanței de detectare includ utilizarea unor praguri de decizie multiple și adaptarea valorii pragului în conformitate cu un contor de performanță optim. Toate aceste soluții de detecție CR au fost investigate cu un singur scop de a identifica rapid și precis spectrul neocupat și benzile de frecvență goale. Un obiectiv secundar principal al cercetării a fost dezvoltarea soluțiilor de distribuție și răspândire a resurselor pentru accesele multiple în rețelele mobile. Având în vedere succesul propunerilor NOMA pentru rețelele 5G și 6G, prezenta teză a luat în considerare câteva dintre strategiile sale de dezvoltare atât pentru versiunile de putere, cât și pentru diviziunea codului.

8.1 Rezultate obținute

Teza este structurată în opt capitole care prezintă într-o manieră intuitivă contextul general și sfera cercetării, soluțiile convenționale pentru problemele ridicate, metodele uzuale de cercetare și abordările analitice, precum și câteva soluții propuse cu analiza performanței acestora, după cum urmează:

Capitolul 1 a prezentat domeniul general de cercetare al tezei de doctorat, descriind conceptul de sisteme și rețele CR și DSA, cu accent pe funcția de detectare a spectrului. De asemenea, ca un al doilea domeniu de cercetare, a fost prezentată tehnologia NOMA. În acest context, au fost descrise sfera tezei și principalele obiective de cercetare.

Capitolul 2 principiul și arhitectura rețelelor CR au fost explicate și analizate amănunțit. Aici au fost analizați cei mai folosiți algoritmi SS, inclusiv soluțiile necooperante și cooperative. Mai mult, a fost investigat conceptul de tehnologie NOMA și posibila combinație cu rețele CR.

Capitolul 3 a prezentat o schemă SS cooperativă pentru CR, care utilizează o configurație distribuită de amplificare și transmitere (AF) cu mai multe SU. În primul rând, a fost prezentată schema AF CSS cu două SU din lucrarea seminală și în al doilea rând, schema modificată și îmbunătățită cu trei SU a fost propusă și analizată. Un model de canal simplificat a fost propus și utilizat pentru estimarea analitică a câștigurilor de canal și a semnalului PU recepționat și transmis. Performanța de detecție a noii scheme AF cu trei SUs folosind ED pentru detectarea spectrului a fost investigată, atât teoretic, cât și prin simulare, și s-au observat câștiguri semnificative de detecție în comparație cu schema de referință.

Capitolul 4 a fost dedicat prezentării algoritmilor SS single-SU sau non-cooperative folosind ED pentru care performanța de detecție este controlată prin setarea valorii pragului de decizie în raport cu un anumit contor. Prin urmare, algoritmi convenționali ED SS care utilizează unul sau două praguri de decizie au fost analizați analitic și prin simulare. Statistica de testare poate fi îmbunătățită prin colectarea de informații din intervalele de timp de detectare adiacente. A fost considerată o medie a timpului pe mai multe intervale de detecție consecutive pentru energia semnalului recepționat ca funcție de modificare a statisticilor de testare. De asemenea, a fost investigată adaptarea valorilor pragului de decizie pentru minimizarea erorii de detectare. S-a demonstrat că această abordare cu prag adaptiv îmbunătățește considerabil performanța de detecție în comparație cu abordarea cu valoarea de prag fix.

Capitolul 5 a integrat tehnicile de prag adaptiv din capitolul anterior în configurații cooperative de detectare a spectrului. Au fost luate în considerare mai multe scheme de cooperare cu număr variabil de praguri de decizie și reguli simple de vot la nodul FC. De asemenea, a fost explorat impactul regulii de decizie de vot FC asupra performanței algoritmului cooperativ SS. Ca și în capitolul 4, a fost dezvoltat un mecanism de control adaptiv pentru pragul intermediar de detecție în fiecare SU pentru a reduce probabilitatea de eroare de decizie. Rezultatele simulării au confirmat eficacitatea algoritmului sugerat.

