



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANFLOR VĂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Universitatea
POLITEHNICA
din București

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investe te în oameni!

Programul Opera ional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/107/1.5/S/76903 – *Formarea viitorilor cercetatori-experti prin programe de burse doctorale (EXPERT)*



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCURE TI

Facultatea de Electronic , Telecomunicații și Tehnologia Informației

Departamentul Telecomunicații

Nr. Decizie Senat 228 din 13.03.2014

TEZ DE DOCTORAT

REZUMAT

Analiza și îmbunătățirea performanțelor sistemelor de tip multiutilizator în cazul canalelor afectate de fading

The performance analysis and improvement strategies of multiuser systems transmitting through fading channels

Autor: Ing. Carmen VOICU

Conduc tor de doctorat: Prof.dr.ing. Simona HALUNGA

COMISIA DE DOCTORAT

Pre edinte	Prof. Dr. Ing. Gheorghe BREZEANU	de la	Universitatea „Politehnica” din Bucure ti
Conduc tor de doctorat	Prof. Dr. Ing. Simona HALUNGA	de la	Universitatea „Politehnica” din Bucure ti
Referent	Prof. Dr. Ing. Ioan NICOLAESCU	de la	Academia Tehnic Militar
Referent	Prof. Dr. Ing. Gheorghe GAVRILOAIA	de la	Universitatea din Pite ti
Referent	Prof. Dr. Ing. Teodor PETRESCU	de la	Universitatea „Politehnica” din Bucure ti

Bucure ti

CUPRINS

LISTA FIGURILOR	ii
LISTA ABREVIERILOR	iii
CAPITOLUL 1	
INTRODUCERE	1
1.1 PREZENTAREA DOMENIULUI TEZEI DE DOCTORAT	1
1.2 SCOPUL TEZEI DE DOCTORAT	3
1.3 CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT	3
CAPITOLUL 2	
DETECȚIA MULTIUTILIZATOR	5
2.1 MODELUL PENTRU SEMNAL ZAGA	6
2.2 DETECTORUL CONVENȚIONAL	6
2.3 DETECTORUL MULTIUTILIZATOR OPTIMAL	7
2.3.1 Principiul plauzibilității maxime	7
2.3.2 Principiul maxim a posteriori	7
2.4 DETECTOARE MULTIUTILIZATOR SUBOPTIMALE	8
2.4.1 Detectorul cu decorelare	8
2.4.2 Detectorul liniar cu minimizarea erorii pătratice medii	8
CAPITOLUL 3	
PERFORMANȚELE DETECTOARELOR MULTIUTILIZATOR ATUNCI CÂND SUNT TRANSMISE IMAGINI	9
3.1 ESTIMATORI DE EVALUARE A PERFORMANȚELOR	9
3.2 MODELUL SISTEMULUI. REZULTATE OBȚINUTE	9
3.3 CONCLUZII	12
CAPITOLUL 4	
PROPAGAREA PRIN CANALUL RADIO MOBIL AFECTAT DE FADING	13
4.1 ELEMENTE CARE INFLUENȚEAZĂ APARIȚIA FADINGULUI	13
4.2 TIPURI DE FADING	13
4.3 DISTRIBUȚII UTILE ÎN ANALIZA SISTEMELOR AFECTATE DE FADING	14
4.4.1 Distribuția Rayleigh	14
4.4.2 Distribuția Rice	14
4.4.3 Distribuția Nakagami-m	14
CAPITOLUL 5	
DETECTORUL COERENT ÎN PREZENȚA FADINGULUI PLAT	15
5.1 DETECTORUL CU DECORELARE ÎN CANAL CU FADING. CODARE ALAMOUTI	15
5.2 SIMULĂRI ȘI REZULTATE	15
5.3 CONCLUZII	17
CAPITOLUL 6	
DETECTORUL MULTIUTILIZATOR LINIAR ÎN CANALE CU FADING	18
6.1 STRUCTURA SISTEMULUI	18
6.2 ESTIMATORI DE MĂSURARE A PERFORMANȚELOR	18
6.3 REZULTATELE SIMULĂRILOR	19
6.3.1 Canal afectat de fading Rayleigh	19
6.3.2 Canal afectat de fading Rice	21
6.4 CONCLUZII	25
CAPITOLUL 7	
DETECȚIA MULTIUTILIZATOR ÎN SISTEMELE DS-CDMA FOLOSIND ALGORITMUL POCS	26
7.1 STRUCTURA SISTEMULUI	26
7.2 REZULTATELE SIMULĂRILOR	26
7.2.1 Canal afectat de fading Rayleigh	27
7.2.2 Canal afectat de fading Rice	29
7.3 CONCLUZII	31
CAPITOLUL 8	
CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE	32
8.1 REZULTATE OBȚINUTE	32
8.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE	34
8.3 PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ	35
8.4 LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE	35
BIBLIOGRAFIE	36

LISTA ABREVIERILOR

BER	Bit Error Rate	probabilitatea de eroare de bit
BPSK	Binary Phase Shift Keying	modulație în fază a semnalului binar
CDMA	Code Division Multiple Access	acces multiplu cu diviziune în cod
DS-CDMA	Direct-Sequence CDMA	CDMA cu secvență directă
ISI	Intersymbol Interference	interferențele între simboluri
MAI	Multiple Access Interference	interferențele de acces multiplu
MAP	Maximum A Posteriori	maxim a posteriori
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output	diversitate la emisie și la recepție
MISO	Multiple-Input Single-Output	diversitate la emisie
ML	Maximum Likelihood	plauzibilitate maximă
MMSE	Minimum Mean Square Error	minimizarea erorii pătratice medii
MSE	Mean Squared Error	eroarea pătratică medie
MSSIM	Mean SSIM	media SSIM
MS-SSIM	Multi-scale Structural Similarity index	SSIM multi - scală
MUD	Multiuser Detection	deteție multiutilizator
OFDM	Orthogonal Frequency - Division Multiplexing	multiplexare cu diviziune ortogonală în frecvență
PN	PseudoNoise	pseudoaleatoare
POCS	Projection Onto Convex Sets	proiecție pe mulțimi convexe
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio	raportul semnal-zgomot de vârf
RSZ		Raportul Semnal - Zgomot
SISO	Single-Input Single-Output	fără diversitate
SSIM	Structural SIMilarity Index	indexul de similitudine
STBC	Space-Time Block Codes	codarea bloc spațio - temporală
STC	Space-Time Code	codare spațio-temporală
STS	Space-Time Spreading	împrăștiere spațio-temporală
TS	Time Spreading	împrăștiere în timp
VIF	Visual Information Fidelity index	indexul fidelității informației vizuale
UQI	Universal Quality Index	indexul universal pentru calitate
ZAGA		Zgomot Aditiv Gaussian Alb
ZF	Zero Forcing	forțarea la zero

LISTA FIGURILOR

<i>Fig. 3.1</i> Imaginile transmise de c tre utilizatori.....	9
<i>Fig. 3.2</i> Performanțele detectoarelor multiutilizator în funcție de probabilitatea de eroare de bit atunci când utilizatorii au amplitudini egale.....	9
<i>Fig. 3.3</i> Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ $i \dots=0$	11
<i>Fig. 3.4</i> Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ $i \dots=0,25$	11
<i>Fig. 3.5</i> Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ $i \dots=0,5$	11
<i>Fig. 3.6</i> Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ $i \dots=0,75$	11
<i>Fig. 3.7</i> Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ $i \dots=1$	12
<i>Fig. 5.1</i> Imaginile trimise de c tre utilizatori	15
<i>Fig. 5.2</i> BER vs. RSZ, canal afectat de fading plat de tip Rayleigh, utilizatorul 1	16
<i>Fig. 5.6</i> Imaginile rezultate pentru RSZ=1+20dB, mediere pe 100 de imagini, SISO.....	17
<i>Fig. 5.9</i> Imaginile rezultate pentru RSZ=1+20 dB, MISO.....	17
<i>Fig. 5.11</i> Imaginile rezultate pentru RSZ=1+20dB, diversitate la emisie și recepție.....	17
<i>Fig. 6.1</i> Imaginile trimise de c tre utilizatori	19
<i>Fig. 6.2</i> Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, canal SISO afectat de fading Rayleigh și ZAGA	20
<i>Fig. 6.3.a</i> Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, RSZ=1+20 dB	20
<i>Fig. 6.3.b</i> Imaginile recuperate de detectorul MMSE, RSZ=1+20 dB	20
<i>Fig. 6.4.a</i> Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, canal MISO, RSZ = 5+20 dB.....	21
<i>Fig. 6.4.b</i> Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal MISO, RSZ = 5+20 dB.....	21
<i>Fig. 6.5</i> Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, canal SISO afectat de fading Rice.....	22
<i>Fig. 6.6.a</i> Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, canal SISO afectat de fading Rice, RSZ = 5+20 dB	23
<i>Fig. 6.6.b</i> Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal SISO afectat de fading Rice, RSZ = 5+20 dB.....	23
<i>Fig. 6.7</i> Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, canal MISO afectat de fading Rice.....	23
<i>Fig. 6.8.a</i> Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, canal MISO afectat de fading Rice, RSZ = 5+20 dB	24
<i>Fig. 6.8.b</i> Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal MISO afectat de fading Rice, RSZ = 5+20 dB.....	24
<i>Fig. 6.9</i> Rezultatele obținute de estimatorul UQI, canal MISO, RSZ = 5+20 dB.....	24
<i>Fig. 7.1</i> Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, coduri neortogonale	27
<i>Fig. 7.2.a</i> Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru primul utilizator.....	28
<i>Fig. 7.2.b</i> Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al doilea utilizator	28
<i>Fig. 7.2.c</i> Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al 3-lea utilizator	29
<i>Fig. 7.2.d</i> Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al 4-lea utilizator.....	29
<i>Fig. 7.3</i> Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, diferite valori ale factorului Rice.....	30
<i>Fig. 7.4</i> Imaginile recuperate un RSZ de 5+17 dB, factorul Rice $K=3,5$ dB.....	31

CAPITOLUL 1 INTRODUCERE

Din marea industrie a comunicațiilor, comunicațiile fără fir au cunoscut de-a lungul anilor cea mai mare creștere, începând cu 1897 când Marconi a demonstrat cu succes funcționarea telegrafului fără fir. Pe măsură ce au atras atenția mass-mediei și interesul populației, sistemele de comunicații radio s-au aflat într-o continuă expansiune, ajungând la ora actuală la aproximativ două miliarde de utilizatori în întreaga lume. Totuși, pentru cercetători există două aspecte fundamentale, ce fac din comunicațiile fără fir o provocare. Primul este legat de fadingul produs de variațiile în timp ale coeficienților canalului, iar al doilea fiind cauzat de interferențele care apar între utilizatori. Aceste interferențe pot fi între emițătoare care comunică cu un receptor comun, între semnale transmise de același transmițător către mai multe receptoare, sau între utilizatori care aparțin de diferite celule.

1.1 PREZENTAREA DOMENIULUI TEZEI DE DOCTORAT

Accesul multiplu cu diviziune în cod, CDMA, este o metodă de acces utilizată de diferite tehnologii de comunicații radio. Deși a fost prezentat teoretic la sfârșitul anilor 1940, din cauza costului foarte ridicat al echipamentelor a ajuns să fie pus în practică pentru aplicațiile comerciale 40 de ani mai târziu [1]. Primele sale implementări au fost în domeniul militar, unde s-a dovedit rezistent la tentativele inamicilor de a perturba comunicațiile, însă începând cu anii 1990 a cunoscut cea mai mare dezvoltare [2]. Sistemele de comunicații întemeiate pe tehnica DS-CDMA (CDMA cu secvență directă) sunt caracterizate de creșterea capacității prin utilizarea tehnicii de acces multiplu cu diviziune în cod care alocă fiecărui utilizator un cod de împrăștiere individual, ortogonal cu cele folosite de ceilalți utilizatori, ceea ce duce la creșterea benzii de frecvență ocupate de fiecare utilizator, deci de întregul sistem, dar și la scăderea densității spectrale medii de putere, astfel încât mai mulți utilizatori pot folosi simultan aceeași bandă de frecvențe fără a interfera, oferind astfel și o mai mare flexibilitate în alocarea canalelor. Totuși sistemele DS-CDMA prezintă o limită "soft" a numărului de utilizatori care pot comunica simultan în canale cu fading, pentru un anumit nivel al performanței, atribuit fiecărui utilizator. Această limitare este cauzată de interferențele de acces multiplu (MAI) dintre utilizatori și de interferențele între simboluri (ISI) care apar din cauza existenței căilor de comunicație multiple în condițiile în care rata de transmitere a fiecărui utilizator individual este foarte ridicată. Prin urmare, eliminarea acestor interferențe este foarte importantă în rezolvarea problemelor sistemelor DS-CDMA.

Introducerea detectoarelor multiutilizator în anii 1980 a atras atenția asupra acestei tehnici, datorită abilității de reducere a interferențelor de acces multiplu, contribuind la creșterea capacității și performanțelor acestor sisteme. De atunci, în literatură s-au propus diferite tipuri de detectoare multiutilizator, atât pentru transmisia sincronă, cât și pentru cea asincronă; dar există o legătură de directă proporționalitate între performanțele obținute și efortul computațional. Pe măsură ce rezultatele se îmbunătățesc și efortul de calcul devine mai mare. La ora actuală în literatură sunt propuse diferite tipuri de detectoare și combinații de metode, care au un singur scop, acela de a dezvolta un sistem optim, din punctul de vedere al efortului de calcul, care să ofere utilizatorilor performanțe cât mai bune.