Capitolul 6 a investigat soluția NOMA pentru dezvoltarea rețelelor performante de comunicații wireless 5G și 6G. Au fost investigate mai multe tehnici de răspândire pentru NOMA, cum ar fi răspândirea cu densitate scăzută, diviziunea codului cu procesare la nivel de biți și separarea codului și răspândirea la nivel de caractere. Capitolul sa încheiat pe metodologia implementării schemelor NOMA utilizând aceste soluții de împărțire.

Capitolul 7 ED medie cu un singur SU cu prag adaptiv a fost investigată teoretic și prin experimente de simulare. De fapt, acest algoritm AAED a fost folosit în capitolele 4 și 5, în configurații cooperativе și acolo și-a demonstrat impactul asupra performanței generale a SS. Expresiile analitice au fost derivate pentru contorul DEP în funcție de parametrii SS, cum ar fi SNR, intervale de detectare a numărului sau a mediei și ciclul de lucru al PU. Simulările au confirmat toate ipotezele teoretice făcute. Sa demonstrat că soluțiile de detectare a spectrului cu AAED depășesc algoritmi CED, ACED și A3EED.

Capitolul 8 Ultimul capitol a prezentat rezultatele obținute, contribuții originale cu accent pe publicațiile autorului, perspectivele și lucrările viitoare ale cercetării doctorale curente.

8.2 Contribuții originale

În cadrul acestei teze au fost studiate mai multe metode cooperativе de detectare a spectrului bazate pe detectarea energiei. Aceste tehnici au îmbunătățit performanța de detectare a sistemului CR în comparație cu strategiile anterioare. Următoarea parte este o sinteză a principalelor contribuții ale tezei.

1. Am studiat principiul și funcțiile rețelelor și sistemelor CR. În acest context, am scris un sondaj privind CR și soluțiile de acces dinamic la spectru care face parte din primele două capitole ale acestei teze. În contextul unui mediu CR, o serie de tehnologii au fost comparate și evaluate în ceea ce privește sensibilitatea lor de detectare, complexitatea implementării și cerințele de calcul. M-am concentrat în principal pe metodele și algoritmi SS și am prezentat mai multe perspective asupra acestor probleme. Unele dintre aceste rezultate ale studiului au fost publicate într-o lucrare de conferință indexată SCOPUS și IEEE Xplore [12] și într-o altă lucrare de conferință MDPI cu acces deschis [43]. Ca o altă posibilă soluție pentru managementul eficient al spectrului, am studiat principiul și conceptele NOMA, care au fost incluse în Capitolul 6. În acest context, am scris, ca prim autor, o lucrare de jurnal ISI-WOS Q2 despre o posibilă strategie de utilizare eficientă a NOMA în rețelele 5G și 6G [38]. Pe aceeași chestiune, am publicat o lucrare de conferință indexată SCOPUS și IEEE Xplore [44].

2. În continuarea cercetărilor anterioare [16], [17], am dezvoltat o nouă schemă de detecție cooperativă de amplificare și transmitere care utilizează 3 SU-uri cu doi SU-uri utilizatori secundari care efectuează o strategie de retransmisie secvențială. Folosind un model de canal de fading modificat pentru câștigurile de canal între SU, am derivat expresii analitice pentru momentele statistice ale variabilei de test și, în final, expresii pentru probabilitatea de detectare. Am efectuat simulări care au confirmat acuratețea acestor rezultate teoretice. Atât rezultatele teoretice, cât și cele ale simulărilor au confirmat că adăugarea mai multor SU-uri în configurația AF cooperativă crește performanța de detecție cu prețul unui timp de detectare crescut. Aceste rezultate au fost introduse în capitolul 3 al tezei și publicate într-o lucrare de conferință ISI [18] și într-o lucrare de jurnal cu acces deschis [42].
3. Ca un alt set de contribuții, menționez evaluarea și modificarea unor algoritmi ED cu dublu prag. Prin urmare, au fost luate în considerare diferite contoare de performanță pentru fixarea adaptivă a valorii pragului de decizie și chiar modificarea variabilei de testare printr-o funcție suplimentară de procesare. De exemplu, introducerea variabilei de testare a energiei medii, prin medierea energiei semnalului recepționat pe mai multe sloturi de detecție consecutive, împreună cu setarea adaptivă a pragului de decizie pentru a minimiza probabilitatea de eroare de decizie, s-a dovedit a crește performanța de detectare a algoritmului ED. Rezultatele simulării au arătat că, pentru orice ciclu de lucru, tehnica inovatoare de detecție a spectrului adaptiv depășește algoritmul clasic de prag dublu. Pentru valori scăzute ale ciclurilor de lucru (adică, 30%), au fost observate câștiguri SNR de 3 dB. La cicluri de lucru mari și valori SNR scăzute, abordarea propusă oferă rezultate și mai bune. Aceste soluții și analiza lor de performanță au fost incluse în Capitolul 4 și publicate într-o lucrare de conferință indexată SCOPUS și IEEE Xplore [19].
4. Soluțiile de prag adaptiv prezentate în Capitolul 4 și [19] au fost utilizate pentru a dezvolta un algoritm eficient de detecție a spectrului cooperativ. Așadar, în Capitolul 5, am inclus o altă contribuție constând în investigarea prin cooperare de detecție a spectrului a pragului adaptiv ED cu statistica de testare a energiei medii introdusă în fiecare SU din configurație și, în final, decizia luată la centrul de fuziune. Au fost comparați mai mulți algoritmi ED cu praguri multiple și reguli simple de vot FC. De asemenea, probabilitatea de eroare de decizie a fost investigată luând în considerare câțiva parametri ai sistemului, cum ar fi valoarea ciclului de lucru al PU, numărul de sloturi de detecție utilizate pentru medierea energiei și numărul de SU în configurația cooperativă. Acest nou algoritm cooperativ SS și analiza sa simulată a performanței au fost publicate într-o altă lucrare de conferință indexată SCOPUS și IEEE Xplore [26].
5. O altă contribuție a tezei este investigarea teoretică a algoritmului adaptiv ED SS cu statistică de testare a energiei medii, adică AAED, care a fost analizat doar prin simulări în capitolele 4 și 5. Prin urmare, în capitolul 7 algoritmul unic SU AAED a fost investigat amănunțit și a fost derivată o expresie analitică exactă a valorii pragului de decizie, care minimizează valoarea DEP. Este important de menționat

că rezultatele teoretice au confirmat rezultatele simulării obținute anterior. De asemenea, rezultatele performanței DEP au arătat că AAED depășește alți algoritmi SS de prag adaptiv cunoscuți și înrudiți. Algoritmul AAED propus și întreaga analiză teoretică împreună cu confirmarea simulării au fost trimise spre publicare într-un jurnal IEEE [41].

6. Am participat la o investigație de cercetare privind dezvoltarea echipamentelor cu front-end RF flexibile pentru utilizarea eficientă a resurselor limitate ale spectrului radio. Performanța de detectare a spectrului a patru platforme SDR diferite a fost analizată și comparată într-o lucrare a conferinței ISI [24].

8.3 Lista publicațiilor originale

8.3.1 Lucrări legate de tema de doctorat

1. A. Marțian, Florin L. Chiper, Omer M. Kh. Al-Dulaimi, Mahmood J. A. Al Sammarraie, C. Vlădeanu, and Ion Marghescu, "Comparative Analysis of Software Defined Radio Platforms for Spectrum Sensing Applications," in International Conference on Communications (COMM), Bucharest, Romania, pp. 369-374, June 2020, WOS:000612723900065. [ISI Proceeding]
2. Omer M. Kh. Al-Dulaimi, Mahmood J. A. Al Sammarraie, C. Vlădeanu, A. Marțian, and Dimitrie C. Popescu, "Cooperative Spectrum Sensing for Three Secondary Users with Sequential Relaying for Cognitive Radio," in International Conference on Communications (COMM), Bucharest, Romania, pp. 221-226, June 2020, WOS:000612723900040. [ISI Proceeding]
3. C. Vlădeanu, O. M. K. Al-Dulaimi and A. Marțian, "A Modified Double-Threshold Spectrum Sensing Algorithm Based on Adaptive-Threshold Mean Energy Detection", 2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), pp. 1-4, 15-16 July Bucharest, Romania, 2021.DOI: 10.1109/ISSCS52333.2021.9497419. [Scopus, IEEE Xplore]
4. Omer. M. K. Al-Dulaimi, C. Vlădeanu, A. Martia, Aymen. Mohammed. K. Al-Dulaimi, and Mohammed K. H. Al-Dulaim, "Cognitive radio using spectrum sensing by cooperative two secondary users," in IOP conference series: Materials science and engineering, 2021, vol. 1094, no. 1, p. 12031, DOI 10.1088/1757-899X/1094/1/012031. [Open Access]
5. Omer M. K. Al-Dulaimi, Florin L. Chiper, C. Vlădeanu, and A. Marțian " Triple-Threshold Energy Detection with Adaptive Intermediate Threshold for Cooperative Spectrum Sensing," 14th International Conference on Communications (COMM), Bucharest, Romania, pp. 1-6 June, 2022, DOI: 10.1109/COMM54429.2022.9817328. [Scopus, IEEE Xplore]