Detectorul multiutilizator optimal, care minimizează probabilitatea de eroare, este implementat utilizând algoritmul Viterbi, algoritmul a cărui complexitate crește exponențial cu numărul de utilizatori [3]. Pentru a reduce această complexitate au fost dezvoltate diferite receptoare suboptimale care, combinate cu diferite metode de detecție, contribuie la îmbunătățirea performanțelor sistemelor DS-CDMA [4, 5, 6, 7, 8]. Din categoria detectoarelor suboptimale propuse fac parte și cele liniare, cum ar fi detectorul cu decorelare și cel de minimizare a erorii pătratică medii. Și în cazul acestora, necesitatea cunoașterii pe lungă durată a diferitelor coduri de împrăștiere folosite, a timpului și a amplitudinilor i-a determinat pe cercetători să își îndrepte atenția asupra detectoarelor adaptive, care pot fi implementate utilizând tehnici adaptive de antrenare [9] sau tehnici adaptive oarbe [10]. Pe de altă parte, utilizarea algoritmilor adaptivi standard de eliminare a interferențelor, atunci când canalul variază în timp, poate

conduce la performanțe slabe. În [11] s-a arătat că algoritmul adaptiv MMSE standard poate obține performanțe slabe din cauza modificării în timp a canalului, atunci când fadingul este rapid. Pentru a rezolva această problemă de urmărire a canalului, câțiva algoritmi modificați au fost propuși în [11, 12] pentru canale afectate de fading plat și în [13, 14] pentru fading selectiv în frecvență.

Pe de altă parte, transmisia datelor cu rate mari nu este afectată, din punctul de vedere al performanțelor, numai de zgomot și MAI, ci și de interferențele intersimbol care devin mai semnificative pe măsură ce durata de simbol scade, devenind comparabile cu întârzierile produse de propagarea pe mai multe căi, în special în orașe, unde acest tip de propagare este dominant. Pentru a elimina și această problemă în [15, 16] au fost propuse detectoare suboptimale cu și fără decizie cu reacție bazate pe forțarea la zero (ZF – Zero Forcing) și pe egalizarea MMSE. Marele neajuns al acestor tipuri de detectoare este necesitatea cunoașterii tuturor codurilor de împrăștiere folosite de utilizatori.

Bazat pe [17], autorii din [18] propun un algoritm adaptiv generalizat orb pentru sistemul de comunicații radio DS-CDMA, cu scopul de a elimina interferențele intersimbol și cele de acces multiplu, apărute din cauza fadingului Rayleigh din canal. În plus, se analizează și efectele aduse de folosirea detectorului propus în canale MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output).

Diversificarea sistemelor radio conduce la necesitatea eficientizării spectrale. Prin urmare, un interes foarte mare s-a manifestat în dezvoltarea sistemelor care oferă în același timp capacitate mare și rată de transmisie mare, fiind rezistente la MAI, în special pentru calea descendentă. Un astfel de sistem este dat de combinația între tehnologia MIMO și sistemele multiutilizator CDMA. Sistemele MIMO au determinat apariția codurilor spațio-temporale (STC - Space-Time Code), startul fiind dat de [19], unde s-a arătat că acestea pot furniza atât diversitate spațială, cât și câștig de codare. O clasă de STC se referă la codarea bloc spațio-temporală (STBC - Space-Time Block Codes). Alamouti a fost cel care a propus o astfel de schemă de codare cu $N=2$ antene de emisie și M antene de recepție [20], ca o simplă schemă de diversitate spatio-temporală la transmisie. Detecția semnalului pentru această schemă este bazată pe receptorul de plauzibilitate maximă (ML – Maximum Likelihood), care poate fi implementat folosind procesare liniară. Mai târziu au fost propuse și ale scheme de codare spațio-temporală.

Modul de folosire a codurilor de împrăștiere influențează performanțele și complexitatea sistemului MIMO DS-CDMA. De-a lungul timpului au fost studiate două astfel de scheme care pot fi combinate cu detectoarele liniare multiutilizator. Una dintre scheme folosește împrăștiere spațio-temporală (STS - space-time spreading), în care fiecare antenă are atribuită propria secvență de împrăștiere [21, 22, 23]. Datorită acestui fapt, informația trimisă pe fiecare antenă se distinge prin intermediul acestui cod unic, interferențele care pot apărea între antene fiind reduse considerabil. Cea de-a doua schemă folosește împrăștierea în timp (TS - time spreading), unde antenele unui anumit utilizator folosesc aceeași secvență de împrăștiere [24, 22, 25], performanțele sistemului ajungând să depindă și de interferențele dintre antene.

Un rol important în detecția multiutilizator îl are algoritmul de prelucrare a datelor folosit la recepție. Recepția coerentă contribuie la obținerea unei probabilități de eroare mai mici decât cea obținută în cazul recepției necoerente, deoarece detectorul deține toate informațiile despre canal [26]. În situațiile în care aceste informații nu sunt cunoscute se încearcă o estimare a lor. Estimarea de canal se poate realiza folosind semnale pilot sau metode de detecție multiutilizator oarbe.

Estimarea canalului bazată pe tehnicile de antrenare este des întâlnită în literatură. Cu toate acestea, folosirea acestei metode poate contribui la degradarea performanțelor ca urmare a interferențelor de acces multiplu. Această degradare devine vizibilă atunci când nivelul de interferență crește. Ca un remediu pentru această problemă, în [27] autorii propun o schemă care implică estimarea de canal și detecția informației transmise, bazată pe tehnica de antrenare suprapusă pentru sistemele de împrăștiere spațio-temporale. Pentru eliminarea efectului produs de interferențele din canal și de erorile de estimare a datelor se folosesc două etape de decorelare: unul pentru canal și celălalt pentru date. Comparativ cu alte tehnici de estimare convenționale, rezultatele obținute arată că tehnica propusă este mai robustă la erorile cauzate de estimarea canalului.

1.2 SCOPUL TEZEI DE DOCTORAT

După cum s-a observat din prezentarea domeniului, în ultima perioadă majoritatea cercetătorilor și-au îndreptat atenția către dezvoltarea de noi detectoare multiutilizator îmbinând tehnica CDMA cu alte tehnici, cum ar fi OFDM, MIMO etc. În toate aceste direcții de cercetare codurile de împrăștiere, specifice metodei DS-CDMA, folosite pentru separarea utilizatorilor pe canal, sunt ortogonale și informația transmisă este de tip aleator. Prin urmare, prezenta lucrare a avut două mari scopuri. Primul a fost acela de a înlocui semnalul aleator cu unul care să conțină informație utilă, astfel s-a ales ca fiecare utilizator să transmită propria imagine cu ton continuu de gri. Folosirea imaginilor a permis ca evaluarea performanțelor detectoarelor multiutilizator alese să nu fie realizată numai pe baza clasicei probabilități de eroare de bit, ci și folosind diverși indici de măsurare a calității imaginii. Totodată, în evaluarea performanțelor se va ține cont și de percepția vizuală, fapt ce va contribui la prezentarea unor concluzii interesante privind calitatea informației recepționate, după cum se va observa de-a lungul lucrării. Aceste concluzii nu s-ar fi putut obține dacă s-ar fi folosit, în continuare, clasicul semnal aleatoriu pentru generarea datelor.

Al doilea scop al lucrării îl constituie dezvoltarea unui nou detector multiutilizator care să contribuie la îmbunătățirea calității informației recepționate de utilizatorii care folosesc coduri de împrăștiere neortogonale. Așa cum a mai fost menționat, majoritatea cercetătorilor folosesc pentru separarea utilizatorilor pe canal coduri ortogonale, fapt ce a determinat studierea efectului produs de neortogonalitatea codurilor asupra performanțelor sistemelor și de a analiza efectul lor asupra imaginilor recepționate în absența și în prezența fadingului de pe canal. În urma rezultatelor obținute, s-a ajuns la concluzia că utilizatorii care folosesc codurile cele mai puternic corelate obțin și rezultatele cele mai slabe; prin urmare s-a încercat dezvoltarea unui detector multiutilizator care are rolul de a crește performanțele acestor utilizatori.

În continuare se va prezenta pe scurt conținutul lucrării, schițând, pentru fiecare capitol, cele mai importante idei.

1.3 CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT

Lucrarea este alcătuită dintr-o introducere urmată de alte șapte capitole. Structura tezei de doctorat a fost aleasă cu intenția de a puncta și evidenția problemele și provocările introduse de apariția fadingului multicel în aplicațiile CDMA.

La începutul capitolului doi se prezintă în detaliu evoluția accesului multiplu cu diviziune în cod, de la simpla sa folosire în sistemele fără fir, la combinarea acestuia cu alte metode, cum ar fi MIMO, OFDM etc., cu scopul de a crește robustețea și performanțele detectoarelor multiutilizator. Pentru a înțelege cât mai bine evoluția acestor receptoare, mai întâi este prezentat detectorul convențional, întâlnit și sub denumirea de detector cu filtre adaptate, datorită alcătuirii sale dintr-un banc de filtre adaptate. O categorie importantă este aceea a detectoarelor optimale, bazate pe principiul plauzibilității maxime sau pe principiul maxim a posteriori. Apariția acestui tip de detector marchează începutul detecției multiutilizator. Deși cu ajutorul acestor detectoare se obțin probabilități de eroare mult mai mici, ele au marele dezavantaj al creșterii complexității de calcul atunci când numărul de utilizatori din sistem crește și, totodată, necesită cunoașterea a priori a matricei de intercorelație și a amplitudinii semnalelor emise de utilizatori. Prin urmare au fost dezvoltate detectoarele suboptimale, care încearcă sau tind să atingă aceleași performanțe ca și detectoarele optimale, însă cu marele avantaj al reducerii complexității de calcul. Din această clasă de receptoare fac parte detectoarele liniare și cele neliniare. Cele liniare au, în general, o complexitate mai mică decât cele optimale, fiind accesibile pentru o multitudine de aplicații. La rândul lor, detectoarele neliniare au fost dezvoltate cu scopul de a rezolva problemele întâmpinate de cele liniare. Principalul avantaj al acestor detectoare suboptimale, este faptul că ele pot fi folosite și în combinație cu filtre adaptive, reducând astfel volumul de informații, despre canal și semnalul transmis, folosit la recepție pentru estimare.

Capitolul trei are rolul de a prezenta performanțele a trei dintre detectoarele descrise în capitolul doi, și anume: detectorul convențional, cel optimal și detectorul liniar bazat pe minimizarea erorii pătratică medii, atunci când datele emise sunt imagini transmise sub formă numerică. Toate rezultatele din acest capitol au fost prezentate în articole publicate în volumele a două conferințe și a două reviste, cotate în baze de date internaționale. S-a preferat transmisia imaginilor în locul biților aleatori, pentru a putea beneficia de multitudinea metricilor utilizate în compararea a două imagini și de posibilitatea realizării unei comparații subiective între imaginea transmisă și cea recepționată, analizând imaginile din punctul de vedere al percepției vizuale.

Lucrarea continuă cu capitolul patru, unde pentru început sunt descriși principalii factori ce determină apariția fadingului, urmați de prezentarea parametrilor canalului care contribuie la definirea tipului de fading. În funcție de durata simbolului transmis, dispersia întârzierii și timpul de coerență (dacă discuția se face în domeniul timp) sau în funcție de banda semnalului transmis, banda canalului și dispersia Doppler (dacă discuția se face în domeniul frecvență), rezultă patru tipuri de fading: fading rapid plat, fading lent plat, fading rapid selectiv în frecvență și fading lent selectiv în frecvență. Pentru a putea modela matematic aceste tipuri de fading sunt folosite modele statistice, date sub forma unor distribuții. Se pune accentul pe trei distribuții, și anume, distribuția Rayleigh, Rice și Nakagami-m, prezentând, pentru fiecare, tipul de mediu pentru care acestea se aplică cel mai bine. Totodată, având în vedere că simulările sunt realizate în mediul de simulare MATLAB, iar coeficienții canalului, care urmează una din cele trei distribuții, trebuie exprimați sub formă de numere complexe, sunt expuse metode de realizare a acestor coeficienți utilizând semnale aleatoare, care la rândul lor sunt caracterizate de ale distribuții, cum ar fi distribuția Normală și cea Gamma.

Capitolul cinci este rezervat rezultatelor obținute de către detectorul cu decorelare în prezența fadingului plat, folosind distribuția Rayleigh, atunci când codurile de împrăștiere sunt ortogonale. La început sunt prezentate rezultatele obținute atunci când sistemul are câte o singură antenă la emisie și recepție, iar apoi se analizează performanțele obținute folosind codarea bloc spațio-temporală.

În următorul capitol, capitolul 6, se evaluează performanțele a două detectoare liniare, clasice, detectorul cu decorelare și detectorul de minimizare a erorii pătratică medii, atunci când fadingul asociat canalului este caracterizat de una din distribuțiile prezentate în capitolul patru. Fiecare detector are de estimat informația provenită de la patru utilizatori care transmit propria imagine cu ton continuu de gri, atunci când utilizatorii sunt separați prin intermediul codurilor neortogonale. S-au ales aceste coduri, pentru a evidenția neajunsurile fiecărui detector în parte, atunci când apare corelație între utilizatori. La începutul capitolului sunt prezentate, pe scurt, structurile celor două detectoare multiutilizator liniare, modificate pentru a combate efectul fadingului asocial canalului. Deoarece s-a ales transmisia de imagini digitale, în locul datelor generate aleator, în cadrul capitolului sunt expuși trei indicatori de măsurare a calității imaginii recepționate: indexul universal pentru calitatea imaginilor (*UQI*), estimatorul *SSIM* multi-scală (*MS-SSIM*) și indexul de evaluare a fidelității informației vizuale (*VIF*). Fiecare indice evaluează calitatea imaginii după criterii diferite, prin urmare și valorile rezultate pentru fiecare vor diferii.