6. Omer M. K. Al-Dulaimi, Aymen M. K. Al-Dulaimi, and Mohammed K.H "Cognitive Radio Technologies and Applications in Dynamic Spectrum Access Method" 9th International Conference on Problems of Info communications. Science and Technology, Kharkov, Ukraine, IEEE, 2022. [[Accepted under publication](#)]
7. Omer M. K. Al-Dulaimi, Mohammed K.H, Maiduc Osiceanu Alexandra and Aymen M. K. Al-Dulaimi "Performing Strategic Spectrum Sensing Study for the Cognitive Radio Networks" International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES 2022), Veliko Tarnovo, Bulgaria, IEEE, 2022, DOI: 10.1109/CIEES55704.2022.9990635. [[Scopus](#), [IEEE Xplore](#)]
8. A. M. K. Al-Dulaimi, O. M. K. Al-Dulaimi and M. K. H. Al-Dulaimi, "Implementing 3GPP Code Division for Non-Orthogonal Multiple Access in 5G," 2022 International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkey, 2022, pp. 998-1006, doi: 10.1109/ISMSIT56059.2022.9932803. [[Scopus](#), [IEEE Xplore](#)]
9. Omer M. K. Al-Dulaimi, Mohammed K.H, Maiduc Osiceanu Alexandra and Aymen M. K. Al-Dulaimi, "Strategy for Non-Orthogonal Multiple Access and Performance in 5G and 6G Networks" in MDPI sensor journal, Vol. 23, Issue 3, Article Number 1705, DOI: 10.3390/s23031705, Published FEB 2023, WOS:000930017200001. [[ISI-Q1](#), [IF 3.847](#)]
10. Omer Mohammed. K. Al-Dulaimi, Mohammed Khodayer Hassan, Aymen Mohammed Khodayer Al-Dulaimi and Maiduc Osiceanu Alexandra "Cognitive Radio Network Technology for IoT-Enabled Devices" International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023). Eng. Proc. 2023, 41(1), 7, Kavala, Greece, June 21-23, 2023; <https://doi.org/10.3390/engproc2023041007>, [[MDPI Engineering Proceedings](#), vol. 41]
11. Omer M. K. Al-Dulaimi, C. Vlădeanu, A. Marțian, and Dimitrie C. Popescu, "Average Energy Detection with Adaptive Threshold for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems" submitted to *IEEE Systems Journal*, August 2023. [[Under publication](#)]

8.3.2 conferinței relevante și publicații pentru in reviste

1. Mohammed. K. Hassana, A. Hassanb, Aymen. M. Khodayerc, and Omer. M. Khodayerd, "Internet Security Impact on E-Banking Users." Workshop on Emerging Technology Trends on the Smart Industry and the Internet of Things, TTSIIT 2022Virtual, Kyiv, pp. 118–123, 2022. [[Scopus](#)]
2. Omer. M. K. Al-Dulaimi, Mohammed. K. H. Al-Dulaimi, and Aymen. M. K. Al-Dulaimi, "Resource blocks for real-time and data elastic traffic in IMS/LTE networks are developed and studied" International Middle Eastern Simulation and Modeling Conference (MESM), pp. 159–164, 2022. [[Scopus](#)]

3. Mohammed K.H, Aymen M. K.Al-Dulaimi, and Omer M. K. Al-Dulaimi " *Security Measures of Protection for Banking Systems*" 9th International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkov, Ukraine, IEEE, 2022. [[ISI Proceedings pending](#)]
4. Mohammed K.H, Aymen M. K.Al-Dulaimi, and Omer M. K. Al-Dulaimi " *Bandwidth Allocation Linear Unit with Resource Allocation Level 1 Design and Evaluation in LTE Downlink*" The second international conference on scientific research and innovation ,USA 2023.[[Accepted under publication](#)]
5. Aymen. M. K. Al-Dulaimi, Omer. M. K. Al-Dulaimi, Mohammed. K. H. Al-Dulaimi, and M. O. Alexandra, " *Design and Development of Free-Space Optical Transmission Systems and Applications,*" in 2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), 2022, pp. 1–6, DOI: 10.1109/CIEES55704.2022.9990826 . [[Scopus](#), [IEEEExplore](#)]
6. Omer. M. K. Al-Dulaimi, Mohammed. K. H. Al-Dulaimi, and Aymen M. K. Al-Dulaimi, " *Analysis of Low Power Wireless Technologies used in the Internet of Things (IoT),*" in 2022 2nd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI), Istanbul, Turkey, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICMI55296.2022.9873714. [[Scopus](#), [IEEEExplore](#)]
7. Mohammed K. H, Aymen M. K, Ali Hassan, Omer M. K and Maryem M , " *Security Issues for Banking Systems.*" International Conference on Computing, Intelligence and Data Analytics, ICCIDA 2022 Kocaeli 16 September 2022, Volume 643 LNNS, Pages 117 – 131, Turkey, Sept, 2022. [[Springer](#), [Scopus](#)]
8. Mohammed. K. Hassana, Aymen. M. Khodayer, and Omer. M. Khodayer, " *Security Enhancement in Cloud Computing system (CCS).*" second international conference on emerging technology trends on the smart industry and the internet of things (TTSIIT2023), Baghdad, Iraq, January, 2023. [[ISI Proceedings pending](#)]
9. Omer Mohammed. K. Al-Dulaimi, Mohammed Khodayer Hassan, Aymen Mohammed Khodayer Al-Dulaimi and Maiduc Osiceanu Alexandra " *Deep Learning For Wireless Network Distribution (5G/LTE).*" in Electrical Engineering and computer science, International journal of University POLITEHNICA of Bucharest, 2023 . [[Under publication](#)]
10. Mohammed. K. Al-Dulaimi, Aymen M. Khodayer Al-Dulaimi, Omer M. K Al-Dulaimi and Maiduc Osiceanu Alexandra " *Aspects of Artificial Intelligent Applications in Cyber Security to Decrease Threats and Restrict Cyber Attacks for Smart Grids*" International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023), Kavala, Greece, June 21-23, 2023. [[Scopus conference accepted](#)]
11. Aymen Mohammed Khodayer Al-Dulaimi, Mohammed Khodayer Hassan Al-Dulaimi and Omer Mohammed Khodayer Al-Dulaimi, " *Construction and Analysis of Dynamic Distribution for Resource Blocks of Real-Time and Data Elastic Traffic in IMS/LTE networks,*" 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN), Taiz, Yemen, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICOTEN52080.2021.9493500. [[Scopus](#), [IEEEExplore](#)]

12. Omer. M. K. Al-Dulaimi, Aymen M. K. Al-Dulaimi, M. O. Alexandra and Mohammed K. H. Al-Dulaimi, "Implementation Of Bayesian Approaches In 5G/6G For Cellular Communication Using Multiple Time Series Models" in Electrical Engineering and computer science, UPB Scientific Bulletin, Series C, vol. 85, no. 1, pp. 209 – 226, 2023, ISSN 2286-3540, WOS:001032564800003. [ISI Journal, IF 0.3]

8.4 Perspective pentru evoluții ulterioare și lucrări viitoare

Ca tendință viitoare pentru cercetare, acest subiect poate fi analizat mai mult și extins pentru a include detectarea cooperativă a spectrului rapid. Algoritmii de partajare a spectrului și protocoalele de acces multiplu care au fost realizate pentru rețelele radio cognitive cu mai mulți utilizatori ar trebui să funcționeze cu această extensie.