Capitolul 7, prezintă un detector multiutilizator îmbunătățit, bazat pe algoritmul de proiecție pe mulțimi convexe. Acest algoritm nu este pentru prima dată folosit în domeniul accesului multiplu, dar de obicei este utilizat pentru estimarea întârzierilor canalului sau de estimare a coeficienților acestuia. Ținând cont de această aplicabilitate, algoritmul a fost modificat pentru a extrage din semnalul recepționat informația care s-a dorit a fi transmisă, încercând o reducere a efectului produs de corelația dintre codurile de împrăștiere. Înainte de a avea loc estimarea informației este înlăturat efectul fadingului prin folosirea codării bloc spațio-temporale. Rezultatele obținute de acest detector sunt comparate cu cele din capitolul precedent, punctând pentru fiecare tip de fading prezent în canal, avantajele și dezavantajele folosirii acestui detector. Și acesta ca și celelalte două detectoare, presupune cunoscute codurile de împrăștiere folosite de utilizatori.

Lucrarea se încheie cu capitolul de concluzii unde se regăsesc principalele rezultate prezentate de-a lungul lucrării și motivațiile care au condus la alegerea acestor tipuri de simulări. În final sunt enumerate articolele scrise de autoare și folosite pentru redactarea tezei de doctorat.

CAPITOLUL 2 DETECȚIA MULTIUTILIZATOR

Atunci când se vorbește despre *deteția multiutilizator* se are în vedere cazul unui singur receptor care detectează multiplele semnale transmise, simultan, de la mai mulți utilizatori; de exemplu calea ascendentă a unei singure stații de bază dintr-un sistem celular. Superpoziția semnalelor transmise se poate datora caracteristicilor neideale ale mediului în care are loc transmisia sau poate fi o parte integrată a metodei de multiplexare ca în cazul accesului multiplu cu diviziune în cod [28].

În cazul eliminării interferențelor receptorul primește mai multe semnale (cel puțin două) sau șiruri, de date dar este interesat de un singur semnal din totalitatea celor primite, restul fiind considerate ca semnale perturbatoare, urmărindu-se suprimarea lor [29, 30, 31]. Desigur, dacă receptorul dorește să demoduleze un subset de două sau mai multe semnale dintr-o sumă de semnale mixate atunci va detecta, în același timp, subsetul de semnale dorite, în timp ce le elimină pe cele interferente [29].

Atenția îndreptată de-a lungul anilor asupra deteției multiutilizator și a suprimării interferenței se datorează succesului accesului multiplu cu diviziune în cod în sistemele celulare mobile. În sistemele CDMA, mai mulți utilizatori transmit simultan în aceeași bandă de frecvențe, iar datele trimise de către fiecare utilizator sunt separate cu ajutorul unor semnale proprii (coduri). Aceste coduri proprii, dacă sunt mutual ortogonale, contribuie la evitarea interferențelor între diferiții utilizatori care folosesc același canal în același timp. Este foarte important de realizat că, deși aceste coduri ortogonale se suprapun și în timp și în frecvență, intercorelația sau produsul scalar dintre ele trebuie să fie nul pentru a asigura interferență nulă [32].

Se poate arăta că, folosind coduri cvasi-ortogonale în sistemele celulare, capacitatea cunoaște o îmbunătățire considerabilă față de capacitatea dată de tehnicile convenționale. Acest lucru se întâmplă datorită faptului că numărul de canale în CDMA (cu alte cuvinte, codurile cvasi-ortogonale) este din punct de vedere teoretic „nelimitat”. Dar, pe măsură ce numărul de utilizatori din sistem crește, și nivelul interferenței dat de intercorelația dintre utilizatori crește, fapt ce conduce la degradarea performanțelor sistemului [33]. Prin urmare, cum factorul de reutilizare a frecvenței nu intră în discuție în cazul sistemelor cu diviziune în cod, utilizarea codurilor cvasi-ortogonale duce la îmbunătățirea capacității față de sistemele de bază. Prețul plătit în cazul folosirii acestor coduri este apariția interferențelor de acces multiplu (MAI) [34]. Alte beneficii ale înlăturării restricției de ortogonalitate perfectă a codurilor, care fac din CDMA o tehnică de acces multiplu atractivă pentru multe sisteme de comunicații multiutilizator, sunt [3]:

- utilizatorii pot fi asincroni, cu alte cuvinte, utilizatorii nu trebuie să fie sincronizați, și totuși cvasi-ortogonalitatea poate fi menținută printr-o modelare corespunzătoare a codurilor cu spectru împrăștiat;
- numărul de utilizatori simultani nu mai este limitat la dublul produsului dintre durata și lățimea de bandă a codurilor;
- împărțirea resurselor canalului este în mod inerent dinamică: exactitatea împărțirii resurselor depinde mai degrabă de numărul de utilizatori simultani, decât de numărul de potențiali utilizatori din sistem, care de regulă este mai mare.

Totuși, numărul de utilizatori din sistemul CDMA este limitat de anumiți factori, și anume: raportul semnal-zgomot recepționat, nivelul intercorelației dintre coduri, redundanța informației și tipul de receptor utilizat. Ultimul factor este de fapt obiectivul deteției multiutilizator: proiectarea și analiza tehnicii de demodulare a datelor pentru maximizarea performanțelor în prezența interferențelor de acces multiplu [35]. Performanța tehnicii de acces multiplu cu diviziune în cod este limitată de interferențele multiutilizator, în particular, performanța căii ascendente care este sensibilă la variațiile de putere ale utilizatorilor [36].

În literatură s-au propus o mulțime de tehnici CDMA, cea mai cunoscută este tehnica DS-CDMA, ce implică atribuirea de coduri pseudoaleatoare (coduri PN) [3] fiecărui utilizator, secvențe. Aceste coduri sunt cvasi-ortogonale, având proprietăți de corelație suficient de bune și de asemenea proprietăți spectrale mai bune decât cele perfect ortogonale, de tip Walsh. Totodată, codurile PN sunt, tradițional, cele mai vechi coduri folosite în DS-CDMA. Totuși, în prezenta lucrare au fost preferate codurile din familia Walsh-Hadamard deoarece au o lungime mai mică decât cele PN și durata de calcul a fost un parametru critic.

2.1 MODELUL PENTRU SEMNAL ZAGA

Se consideră sistemul de comunicații DS-CDMA sincron în banda de bază cu K utilizatori. Considerând că se transmite un semnal BPSK (Binary Phase Shift Keying), semnalul recepționat poate fi scris astfel [37]:

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2.1)$$

unde: • $b_k \in \{-1, +1\}$ reprezintă bitul transmis de utilizatorul k , • T este perioada de bit (inversul ratei de bit R), • secvența de împrăștiere pentru utilizatorul k este dată de vectorul $s_k(t)$, normalizat astfel încât să aibă energie unitară; în afara intervalului $[0, T]$ $s_k(t)$ este nul, prin urmare, nu apar interferențe intersimbol, • A_k este amplitudinea semnalului transmis de către utilizatorul k , iar A_k^2 reprezintă energia acestuia.

Performanțele diferitelor strategii de demodulare depind de raportul semnal-zgomot, A_k / σ , și de similitudinea dintre codurile de împrăștiere, cuantificată de intercorelația dintre ele. Intercorelația dintre codurile de împrăștiere corespunzătoare utilizatorilor i și j se definește astfel [3]:

$$\rho_{ij} = \int_0^T s_i(t) s_j(t) dt. \quad (2.2)$$

Presupunând că receptorul este interesat de datele transmise de toți utilizatorii (de exemplu: în cazul căii ascendente, receptorul poate fi stația de bază), obiectivul receptorului este de a estima vectorul \mathbf{b} , care reprezintă simbolurile transmise.

2.2 DETECTORUL CONVENȚIONAL

Detectorul convențional reprezintă cea mai simplă metodă de demodulare a semnalului recepționat: la intrarea unui banc de filtre adaptate, fiecare filtru fiind adaptat unei secvențe de împrăștiere proprie fiecărui utilizator, este aplicat semnalul recepționat. Semnalele obținute la ieșirea acestui banc de filtre reprezintă o statistică suficientă pentru a putea estima valorile datelor binare transmise de utilizatori. Astfel se demodulează toți utilizatorii, independent unii față de ceilalți.

În contextul modelului prezentat anterior, folosind relația (2.1), aceste semnale se pot scrie:

$$y_k = A_k b_k + \sum_{j \neq k} A_j b_j \rho_{jk} + n_k, \quad (2.3)$$

în care primul termen reprezintă semnalul dorit, al doilea pune în evidență MAI, iar ultimul termen reprezintă zgomotul gaussian n_k de medie nulă și varianță σ^2 .

Statistica termenului MAI este diferită față de cea a zgomotului și, prin urmare, trebuie tratată diferit. Mai specific, interferențele de acces multiplu nu pot fi eliminate cu ajutorul filtrelor trece bandă, deoarece se află în aceeași bandă cu semnalul dorit, față de zgomot care se află într-o bandă largă.

Pentru o exprimare mai compactă, relația (2.3) este scrisă sub formă matriceală astfel [3]:

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{n}, \quad (2.4)$$

unde: • \mathbf{A} reprezintă matricea amplitudinilor recepționate de la toți utilizatorii; • \mathbf{b} este vectorul biților recepționați de la toți utilizatorii; • \mathbf{R} descrie matricea de intercorelație.

În cazul unei alegeri corecte a codurilor, ortogonale sau cvasi-ortogonale, detectorul convențional, la demodulare poate neglija perturbațiile produse de MAI. Aplicând același detector pentru cazul neortogonal, MAI va fi tratat ca zgomot.

Luând în considerare forma semnalului de la ieșirea fiecărui filtru adaptat din relația (2.3) și considerând codul asociat utilizatorului k ortogonal cu codurile asociate tuturor celorlalți utilizatori, $\dots_{ik} = 0, i \neq k$, valoarea estimată a bitului transmis este dată de semnul (polaritatea) semnalului [38]:

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(y_k) = \text{sgn}(A_k b_k + n_k). \quad (2.5)$$

Având în vedere cele de mai sus, detectorul convențional este simplu de implementat și nu necesită informații suplimentare legate de canal sau amplitudinea utilizatorilor. Totodată, nu ia în considerare interferențele de acces multiplu și prin urmare atribuie o probabilitate de eroare nenulă chiar dacă nu există zgomot. Are însă dezavantajul că este sensibil la efectul „aproape – departe”.

2.3 DETECTORUL MULTIUTILIZATOR OPTIMAL

Detecția multiutilizator optimală reprezintă o operație de estimare a simbolurilor transmise de către toți utilizatorii, prin metode statistice, folosind principiul plauzibilității maxime (“maximum likelihood”, ML) sau principiul maxim a posteriori (“maximum a posteriori”, MAP). Criteriul de optimizare este dat de probabilitatea de eroare, fiind cel mai important criteriu de evaluare a performanțelor sistemelor de comunicații.

2.3.1 Principiul plauzibilității maxime

Detectorul ML determină simbolurile estimate astfel [39]:

$$\hat{\mathbf{b}} = \arg \left\{ \max_{\mathbf{b}} \|\mathbf{y} - \mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{b}\| \right\}, \quad (2.6)$$

unde $\|\bullet\|$ reprezintă norma Euclidiană.

Detectorul ML, deși poate elimina destul de bine efectele produse de interferențe, are două dezavantaje principale și anume: complexitatea și cantitatea de informații necesare pentru estimare. Deoarece \mathbf{b} conține valori discrete, calcularea lui $\hat{\mathbf{b}}$ înseamnă o optimizare peste un set discret de valori, ceea ce este cunoscut a fi dificil de calculat. A doua problemă a detectorului ML este aceea că relația (2.6) presupune implicit cunoașterea produsului $\mathbf{R}\mathbf{A}$. Acest lucru nu ar fi, probabil, o problemă majoră pentru un sistem cu o antenă și un canal afectat de căi multiple de propagare, în care se înregistrează fading lent, astfel încât canalul poate fi estimat cu precizie [39].

2.3.2 Principiul maxim a posteriori

În cazul detectorului bazat pe principiul maxim a posteriori, biții transmiși se estimează la recepție după relația [39]:

$$\hat{\mathbf{b}} = \arg \left\{ \max_{\mathbf{b}} \Pr(\mathbf{b} \text{ transmis} \mid \mathbf{y} \text{ receptionat}) \right\}, \quad (2.7)$$

care minimizează probabilitatea de eroare. Aceasta este similară detectorului ML numai dacă simbolurile sunt echiprobabile. Detectorul MAP calculează mai întâi estimările parțiale ale fiecărui simbol (de exemplu, raporturile de probabilitate), și pe baza lor, folosind comparația cu un prag, calculează estimările finale.

Detectorul MAP suferă de aceleași neajunsuri ca și detectorul ML. Însă, în unele aplicații, în care dimensiunea sistemului este mică, complexitatea de calcul poate fi redusă. Detectorul optimal trebuie să ia în considerare informația disponibilă în toți biții recepționați pentru a estima bitul pentru un anumit utilizator.

2.4 DETECTOARE MULTIUTILIZATOR SUBOPTIMALE

În această secțiune sunt prezentate numai detectoarele care au fost folosite în simulări. Acești algoritmi de detecție pot să atingă aceleași performanțe ca și detectoarele optimale, cu marele avantaj al reducerii complexității de calcul.

Detectoare multiutilizator liniare

Detectoarele liniare au, în general, o complexitate de calcul mai mică decât cele optimale, fiind accesibile pentru o multitudine de aplicații. Această clasă de algoritmi implică aplicarea unei transformări liniare la ieșirea filtrului adaptat (detector pentru un sigur utilizator) cu scopul de a estima vectorul \mathbf{b} .

2.4.1 Detectorul cu decorelare

Dacă sistemul cu acces multiplu în banda de bază (eliminând zgomotul) este văzut ca un filtru determinist cu multe intrări și multe ieșiri, având funcția de transfer \mathbf{R} , atunci se poate elimina interferența de la ieșirile filtrelor adaptate prin aplicarea funcției de transfer inverse. Cu alte cuvinte, receptorul cu decorelare aplică inversul matricei de corelare la ieșirea filtrului adaptat cu scopul de a decupla informația [38]:

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\mathbf{R}^{-1} \mathbf{y}_{FA}). \quad (2.8)$$

Având în vedere că \mathbf{R} reprezintă matricea de intercorelație normată între codurile de împrăștiere ale utilizatorilor, detectorul cu decorelare nu necesită informații legate de puterea semnalului recepționat. Lipsa necesității estimării puterii semnalelor recepționate este un mare avantaj al acestui detector, având în vedere că estimarea puterii tinde să fie extrem de zgomotoasă [40]. Acest aspect reiese din faptul că \mathbf{A} este o matrice diagonală, fapt ce contribuie la eliminarea efectul „aproape – departe” [3].

Există, totuși, două mari dezavantaje ale acestui receptor. Primul este dat de necesitatea calculării inversei matricei de intercorelare, pentru a obține coeficienții decorelați. Al doilea dezavantaj apare atunci când RSZ este mic. Performanțele receptorului pot fi serios afectate de intensificarea puterii zgomotului, putând ajunge mai slabe decât în cazul detectorului convențional [41].

2.4.2 Detectorul liniar cu minimizarea erorii pătratic medii

Detectorul cu decorelare poate atinge rate de eroare de bit mai mici decât cele ale detectorului convențional, atunci când toate semnalele interferente sunt foarte slabe [42]. Acest lucru conduce la ideea necesității incorporării, exacte sau aproximative, a informațiilor privind amplitudinile recepționate, cu scopul de a obține un detector care surclasează performanțele detectorului cu decorelare. Detectorul liniar MMSE reprezintă o soluție la această problemă.

Prin urmare, principiul de detecție al detectorului MMSE poate fi descris astfel [38]

$$\hat{b}_k = \text{sgn} \left(\frac{1}{A_k} \left(\left[\mathbf{R} + \dagger^2 \mathbf{A}^{-2} \right]^{-1} \mathbf{y} \right)_k \right) = \text{sgn} \left(\left(\left[\mathbf{R} + \dagger^2 \mathbf{A}^{-2} \right]^{-1} \mathbf{y} \right)_k \right). \quad (2.9)$$

Acest detector are aceleași caracteristici ca detectorul cu decorelare, cu excepția necesității cunoașterii amplitudinilor recepționate [3].

CAPITOLUL 3 PERFORMANȚELE DETECTOARELOR MULTIUTILIZATOR ATUNCI CÂND SUNT TRANSMISE IMAGINI

Scopul acestui capitol este de a realiza o comparație între trei detectoare multiutilizator, și anume detectorul convențional, detectorul MMSE și cel optimal, atunci când în locul unor simple semnale aleatoare sunt transmise semnale reale, mai exact, fiecare utilizator va transmite o imagine (primele simulări au fost realizate folosind imagini alb-negru [43], iar apoi s-a trecut la imagini cu ton continuu de gri [44, 45, 46], utilizarea imaginilor cu nuanțe de gri implicând un volum mai mare de calcul). S-a preferat transmisia de imagini, în locul semnalelor aleatoare, pentru a putea realiza o comparație între detectoarele utilizate folosind și alți estimatori, în afară de probabilitatea de eroare de bit. Totodată având la dispoziție imagini, se poate realiza o comparație subiectivă între imaginea transmisă și cea recepționată, analizând imaginile din punctul de vedere al percepției vizuale.

3.1 ESTIMATORI DE EVALUARE A PERFORMANȚELOR

Atunci când informația transmisă prin canale implică imagini digitale, există numeroși estimatori de performanță care pot fi folosiți pentru a compara imaginea originală cu cea recuperată. Pentru simulări au fost utilizați trei indici, cu scopul de a analiza performanțele atinse de fiecare detector atunci când este implicată transmisia de imagini, și anume: rata de eroare de bit, raportul semnal-zgomot de vârf și indexul de similitudine.

Raportul semnal-zgomot de vârf este un indice de performanță folosit în transmisiunile video, reprezentând raportul între puterea maximă posibilă a unui semnal și puterea maximă a zgomotului care afectează semnalul. Atunci când două imagini sunt identice, *PSNR* tinde către infinit.

Estimatorul *SSIM* a fost dezvoltat cu scopul de a îmbunătăți indicii de performanță convenționali *PSNR* și *MSE*, care s-au dovedit a fi inconsistente cu percepția ochiului uman [47]. *SSIM* este calculat pentru o fereastră din imagine, fereastră care apoi culisează pixel cu pixel, din colțul superior stâng al imaginii până în cel din dreapta jos. Rezultă în final o hartă cu valori ale indicelui de similitudine [48]. În practică, calitatea întregii imagini este determinată ca media valorilor hărții *SSIM*, prin intermediul estimatorului *MSSIM* (Mean *SSIM*) [47, 49]. Rezultatul parametrului *MSSIM* este o valoare între -1 și 1, unde valoarea 1 se obține atunci când imaginea recepționată este identică cu cea transmisă.

3.2 MODELUL SISTEMULUI. REZULTATE OBȚINUTE

Așa cum s-a menționat, folosirea imaginilor cu ton continuu de gri implică un volum mare de calcul, de aceea pentru simulări a fost ales cel mai simplu scenariu, acela în care fiecare detector trebuie să recupereze datele de la doi utilizatori, fiecare utilizator transmițând o singură imagine (vezi Fig. 3.1). Pentru a putea transmite imaginile prin canalul afectat de zgomot aditiv gaussian alb, acestea au fost transformate într-un șir de date binare, de forma $\{\pm 1\}$.

La trecerea prin canal, utilizatorii sunt separați cu ajutorul secvențelor de împrăștiere, de lungime 8. În funcție de structura acestor coduri, utilizatorii vor fi mai mult sau mai puțin corelați între ei (coeficientul de corelație, $\dots \in [0,1]$, unde $\dots = 0$ semnifică necorelarea dintre utilizatori, iar pe măsură ce \dots crește intercorelația dintre utilizatorii crește, ajungând ca pentru $\dots = 1$ să fie total corelați). La recepție cele trei detectoare, convențional, MMSE și optimal, vor recupera informația transmisă de fiecare utilizator și, pe baza estimatorilor descriși în subcapitolul 3.1, se vor analiza diferențele dintre imaginile originale și cele recuperate.

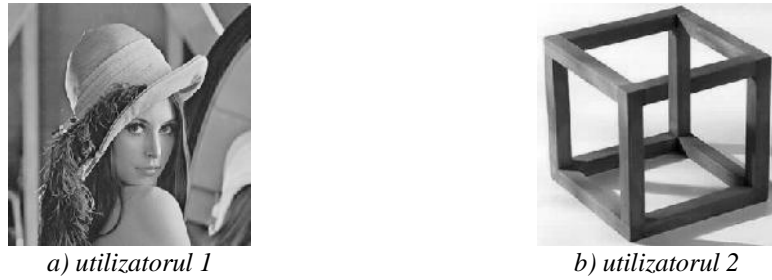


Fig. 3.1 Imaginile trimise de către utilizatori

Vor fi analizate mai multe scenarii. În primul scenariu ambii utilizatori transmit cu aceeași putere, iar coeficientul de intercorelație crește. În Fig. 3.2 sunt reprezentate performanțele celor trei detectoare comparate pe baza estimatorului probabilitatea de eroare de bit.

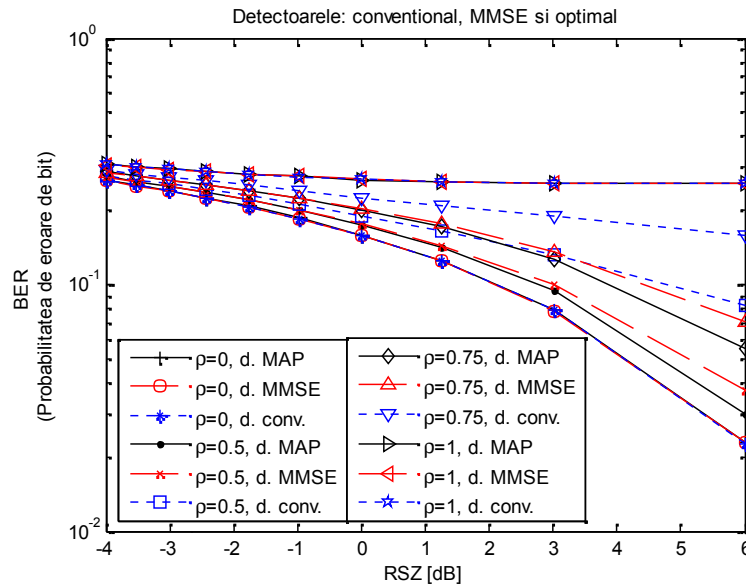


Fig. 3.2 Performanțele detectoarelor multiutilizator în funcție de probabilitatea de eroare de bit atunci când utilizatorii au amplitudini egale

Atunci când utilizatorii sunt necorelați, oricare ar fi detectorul utilizat, performanțele în funcție de RSZ sunt aceleași. Pe măsură ce coeficientul de intercorelație crește, performanțele detectoarelor se degradează, detectorul convențional fiind cel mai semnificativ afectat. De exemplu, rezultatele detectorului convențional pentru $\rho = 0,5$, atunci când $RSZ = 6 \text{ dB}$, sunt mai slabe decât cele ale detectorului MMSE pentru $\rho = 0,75$. Dacă pentru valori mici ale RSZ cele trei detectoare au aceleași performanțe, pentru același coeficient de corelație, pe măsură ce RSZ crește, rezultatele obținute încep să se diferențieze. În intervalul $[-4; 1,25] \text{ dB}$ detectorul MMSE atinge același rezultat ca și cel optimal, dar pentru valori mai mari ale RSZ de $1,25 \text{ dB}$ performanțele atinse de MMSE scad.

Performanța sistemului este sensibilă la variația de putere a utilizatorilor (clasica problemă a efectului „aproape – departe”, în care un utilizator mai apropiat de receptor va cauza interferență asupra utilizatorilor aflați la o distanță mai mare). Așa cum s-a menționat și în literatură, detectorul convențional este sensibil la acest tip de variație, fapt susținut și de rezultatele din Fig. 3.3 – 3.7.

În Fig. 3.3 – 3.7 sunt prezentate imaginile recepționate de către cele trei detectoare, convențional, MMSE și optimal, pentru ambii utilizatori, atunci când există niveluri diferite de corelație între aceștia, și amplitudinea primului utilizator este de două ori mai mare decât a celui secund, $A_1 = 2A_2 = 4$. Atunci când utilizatorii sunt necorelați, imaginile recepționate de către utilizatori au aceeași calitate, indiferent de detectorul folosit, iar calitatea imaginilor recuperate de primul utilizator este net superioară. În Fig. 3.3 se poate observa că valorile $MSSIM$, pentru primul utilizator, sunt aproximativ egale cu 1, ceea ce indică o recepție aproape perfectă, iar utilizatorul secund, datorită

diferenței de putere, reușește să recupereze numai 50% din imaginea inițială. Pe măsură ce valoarea coeficientului de corelație crește se observă o degradare a calității imaginilor recepționate, cea mai vizibilă fiind la detectorul convențional, pentru utilizatorul secund. Calitatea imaginilor recuperate de utilizatorul secund atunci când se folosește detectorul optimal, conform estimatorilor, este aproximativ egală, indiferent dacă valoarea coeficientului de corelație crește, acest lucru ne mai fiind valabil în cazul celorlalte detectoare analizate.

Efectul corelației dintre utilizatori este foarte ușor de observat pe baza imaginilor recepționate și reprezentate în Fig. 3.5(A-B), 3.6(A-B) și 3.9 (A-D). Unde din cauza corelației ridicate între semnalele trimise de utilizatori, primul utilizator îl „acoperă” pe cel de-al doilea. Folosind detectorul optimal această problemă dispare (Fig. 3.9 E și F).