- Detectarea secvențială a spectrului și partajarea spectrului ar putea fi studiate mai detaliat.
- Software-Defined Radio (SDR) au probleme cu modul de implementare a algoritmilor propuși și cât de greu sunt de înțeles.
- Investigarea continuă a problemei secvențiale multi-ipoteze descentralizate.

O altă idee interesantă pentru lucrările viitoare este dezvoltarea algoritmului de atribuire a grupului de utilizatori propus în Capitolul 3, astfel încât să ia în considerare efectul corelației. Selectarea utilizatorilor cu cea mai mică corelație cu simțul în fiecare grup poate face ca schema de detecție a spectrului de spectru de cooperare pe bază de grup să funcționeze și mai bine. Dar mai multe cercetări trebuie efectuate înainte ca acestea să poată ajunge la concluzii substanțiale. Primul pas în realizarea unei scheme de fuziune mai fiabile pentru detectarea cooperativă multibandă a fost să se analizeze modul în care compensarea timpului a afectat performanța cadrului de detectare cooperativă multibandă. Acest lucru a fost făcut în Capitolul 5. Presupunând că diferiți utilizatori cooperanți au diferite decalaje de timp este o presupunere ușor de lucrat în această analiză. Acest subiect poate fi analizat mai mult și extins, astfel încât reducerea efectelor erorilor de detectare cauzate de compensarea timpului poate fi considerată o direcție viitoare pentru cercetare. Se poate concluziona că trebuie să se analizeze mai mult algoritmul propus utilizând alte reguli de vot, cum ar fi regula majorității, sau chiar alte valori de optimizare decât DEP. Ca obiectiv viitor al cercetării, se menționează inserarea AAED în scheme cooperative de detectare a spectrului, în care deciziile superioare ale unui singur utilizator ar contribui la o performanță și mai mare a deciziilor globale.

Bibliografie

- [1] A. Osseiran, J. F. Monserrat, and W. Mohr, *Mobile and wireless communications for IMT-advanced and beyond*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2] V. Valenta, R. Maršálek, G. Baudoin, M. Villegas, M. Suarez, and F. Robert, ‘Survey on spectrum utilization in Europe: Measurements, analyses and observations’, in *2010 Proceedings of the fifth international conference on cognitive radio oriented wireless networks and communications*, 2010, pp. 1–5.
- [3] M. López-Benítez and F. Casadevall, ‘Improved energy detection spectrum sensing for cognitive radio’, *IET Commun.*, vol. 6, no. 8, pp. 785–796, 2012.
- [4] E. Biglieri, A. J. Goldsmith, L. J. Greenstein, H. V. Poor, and N. B. Mandayam, *Principles of cognitive radio*. Cambridge University Press, 2013.
- [5] B. Wang and K. J. R. Liu, ‘Advances in cognitive radio networks: A survey’, *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 5, no. 1, pp. 5–23, 2010.
- [6] A. Amanna and J. H. Reed, ‘Survey of cognitive radio architectures’, *Proc. IEEE SoutheastCon 2010*, pp. 292–297, 2010.
- [7] Y. Tawk, J. Costantine, and C. G. Christodoulou, ‘Cognitive-radio and antenna functionalities: A tutorial [Wireless Corner]’, *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 56, no. 1, pp. 231–243, 2014.
- [8] M. Höyhty, J. Kyröläinen, A. Hulkkonen, J. Ylitalo, and A. Roivainen, ‘Application of cognitive radio techniques to satellite communication’, in *2012 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks*, 2012, pp. 540–551.
- [9] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, ‘NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey’, *Comput. networks*, vol. 50, no. 13, pp. 2127–2159, 2006.
- [10] T. Yucek and H. Arslan, ‘A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications’, *IEEE Commun. Surv. tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 116–130, 2009.
- [11] S. Pandit, G. Singh, S. Pandit, and G. Singh, ‘Spectrum sensing in cognitive radio networks: potential challenges and future perspective’, *Spectr. Shar. Cogn. Radio Networks Mediu. Access Control Protoc. Based Approach*, pp. 35–75, 2017.
- [12] O. M. K. Al-Dulaimi, M. K. H. Al-Dulaimi, M. O. Alexandra, and A. M. K. Al-Dulaimi, ‘Performing Strategic Spectrum Sensing Study for the Cognitive Radio Networks’, in *2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, 2022, pp. 1–6.
- [13] I. F. Akyildiz, B. F. Lo, and R. Balakrishnan, ‘Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey’, *Phys. Commun.*, vol. 4, no. 1, pp. 40–62, 2011.
- [14] M. Ranjeeth and S. Anuradha, ‘Performance of fading channels on energy detection based spectrum sensing’, *Procedia Mater. Sci.*, vol. 10, pp. 361–370, 2015.
- [15] C. Sun, W. Zhang, and K. Ben Letaief, ‘Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints’, in *2007 IEEE wireless communications and networking conference*, 2007, pp. 1–5.
- [16] G. Ganesan and Y. Li, ‘Cooperative spectrum sensing in cognitive radio, part II: multiuser networks’, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 6, no. 6, pp. 2214–2222, 2007.
- [17] C. Vlădeanu, M. J. A. Al Sammarraie, and A. Marțian, ‘Amplify-and-Forward Cooperative Spectrum Sensing Using Three Secondary Users for Cognitive Radio’, in *2019 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, 2019, pp. 1–4.