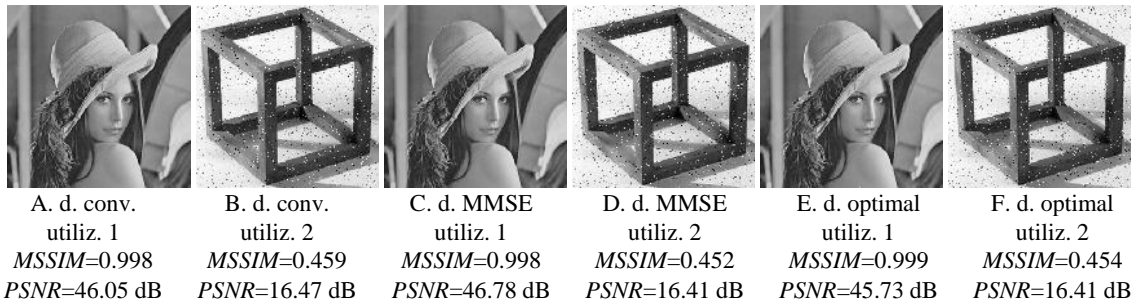


Fig. 3.3 Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ și $\dots=0$

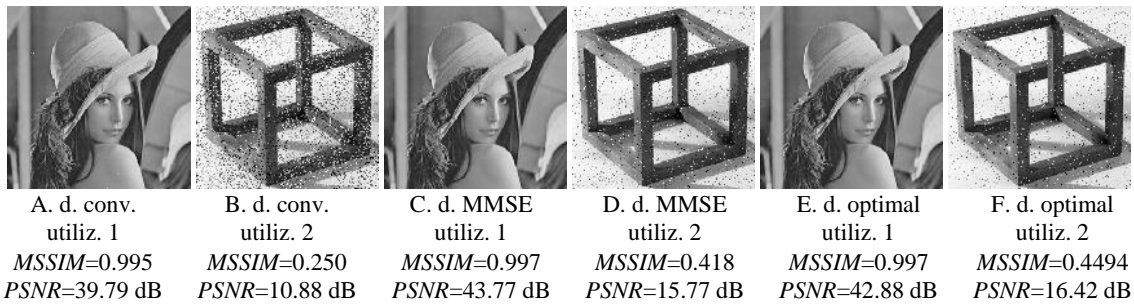


Fig. 3.4 Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ și $\dots=0,25$

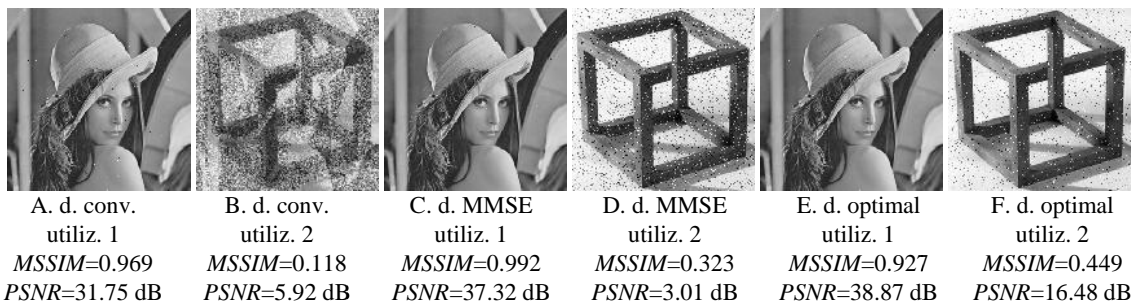


Fig. 3.5 Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ și $\dots=0,5$

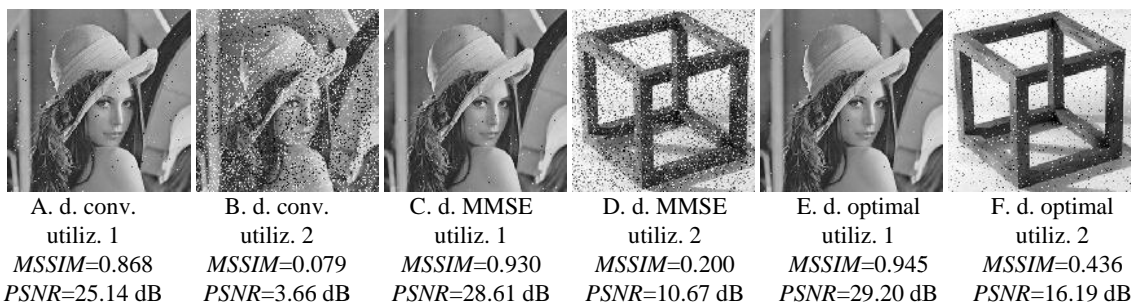


Fig. 3.6 Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1=2A_2=4$, $\dagger^2=1$ și $\dots=0,75$

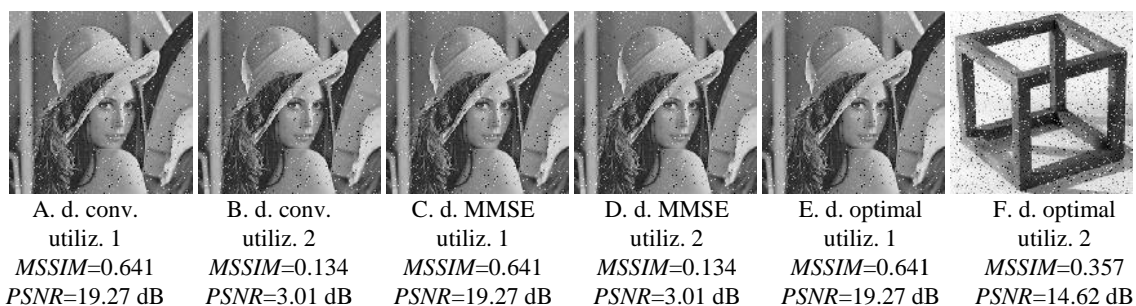


Fig. 3.7 Imaginile rezultate pentru cele trei detectoare analizate, $A_1 = 2A_2 = 4$, $\dagger^2 = 1$ și $\dots = 1$

3.3 CONCLUZII

Scopul acestui capitol a fost de a evidenția avantajele și dezavantajele a trei detectoare MUD, ce aparțin unor ramuri diferite ale detecției multiutilizator, atunci când este implicată transmisia de imagini digitale. S-au studiat efectele produse de diferența de putere între utilizatori și de intercorelația dintre aceștia asupra calității imaginilor transmise, atunci când canalul este afectat numai de zgomot alb, gaussian și aditiv. În primul rând trebuie menționat că nu au fost folosite tehnici de procesare a imaginilor, nici la emisie, nici la recepție, sau alte metode de eliminare a interferenței dintre utilizatori sau a zgomotului.

Din analiza rezultatelor obținute în subcapitolul precedent s-a observat că, atunci când utilizatorii sunt necorelați, adică pentru separarea acestora sunt folosite coduri de împrăștiere ortogonale, nu contează tipul de detector utilizat, performanțele atinse de toate detectoarele studiate fiind foarte apropiate. De asemenea, cele trei detectoare obțin același rezultat atunci când raportul semnal-zgomot are valori mici. În plus, pe măsură ce coeficientul de intercorelație crește, rezultatele obținute de detectoarele MUD analizate se degradează, iar detectorul convențional este cel mai semnificativ afectat. Aceste rezultate sunt valabile oricare ar fi de estimatorul de performanță folosit: probabilitatea de eroare de bit, raportului semnal-zgomot de vârf sau indexul de similitudine.

Totodată s-a demonstrat, și prin rezultatele obținute în urma simulărilor, că detectorul convențional atinge rezultate bune, chiar comparabile cu cele atinse de detectorul optimal atunci când utilizatorii sunt necorelați, evidențiind faptul că a fost special construit pentru utilizarea în condiții ideale (coduri de împrăștiere ortogonale). Totuși, atunci când între puterea de transmisie a utilizatorilor apar diferențe, performanțele detectorului convențional se degradează considerabil în comparație cu acele ale celorlalte detectoare analizate, dovedind sensibilitatea la efectul „aproape – departe”.

Superioritatea detectorului optimal reiese, în primul rând, atunci când se realizează o comparație între detectoare folosind percepția vizuală și valorile obținute de indexul de similitudine. Atunci când utilizatorii au puteri diferite și $\dots = 0$, imaginile recepționate de către utilizatori sunt foarte apropiate din punctul de vedere al percepției vizuale, pentru toate detectoarele analizate. Utilizatorul care a emis cu putere mai mare a obținut o calitate a imaginii net superioară, valorile obținute de indexul de similitudine fiind aproximativ duble față de cele obținute de celălalt utilizator. De asemenea, pe măsură ce coeficientul de intercorelație crește, detectorul MMSE și cel convențional își pierd din performanțe. Trebuie evidențiat faptul că, deși utilizatorii ajung să fie total corelați ($\dots = 1$), imaginile recuperate cu ajutorul detectorului optimal nu sunt afectate de interferența inter-utilizator (nu conțin informații din imaginile transmise de ceilalți utilizatori din sistem), așa cum sunt afectate imaginile estimate de celelalte detectoare analizate. Fapt ce scoate în evidență superioritatea detectorului optimal.

Toate aceste rezultate au reprezentat punctul de plecare pentru celelalte simulări, prezentate în capitolele următoare, în care s-a ținut cont și de fadingul asociat canalului și s-a încercat îmbunătățirea calității informației recepționate prin folosirea unui număr diferit de antene la emisie și la recepție.

CAPITOLUL 4 PROPAGAREA PRIN CANALUL RADIO MOBIL AFECTAT DE FADING

Propagarea informației prin canalele radio este un fenomen complicat, caracterizat de o varietate de efecte, cum ar fi apariția căilor multiple sau a umbririi. Un model matematic, precis, al acestui fenomen este fie necunoscut, fie prea complex pentru o analiză facilă a sistemului de comunicații. Cu toate acestea, de-a lungul timpului, eforturi considerabile au fost dedicate modelării statistice și caracterizării acestor efecte; în final în urma eforturilor depuse de cercetători, s-a ajuns la un număr de modele matematice care s-au dovedit, din punct de vedere statistic, a fi adecvate anumitor tipuri de canale.

4.1 ELEMENTE CARE INFLUENȚEAZĂ APARIȚIA FADINGULUI

Fenomenul de fading este cauzat de variațiile rapide ale puterii câmpului electromagnetic în intervale mici de timp sau la deplasări mici în jurul unei poziții de referință [50]. Deoarece fadingul este provocat de compunerea a două sau mai multe unde provenite de la aceeași sursă, care ajung la receptor cu faze ușor diferite, (sau, echivalent, la momente de timp diferite) datorită propagării pe căi diferite, el se numește fading multical. Chiar și pentru deplasări mici ale receptorului, diferențele de fază ale undelor care se compun variază puternic și, ca urmare, rezultanta lor își modifică rapid și semnificativ amplitudinea. Pentru un receptor staționar fenomenul de fading se produce din cauza modificării în timp a parametrilor căilor de propagare și a configurației mediului în care are loc propagarea.

Semnalele care ajung să străbată canalele radio mobile [50] sunt afectate de diverse procese: propagarea multical, deplasarea/efectul Doppler, umbrirea, împrăștierea, difracția, pierderile, banda semnalului transmis etc.

4.2 TIPURI DE FADING

Tipurile de fading care pot afecta propagarea semnalului prin canalul radio depind de natura semnalului transmis în raport cu caracteristicile canalului.

Fadingul plat apare în situația în care canalul are un răspuns cu câștig constant și fază liniară, într-o bandă care este mai mare decât lărgimea de bandă a semnalului transmis. Acest tip de fading este cel mai răspândit. În cazul fadingului plat caracteristicile spectrale ale semnalului transmis sunt conservate la recepție [51]. Distribuția utilizată frecvent pentru a descrie variațiile în timp este distribuția Rayleigh.

Fadingul selectiv în frecvență apare atunci când lățimea de bandă a semnalului transmis este mai mare decât banda în care câștigul canalului este constant și faza variază liniar. Semnalul recepționat conține replici multiple ale formei de undă transmise, care sunt atenuate și defazate (întârziate în timp) și din acest motiv semnalul recepționat este distorsionat. [50].

În cazul canalului cu fading rapid răspunsul canalului la impuls se schimbă rapid pe durata simbolului transmis. Intervalul de timp în care răspunsul canalului la impuls poate fi considerat invariant în timp este semnificativ mai scurt decât durata simbolului transmis. Fadingul rapid este legat numai de viteza cu care se schimbă parametrii canalului [52].

În cazul fadingului lent, răspunsul canalului la impuls se schimbă semnificativ mai lent decât rata datelor în banda de bază a semnalului transmis. În aceste condiții canalul poate fi considerat staționar pe durata unuia sau a mai multor simboluri transmise [53].

4.4 DISTRIBUȚII UTILE ÎN ANALIZA SISTEMELOR AFECTATE DE FADING

Propagarea undelor radio este foarte des asociată cu un mediu de transmisiune cu un caracter aleatoriu, fapt ce face necesară analiza fenomenelor de propagare prin intermediul metodelor statistice. În majoritatea cazurilor, este posibilă descrierea variațiilor parametrilor de propagare, în timp și în spațiu, folosind distribuții statistice bine cunoscute. De aceea, este important să se cunoască proprietățile fundamentale ale celor mai utilizate distribuții de probabilitate.

4.4.1 Distribuția Rayleigh

Fadingul Rayleigh este specific sistemelor de comunicații în care există un număr mare de căi de propagare, fără a identifica o cale directă între emițător și receptor, de exemplu centrul unui oraș, unde clădirile și alte obiecte atenuează, reflectă, refractă și difractă semnalul. În canalele radio mobile, distribuția Rayleigh este folosită pentru a descrie statistic variația în timp a anvelopei recepționate a semnalului afectat de fading sau a anvelopei unei singure componente recepționate. Se cunoaște faptul că anvelopa sumei a două zgomote de tip gaussian, unul aflat în fază și celălalt în cuadratură, se supune unei distribuții Rayleigh [50].

4.4.2 Distribuția Rice

În situația în care există și o componentă a semnalului care ajunge pe calea directă (semnal dominant) la receptor, canalul modifică amplitudinea după o distribuție Rice [54]. Pe măsură ce semnalul dominant devine mai slab, semnalul compus seamănă cu unul zgomotos a cărui anvelopă are o distribuție Rayleigh. Prin urmare, distribuția Rice devine una Rayleigh atunci când componenta dominantă dispăre. Fadingul Rice poate fi identificat în canalele existente în sistemele celulare ce folosesc microcelule, în sistemele de comunicație între mai multe mașini (de ex. sistemul automat de control al mașinii [55]), în propagarea din interiorul clădirilor și mai ales în comunicațiile prin satelit.

De obicei, distribuția Rice este descrisă de către parametrul K , ce se definește ca raportul dintre puterea semnalului util și varianța căilor multiple, K este cunoscut sub denumirea de factor Rice și descrie complet distribuția Rice.

4.4.3 Distribuția Nakagami-m

Distribuțiile Rayleigh și Rice sunt de obicei folosite pentru a descrie fluctuațiile semnalului recepționat dintr-un canal multical. Altă distribuție care are rolul de a modela fadingul din canalele multical este distribuția Nakagami-m.

Distribuția Nakagami-m înglobează într-o expresie unică toate distribuțiile prezentate până acum: Rayleigh (pentru $m=1$), Gauss (pentru $m=0.5$), Rice și lognormală (cu bună precizie, în anumite condiții). Pentru $m<1$, coeficienții canalului corespund unui fading mai puternic decât cel al fadingul Rayleigh, iar pentru $m>1$ fadingul este mai slab decât cel Rayleigh [56].