- [18] O. M. Khodayer Al-Dulaimi, M. Jalal Ahmad Al Sammarraie, C. Vlădeanu, A. Marțian, and D. C. Popescu, ‘Cooperative Spectrum Sensing for Three Secondary Users with Sequential Relaying for Cognitive Radio’, in *2020 13th International Conference on Communications (COMM)*, 2020, pp. 221–226.
- [19] C. Vlădeanu, O. M. K. Al-Dulaimi, and A. Marțian, ‘A Modified Double-Threshold Spectrum Sensing Algorithm Based on Adaptive-Threshold Mean Energy Detection’, in *2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, 2021, pp. 1–4.
- [20] O. Olabiyi, S. Alam, O. Odejide, and A. Annamalai, ‘Further results on the energy detection of unknown deterministic signals over generalized fading channel’, in *2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps)*, 2011, pp. 908–912.
- [21] P. Zhu, J. Li, and X. Wang, ‘Scheduling model for cognitive radio’, in *2008 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom 2008)*, 2008, pp. 1–6.
- [22] S. Yu, J. Liu, J. Wang, and I. Ullah, ‘Adaptive double-threshold cooperative spectrum sensing algorithm based on history energy detection’, *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, 2020.
- [23] N. Wang, Y. Gao, and X. Zhang, ‘Adaptive spectrum sensing algorithm under different primary user utilizations’, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 1838–1841, 2013.
- [24] A. Martian, M. J. A. Al Sammarraie, C. Vlădeanu, and D. C. Popescu, ‘Three-event energy detection with adaptive threshold for spectrum sensing in cognitive radio systems’, *Sensors*, vol. 20, no. 13, p. 3614, 2020.
- [25] M. J. A. Al Sammarraie, A. Marțian, and C. Vlădeanu, ‘A Modified 3EED Spectrum Sensing Algorithm Using an Adaptive Decision Threshold’, in *2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*, 2018, pp. 1–4.
- [26] O. M. K. Al-Dulaimi, F.-L. Chiper, C. Vlădeanu, and A. Martian, ‘Triple-Threshold Energy Detection with Adaptive Intermediate Threshold for Cooperative Spectrum Sensing’, in *2022 14th International Conference on Communications (COMM)*, 2022, pp. 1–6.
- [27] S.-Q. Liu, B.-J. Hu, and X.-Y. Wang, ‘Hierarchical cooperative spectrum sensing based on double thresholds energy detection’, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 7, pp. 1096–1099, 2012.
- [28] Z. Ding, X. Lei, G. K. Karagiannidis, R. Schober, J. Yuan, and V. K. Bhargava, ‘A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends’, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 10, pp. 2181–2195, 2017.
- [29] H. Zhang and N. Zhang, ‘Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise for Modulation Order Blind-Detection in Non-Orthogonal Multiple Access’, in *2021 7th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, 2021, pp. 136–141.
- [30] Z. Yang, P. Xu, J. A. Hussein, Y. Wu, Z. Ding, and P. Fan, ‘Adaptive power allocation for uplink non-orthogonal multiple access with semi-grant-free transmission’, *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 9, no. 10, pp. 1725–1729, 2020.
- [31] B. U. Rehman *et al.*, ‘Joint power control and user grouping for uplink power domain non-orthogonal multiple access’, *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 17, no. 12, p. 15501477211057444, 2021.
- [32] Y. Cheng, K. H. Li, Y. Liu, K. C. Teh, and G. K. Karagiannidis, ‘Non-orthogonal multiple access (NOMA) with multiple intelligent reflecting surfaces’, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 11, pp. 7184–7195, 2021.