CAPITOLUL 5 DETECTORUL COERENT ÎN PREZENȚA FADINGULUI PLAT

În acest capitol se vor prezenta câteva rezultate obținute în urma activității proprii de cercetare asupra detectorului cu decorelare în prezența fadingului plat și prezentate în articolul [57]. În articol utilizatorii sunt separați cu ajutorul codurilor ortogonale și transmit propria imagine aceeași putere. Capitolul este împărțit în trei subcapitole. În primul subcapitol sunt prezentate metoda de detecție folosită și o tehnică de îmbunătățire a performanțelor, și anume codarea bloc spațio-temporală Alamouti. Pe baza acestora, în următorul subcapitol sunt expuse rezultatele obținute, iar ultimul subcapitol conține cele mai importante concluzii rezultate în urma activității de cercetare.

5.1 DETECTORUL CU DECORELARE ÎN CANAL CU FADING. CODARE ALAMOUTI

În capitolul 2 relația (2.1) prezintă expresia semnalului recepționat, atunci când canalul nu afectează amplitudinea semnalului transmis, aceasta rămânând constantă pe toată durata transmisiei. Prezența fadingului în canal modifică acest aspect, și mai mult, deși utilizatorii pot avea aceeași putere la emisie, fiecare va fi afectat individual, prin urmare semnalul recepționat va fi de forma [3]

$$y(t) = \sum_{k=1}^K |A_k| e^{j\phi_k} b_k s_k(t) + n(t). \quad (5.1)$$

Biții estimați în cazul detectorului cu decorelare necesită cunoștințe numai despre faza utilizatorului ce se dorește de demodulat [3]:

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(\text{Re}\{(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y})_k e^{-j\phi_k}\}). \quad (5.2)$$

Așadar, un receptor ce dorește să demoduleze utilizatorul i poate considera că secvența de împrăștiere asociată utilizatorului i este $s_i(t)e^{j\phi_i}$ pentru un W_i arbitrar, dar constant în intervalul $[0, T]$.

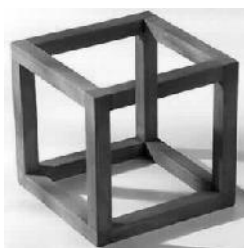
Pentru îmbunătățirea rezultatelor a fost aleasă codarea bloc spațio – temporală, care este fiabilă în canale cu multe obstacole. Majoritatea codurilor STBC nu necesită o cunoaștere a canalului la transmisie, dar s-a demonstrat că o perfectă cunoaștere a canalului la emisie și recepție contribuie la o creștere a performanțelor [58]. Dintre codurile bloc spațio – temporale, în simulări a fost utilizat codul Alamouti [59].

5.2 SIMULĂRI ȘI REZULTATE

Pentru simulările din acest capitol, sistemul este folosit de patru utilizatori, fiecare transmițând propria imagine cu ton continuu de gri (Fig. 5.1).



a) utilizator 1



b) utilizator 2



c) utilizator 3



d) utilizator 4

Fig. 5.1 Imaginile trimise de către utilizatori

Va fi analizată o singură situație, atunci când utilizatorii sunt necorelați și au aceeași putere de emisie. Vor fi tratate trei cazuri. Cei patru utilizatori vor folosi mai întâi sistemul clasic DS-CDMA afectat de fading plat, apoi, la emisie, fiecărui utilizator i se mai alocă o antenă, iar în ultimul scenariu la recepție, în loc de o antenă, se vor folosi două.

Folosirea mai multor antene la emisie și recepție contribuie la îmbunătățirea performanțelor sistemelor. Pentru simulări a fost aleasă codarea bloc spațio-temporală, mai exact codarea Alamouti. În Fig. 5.2 sunt prezentate rezultatele obținute de detectorul cu decorelare pentru primul utilizator, în trei situații: SISO, MISO (două antene la emisie) și MIMO (două antene la emisie și două la recepție). Deoarece fiecare utilizator este afectat diferit de fading, în funcție de coeficienții asociați canalului, programul se rulează de mai multe ori, iar în final rezultatele obținute se mediază. După cum se poate observa, în cazul SISO creșterea raportului semnal-zgomot nu contribuie la o îmbunătățire a rezultatelor obținute. În plus, dacă pentru valori mici ale raportului semnal-zgomot rezultatele sunt foarte apropiate în cele trei situații, pe măsură ce RSZ crește rezultatele obținute în cazul MIMO sunt cele mai bune. Trebuie precizat faptul că s-a presupus o cunoaștere perfectă a canalului la emisie.

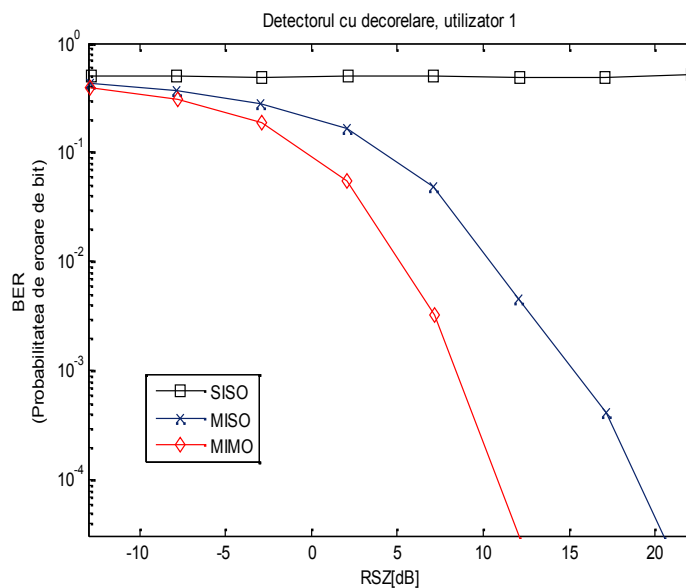


Fig. 5.2 BER vs. RSZ , canal afectat de fading plat de tip Rayleigh, utilizatorul 1

Folosind medierea imaginilor recepționate de către fiecare utilizator în parte, rezultă o creștere a valorilor obținute de cele două metrici folosite, dar trebuie ținut cont că, în urma medierii, raportul semnal-zgomot va crește în funcție de numărul de imagini pe care se face medierea, datorită medierii zgomotului. Câștigul RSZ este egal cu $20 \lg \sqrt{M}$, unde M reprezintă numărul de imagini pe care se realizează medierea. În Fig. 5.3 (cazul SISO) sunt expuse imaginile rezultate în urma medierii a 100 de imagini, ceea ce este echivalent cu o creștere a raportului semnal zgomot cu 20 dB. Valorile indicilor de măsurare a performanței sunt foarte mici, ceea ce indică o estimare greșită.

Analizând următoarele figuri, Fig. 5.4, obținute în cazul MISO și Fig. 5.5, pentru MIMO, se observă o îmbunătățire considerabilă a calității imaginilor obținute în urma medierii. În cele două seturi de imagini, ochiul poate distinge conținutul de ansamblu al imaginii transmise de fiecare utilizator. Analizând imaginile obținute în cazul MISO se observă un aspect „încețoșat” al imaginilor. Acest aspect încețoșat dispare o dată cu folosirea metodei MIMO, iar calitatea imaginilor crește considerabil. Rezultatele sunt cu aproximativ 0,10 mai bune, dacă se ține cont de $MSSIM$.

Comparația dintre imagini a fost făcută ținând cont numai de estimatorul $MSSIM$, deoarece, analizând rezultatele obținute de $PSNR$ în cele 3 situații prezentate (SISO, MISO, MIMO), s-a dovedit că valorile obținute cu indicele $PSNR$ nu sunt consecvente cu percepția vizuală. Deși folosirea diversității la emisie și/sau recepție conduce la o îmbunătățire a calității imaginilor, valorile obținute de $PSNR$ rămân în continuare foarte mici. Ceea ce ar însemna că imaginea recepționată are o calitate slabă.

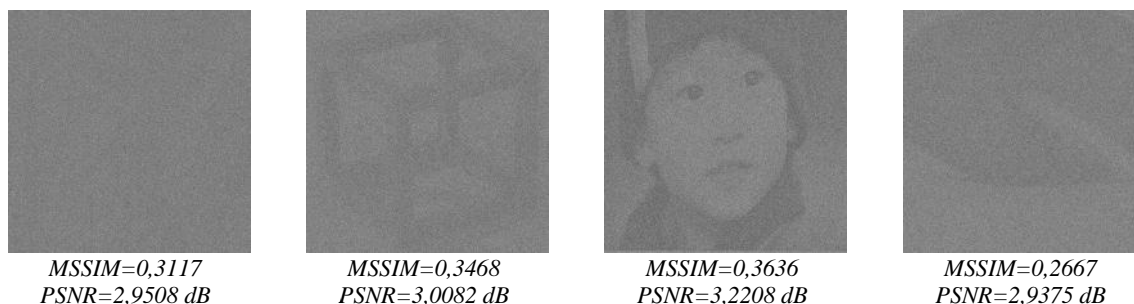


Fig. 5.3 Imaginile rezultate pentru $RSZ=1+20\text{dB}$, mediere pe 100 de imagini, SISO

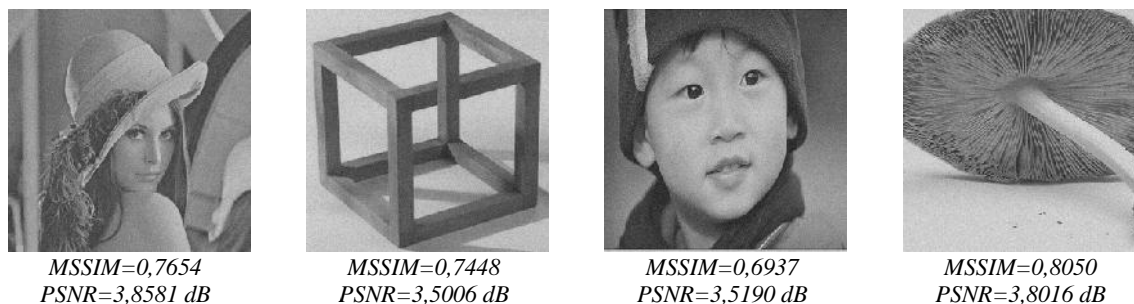


Fig. 5.4 Imaginile rezultate pentru $RSZ=1+20\text{ dB}$, MISO

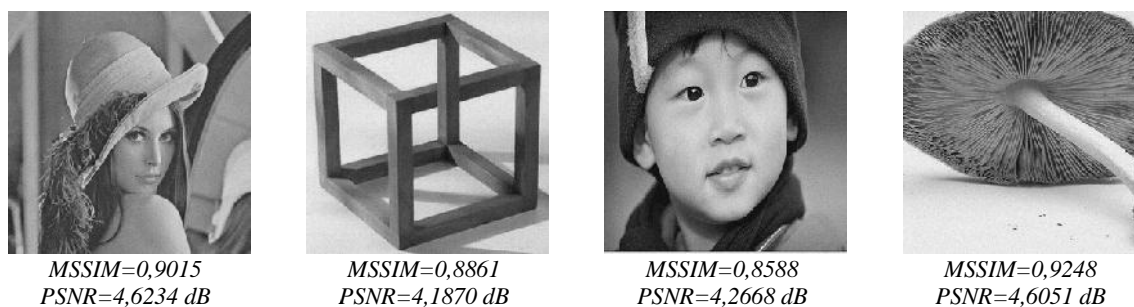


Fig. 5.5 Imaginile rezultate pentru $RSZ=1+20\text{ dB}$, diversitate la emisie și recepție

5.3 CONCLUZII

Scopul capitolului a fost de a analiza calitatea informației estimate de detectorul cu decorelare atunci când codurile ortogonale sunt folosite pentru separarea utilizatorilor pe canal și puterile de emisie ale utilizatorilor sunt egale. În urma simulărilor efectuate s-a observat că, în urma medierii efectuate, informația estimată pentru fiecare utilizator are aproximativ aceeași calitate, fapt datorat utilizării codurilor necorelate. În plus, s-a dovedit incapacitatea detectorului de a estima informația transmisă atunci când sistemul utilizează o antenă la emisie și una la recepție, indiferent de valoarea raportului semnal-zgomot. Folosirea diversității la emisie și/sau recepție contribuie la îmbunătățirea semnificativă a performanțelor obținute de detector. Deși pentru valori mici ale RSZ , în cele trei cazuri analizate, SISO, MISO și MIMO se obțin aproximativ același valori pentru BER , pe măsură ce valoarea raportului semnal-zgomot crește, rezultatele cele mai bune se obțin în cazul MIMO. Aceeași concluzie se obține analizând imaginile și din punctul de vedere al percepției vizuale. Dacă fadingul asociat canalului poate conduce la inversarea nuanțelor de gri din imagine în cazul SISO și la apariția unui aspect înțepoșat al acestora în cazul MISO, în cazul MIMO nu cauzează astfel de probleme.

În evaluarea capacității detectorului cu decorelare s-a ținut cont numai de următorii indicii de măsurare a performanței: probabilitatea de eroare de bit și de indicele de similitudine, deoarece indicele $PSNR$ a dovedit inconsecvență între percepția vizuală și valorile obținute. Dacă în cazul SISO valorile obținute de acesta coincideau cu percepția vizuală, în cazurile MISO și MIMO valorile indicelui $PSNR$ au rămas mici, sub 5 dB, deși calitatea imaginii a crescut considerabil față de cazul SISO.

CAPITOLUL 6 DETECTOARE MULTIUTILIZATOR LINIARE ÎN CANALE CU FADING

În prezentul capitol se realizează o comparație între performanțele a două detectoare multiutilizator liniare, și anume, detectorul cu decorelare și cel cu minimizarea erorii pătratice medii (MMSE), atunci când canalul este afectat de diferite tipuri de fading (Rayleigh, Rice și Nakagami-m) și utilizatorii transmit fiecare propria imagine digitală, cu ton continuu de gri. În cadrul simulărilor efectuate, puterea la recepție este aceeași pentru toți utilizatorii, iar codurile de împrăștiere sunt neortogonale. Se va analiza efectul produs de fading asupra imaginilor și impactul intercorelației dintre coduri asupra calității imaginilor recuperate. În urma rezultatelor obținute, la finalul capitolului sunt menționate o serie de observații interesante. O parte din rezultatele ce urmează a fi prezentate se regăsesc publicate în două articole, cotate în baze de date internaționale [60, 61].

6.1 STRUCTURA SISTEMULUI

Expresia semnalului recepționat într-un sistem CDMA, cu N utilizatori, sincroni, în care fadingului plat își face simțită prezența, este de forma relației (5.1).

Detectoarele liniare implică aplicarea unei transformări liniare la ieșirea filtrului adaptat cu scopul de a estima informația transmisă. Detectorul cu decorelare aplică inversul matricei de corelație, \mathbf{R}^{-1} , pentru a decupla informația [41, 3]. În canalele afectate de fading plat, receptorul trebuie să cunoască, pe lângă \mathbf{R} , și fazele semnalelor de intrare în receptor, pentru fiecare utilizator în parte [3]:

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(\text{Re}\{(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y})_k e^{-j\theta_k}\}). \quad (6.1)$$

Detectorul MMSE minimizează eroarea pătratică medie dintre informația transmisă și cea recepționată [45]. Acest detector obține rezultate mai bune decât cel cu decorelare, din moment ce ține cont de varianța zgomotului, dar marele dezavantaj îl constituie necesitatea estimării canalului la recepție [41]. Tehnica de detecție poate fi scrisă astfel [62]:

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\text{Re}\{\mathbf{A}^* (\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{A}^{-2})^{-1} \mathbf{y}\}). \quad (6.2)$$

Pentru îmbunătățirea rezultatelor a fost aleasă tehnica de codare bloc spațio – temporală (STBC), metodă care este prezentată în capitolul precedent.

6.2 ESTIMATORI DE MĂSURARE A PERFORMANȚELOR

Estimatorul de performanță UQI modelează diversele distorsiuni prezente într-o imagine ca o combinație de trei elemente ce măsoară gradul de corelație, distorsionarea luminanței și similitudinea contrastului dintre imaginea de referință și cea de test [63]. Acest indice ia valori între -1 și 1 , unde valoarea 1 este atinsă numai atunci când cele două imagini comparate sunt identice. Estimatorul $MS-SSIM$ se bazează pe indicii de similitudine și în același timp ține cont de faptul că sistemul vizual uman procesează informația vizuală la diferite rezoluții [64]. Prin urmare $MS-SSIM$ se obține combinând măsurătorile făcute la diferite scale de rezoluție [65]. VIF se bazează pe teoria informației și oferă rezultate foarte bune, dar la un cost ridicat, din punctul de vedere al complexității, deoarece, pentru a putea oferi un rezultat cât mai bun, ține cont de toate componentele implicate în sistemul de comunicație [66]. În general, ultimii doi indici de performanță, iau valori între 0 și 1 , unde 0 indică faptul că toată informația din imaginea originală a fost pierdută și 1 se obține atunci când s-a realizat o recuperare perfectă a imaginii transmise. Toate rezultatele au fost determinate folosind programul furnizat de [67].

6.3 REZULTATELE SIMULĂRILOR

În acest subcapitol sunt prezentate rezultatele obținute de cele două detectoare liniare, atunci când sistemul este folosit de patru utilizatori care transmit sincron informație. Codurile utilizate sunt neortogonale, cu matricea de intercorelație dată de ecuația (6.4) și informația este recepționată cu aceeași putere:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & 0.25 & 0.25 \\ -0.5 & 1 & 0.25 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 1 & 0 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6.3)$$

În fiecare caz descris în secțiunea 6.1, cei patru utilizatori transmit propria imagine, cu ton continuu de gri, ilustrate în Fig. 6.1, printr-un canal afectat de diferite tipuri de fading. La recepție, imaginile recuperate sunt comparate cu cele originale, folosind indicii de performanță descriși în secțiunea anterioară, cu scopul de a stabili care detector atinge cele mai bune performanțe, în funcție de fadingul care afectează recepția. Detectorul cu decorelare este comparat cu cel MMSE în două scenarii. În primul, fiecare utilizator are câte o singură antenă la emisie și recepție (acest caz se notează în continuare cu SISO). În al doilea scenariu, utilizatorii au la dispoziție două antene la emisie și numai una la recepție (notat în continuare cu MISO).

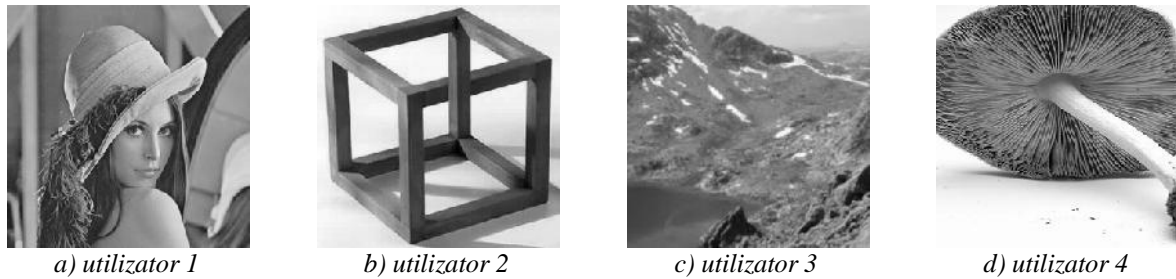


Fig. 6.1 Imaginile trimise de către utilizatori

6.3.1 Canal afectat de fading Rayleigh

În Fig. 6.2 sunt prezentate rezultatele obținute de către detectorul cu decorelare (Fig. 6.2.a) și de cel MMSE (Fig. 6.2.b) atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh și ZAGA (curbe continue) și numai de ZAGA (curbe punctate). Așa cum se poate observa din Fig. 6.2.a, detectorul cu decorelare nu este capabil să recupereze informația transmisă atunci când canalul este afectat de fading, nici pentru valori mari ale raportului semnal-zgomot (RSZ). Se poate trage foarte ușor concluzia că prezența fadingului în canal deteriorează complet performanțele detectorului. Atunci când canalul este afectat numai de ZAGA, creșterea raportului semnal-zgomot conduce la o scădere a probabilității de eroare de bit, dar, în cazul prezenței fadingului Rayleigh în canal, probabilitatea de eroare de bit este aproximativ constantă pentru toate valorile RSZ , având o ușoară variație, pentru toți utilizatorii, în jurul valorii de $10^{-0,3}$. În plus, atunci când canalul este afectat numai de zgomot, se observă foarte clar efectul produs de utilizarea codurilor neortogonale (utilizatorii necorelați obțin rezultate mai bune decât cei corelați), efect ce nu este vizibil atunci când fadingul devine prezent în canal. În cazul detectorului MMSE (Fig. 6.2.b), se poate observa în prezența fadingului o ușoară descreștere a BER cu RSZ , de la $10^{-0,3}$ la $10^{-0,6}$, dar valorile probabilității de eroare de bit sunt încă foarte mari chiar și pentru valori ridicate ale raportului semnal-zgomot. Din punctul de vedere al BER , se poate trage concluzia că atunci când utilizatorii sunt corelați și fadingul este prezent în canal, ambele detectoare eșuează în procesul de recuperare a informației transmise.

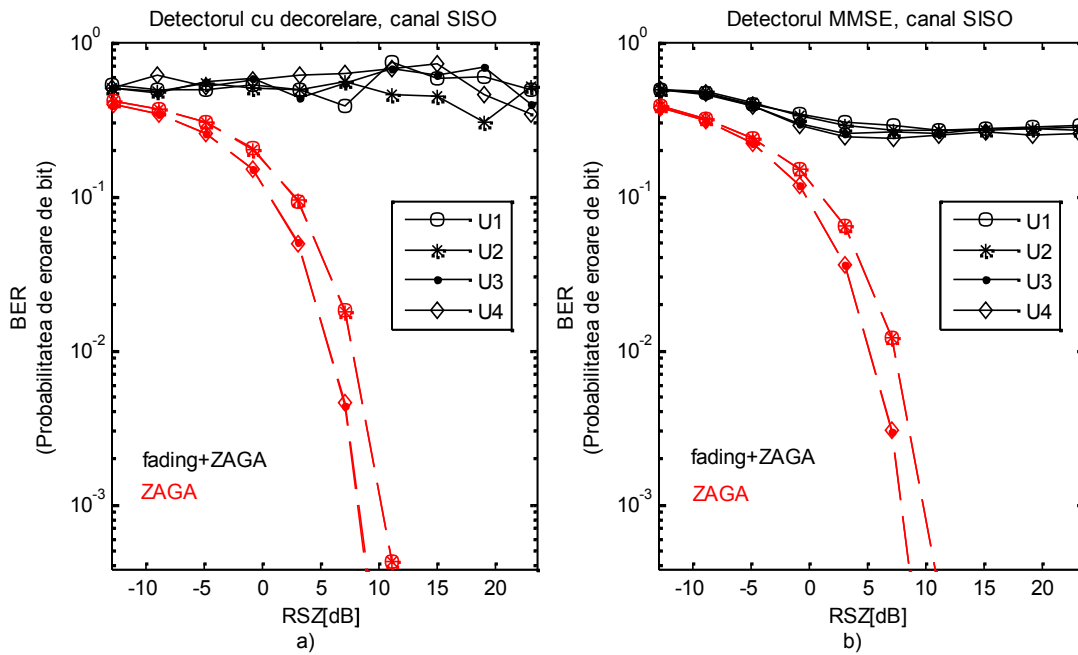


Fig. 6.2 Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ, canal SISO afectat de fading Rayleigh și ZAGA

În Fig. 6.3 (a- detectorul cu decorelare, b- detectorul MMSE) sunt prezentate imaginile rezultate în urma medierii a 100 de imagini cu RSZ egal cu 1 dB, echivalent unei valori de 21 dB. În cazul detectorului cu decorelare, imaginile recuperate nu le reflectă deloc pe cele transmise, prin urmare și estimatorii *MS-SSIM*, *VIF* și *UQI* folosiți pentru determinarea calității acestor imagini au valori foarte apropiate de zero. Aceasta reliefează încă o dată incapacitatea detectorului cu decorelarea de a estima informația transmisă în prezența fadingului Rayleigh.

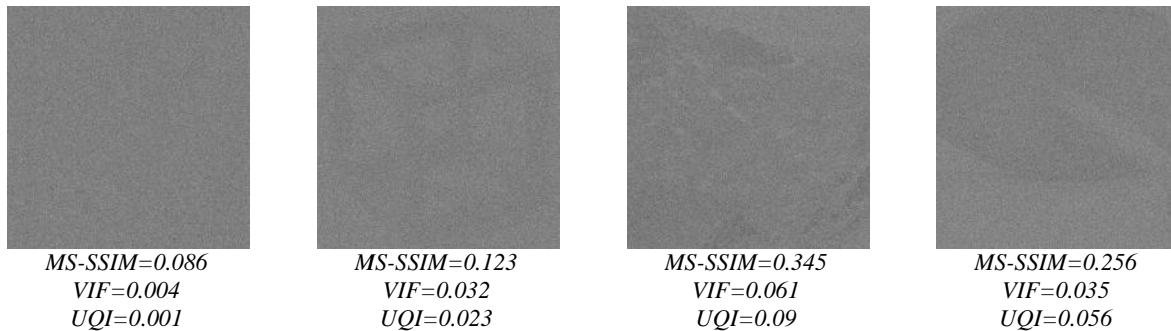


Fig. 6.3.a Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, RSZ=1+20 dB

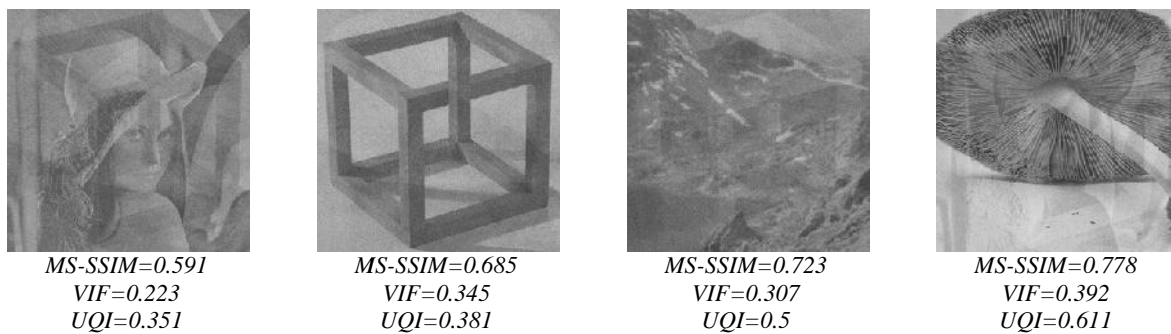


Fig. 6.3.b Imaginile recuperate de detectorul MMSE, RSZ=1+20 dB

În cazul detectorului MMSE, analiza imaginilor recuperate arată capacitatea parțială a detectorului de a estima imaginile transmise (Fig. 6.3.b) și efectul intercorelației dintre codurile de împrăștiere este reflectat în toate imaginile recuperate. Fiecare imagine estimată conține informații din

celelalte imagini. Imaginile estimate pentru utilizatorii trei și patru conțin informații suplimentare numai din imaginile primilor doi utilizatori, fapt susținut și de corelația dintre codurile de împrăștiere. Valoarea coeficientului de corelație dintre utilizatorul trei și patru este nulă ($\dots_{34} = 0$), deci imaginea estimată pentru utilizatorul trei nu conține date din cea estimată pentru utilizatorul patru.