- [33] D. Zhai, R. Zhang, L. Cai, and F. R. Yu, ‘Delay minimization for massive Internet of Things with non-orthogonal multiple access’, *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 13, no. 3, pp. 553–566, 2019.
- [34] S. M. A. Kazmi, N. H. Tran, T. M. Ho, A. Manzoor, D. Niyato, and C. S. Hong, ‘Coordinated device-to-device communication with non-orthogonal multiple access in future wireless cellular networks’, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 39860–39875, 2018.
- [35] G. Yang, X. Xu, Y.-C. Liang, and M. Di Renzo, ‘Reconfigurable intelligent surface-assisted non-orthogonal multiple access’, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 5, pp. 3137–3151, 2021.
- [36] A. L. Imoize, H. I. Obakhena, F. I. Anyasi, J. Isabona, S. Ojo, and N. Faruk, ‘Reconfigurable Intelligent Surfaces Enabling 6G Wireless Communication Systems: Use Cases and Technical Considerations’, in *2022 5th Information Technology for Education and Development (ITED)*, 2022, pp. 1–7.
- [37] K. Wang, W. Liang, Y. Yuan, Y. Liu, Z. Ma, and Z. Ding, ‘User clustering and power allocation for hybrid non-orthogonal multiple access systems’, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 12, pp. 12052–12065, 2019.
- [38] Omer M. K. Al-Dulaimi, Mohammed K.H, Maiduc Osiceanu Alexandra and Aymen M. K.Al-Dulaimi, “Strategy for Non-Orthogonal Multiple Access and Performance in 5G and 6G Networks” *sensor*, 23(3), 1705, 2023.
- [39] Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. C. Y. Peh, and A. T. Hoang, ‘Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks’, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, no. 4, pp. 1326–1337, 2008.
- [40] R. D. Yates and D. J. Goodman, *Probability and stochastic processes: a friendly introduction for electrical and computer engineers*. John Wiley & Sons, 2014.
- [41] Omer M. K. Al-Dulaimi, C. Vlădeanu, A. Marțian, and Dimitrie C. Popescu, “Average Energy Detection with Adaptive Threshold for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems” submitted to *IEEE Systems Journal*, August 2023.
- [42] O. M. K. Al-Dulaimi, C. Vlădeanu, A. Martia, A. M. K. Al-Dulaimi Mohammed, and M. K. H. Al-Dulaim, ‘Cognitive radio using spectrum sensing by cooperative two secondary users’, in *IOP conference series: Materials science and engineering*, 2021, vol. 1094, no. 1, p. 12031.
- [43] O. M. K. Al-Dulaimi, Mohammed Khodayer Hassan, Aymen Mohammed Khodayer Al-Dulaimi and Maiduc Osiceanu Alexandra “Cognitive Radio Network Technology for IoT-Enabled Devices” International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023). Eng. Proc. 2023, 41(1), 7, Kavala, Greece, June 21-23, 2023.
- [44] A. M. K. Al-Dulaimi, O. M. K. Al-Dulaimi and M. K. H. Al-Dulaimi, "Implementing 3GPP Code Division for Non-Orthogonal Multiple Access in 5G," 2022 International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkey, 2022, pp. 998-1006.