Dacă se ține cont de matricea de corelație, este de așteptat ca imaginile, recuperate de către utilizatorii trei și patru, să aibă o calitate mai bună decât imaginile recuperate de către ceilalți utilizatori. Acest fapt reiese și din analiza valorilor obținute de estimatorii de performanță *MS-SSIM* și *UQI*. Valorile obținute de către aceștia sunt cu aproximativ 0,2 mai mari pentru utilizatorii trei și patru. Dacă se analizează calitatea imaginilor în funcție de *VIF*, se observă că imaginile au aproximativ aceeași calitate, fapt susținut și de percepția ochiului uman, dar contrazis de rezultatele probabilității de eroare de bit.

Așa cum s-a menționat, o soluție pentru îmbunătățirea performanțelor detectoarelor multiutilizator este de a folosi diversitatea spațială, mai exact codarea bloc spațio-temporală. În Fig. 6.4.a și 6.4.b sunt prezentate imaginile obținute în urma medierii a 100 de imagini cu *RSZ* egal cu 5 dB. Se poate observa o îmbunătățire considerabilă față de cazul precedent, susținută de valorile obținute de indicii de performanță, cât și de percepția vizuală. Ceea ce atrage atenția sunt valorile foarte apropiate obținute de indici pentru cele două detectoare, deci, din punctul lor de vedere, calitatea imaginilor recepționate este aceeași. Acest fapt nu este susținut și de percepția vizuală. De exemplu, în imaginile recepționate de către detectorul MMSE se pot observa informații ce nu aparțin de imaginea originală. Această afirmație nu este valabilă pentru imaginile estimate de detectorul cu decorelare, dar în schimb acestea sunt mai întunecate.

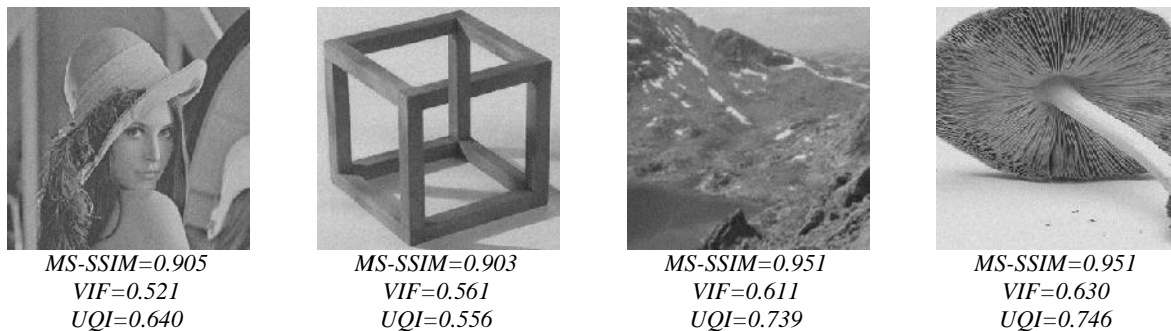


Fig. 6.4.a Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, canal MISO, *RSZ* = 5+20 dB

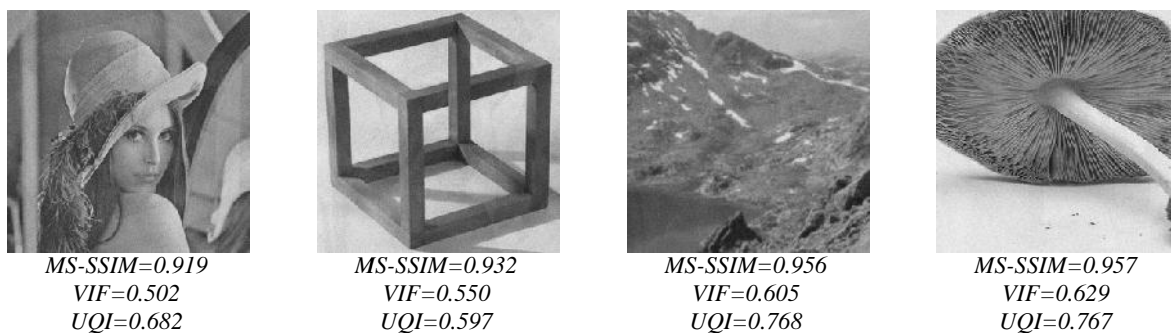


Fig. 6.4.b Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal MISO, *RSZ* = 5+20 dB

6.3.2 Canal afectat de fading Rice

Atunci când canalul este afectat de fading Rice este de așteptat ca rezultatele obținute să fie mai bune, având în vedere faptul că acest tip de fading, presupune existența unei căi cu vizibilitate directă între emițător și receptor. În Fig. 6.5.a sunt reprezentate rezultatele obținute de către detectorul cu decorelare atunci când factorul Rice este de 3,5 dB (curbă continuă, neagră) și 6 dB (curba discontinuă, roșie). Se poate observa că, în cazul detectorului cu decorelare, valoarea probabilității de eroare de bit

este mare (în jurul a $10^{-0,3}$) și nu scade odată cu creșterea RSZ , ceea ce arată că, în cazul apariției acestui tip de fading detectorul cu decorelare nu este capabil să refacă informația transmisă. Din punct de vedere teoretic, pe măsură ce factorul Rice, K , crește (amplitudinea semnalului dominant rămâne constantă și varianța căilor multiple scade), rezultatele obținute de către detectoare trebuie să se îmbunătățească. Acest fapt nu reiese din Fig. 6.5.a. După cum se poate observa atunci când $K = 6$ dB, rezultatele obținute de către detectorul cu decorelare, din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit, sunt mai slabe decât cele obținute atunci când $K = 3,5$ dB. Oricum, în cazul SISO, rezultatele obținute de detector cu decorelare sunt inacceptabil de slabe din punctul de vedere al BER , prin urmare această mică îmbunătățire nu este relevantă.

Dacă în locul detectorului cu decorelare este folosit detectorul MMSE, rezultatele sistemului se îmbunătățesc puțin (Fig. 6.5.b), scăzând ușor cu creșterea valorii RSZ până în jurul unei valori de $10^{-0,6}$, dar aceste rezultate sunt în continuare foarte slabe din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit. Dacă pentru valori mici ale RSZ , valorile obținute de către probabilitatea de eroare de bit cresc de la $10^{-0,3}$ la $10^{-0,6}$, pentru un RSZ mai mare de 2 dB valorile BER rămân în jurul valorii de $10^{-0,6}$. În plus, în acest caz, atunci când factorul Rice este 6 dB, rezultatele sunt mai bune decât atunci când $K = 3,5$ dB. În cazul detectorului MMSE, efectul codurilor neortogonale este vizibil, utilizatorii necorelați obținând rezultate mai bune. De asemenea, pe măsură ce factorul Rice crește, distanța dintre valorile obținute de către utilizatorii necorelați și cele obținute de cei corelați este mai mare.

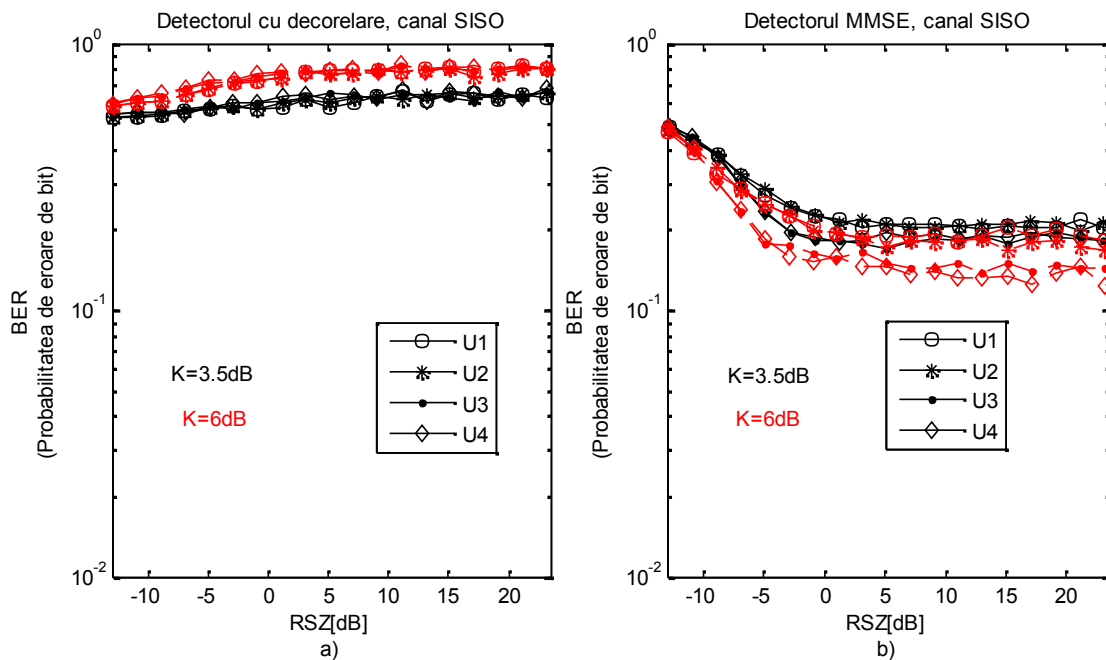


Fig. 6.5 Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ , canal SISO afectat de fading Rice

În Fig. 6.6.a și 6.6.b sunt prezentate imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, respectiv de cel MMSE, în urma medierii a 100 imagini, atunci când factorul Rice este 3,5 dB. În cazul detectorului cu decorelare, față de situația în care canalul este afectat de fading Rayleigh, utilizatorii au posibilitatea de a recupera o parte din informația transmisă, dacă se ține cont de percepția vizuală. Din punctul de vedere al estimatorilor de performanță, $MS-SSIM$ și VIF , calitatea imaginilor recuperate nu diferă foarte mult, valorile obținute de acești indicatori sunt foarte apropiate de zero, și chiar zero în cazul VIF .

Atunci când pentru estimarea informației transmise se folosește detectorul MMSE, valorile obținute de cei doi indici de performanță cresc față de cazul detectorului cu decorelare. Estimatorul $MS-SSIM$ ajunge să atingă valori între 0,74 și 0,82, iar VIF nu mai este zero, ia valori între 0,31 și 0,45. Totuși, deși această creștere a valorilor obținute de indici sugerează o îmbunătățire a calității imaginilor recuperate, ochiul uman nu o percepe. Din cauza utilizării codurilor de împrăștiere neortogonale

interferențele devin prezente și fiecare utilizator ajunge să primească și o parte din informația care nu îi este alocată. Acest fenomen este mult mai accentuat la primii doi utilizatori, care sunt și cei mai corelați. Acest tip de interferență nu apare în cazul detectorului cu decorelare.

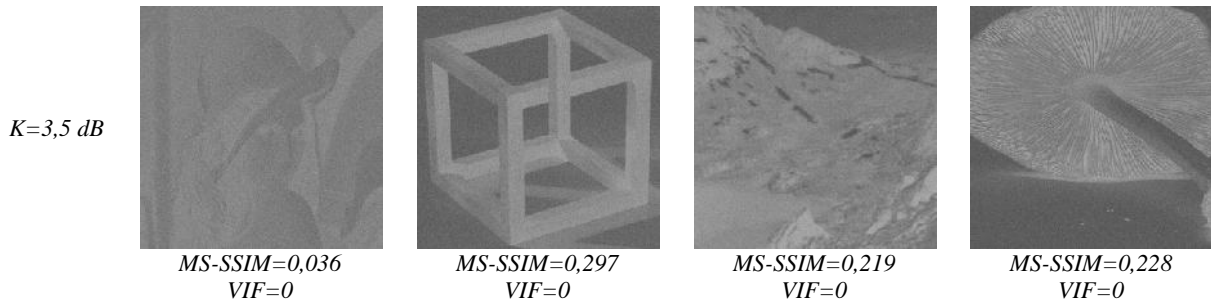


Fig. 6.6.a Imaginile recuperate de detectorul cu decorelare, canal SISO afectat de fading Rice, $RSZ = 5+20 \text{ dB}$

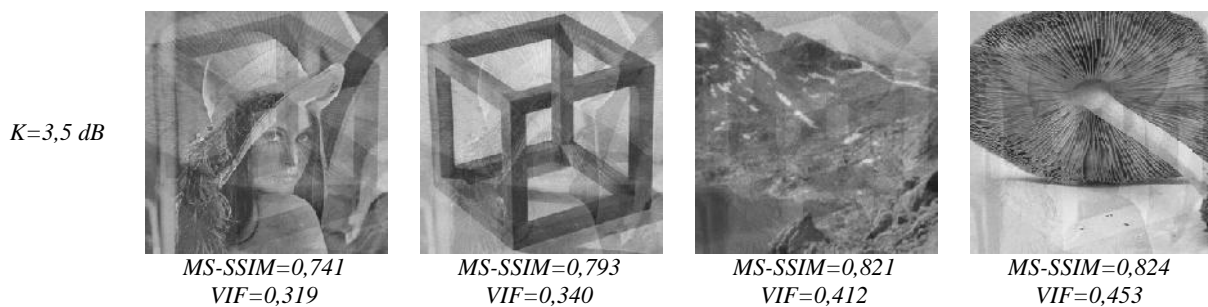


Fig. 6.6.b Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal SISO afectat de fading Rice, $RSZ = 5+20 \text{ dB}$

Înlocuirea canalului SISO cu cel MISO conduce la o îmbunătățire considerabilă din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit. Pentru valori de maxim 13 dB a raportului semnal-zgomot se obțin valori ale BER sub 10^{-3} dB pentru detectorul cu decorelare (Fig. 6.7.a), respectiv pentru detectorul MMSE (Fig. 6.7.b).

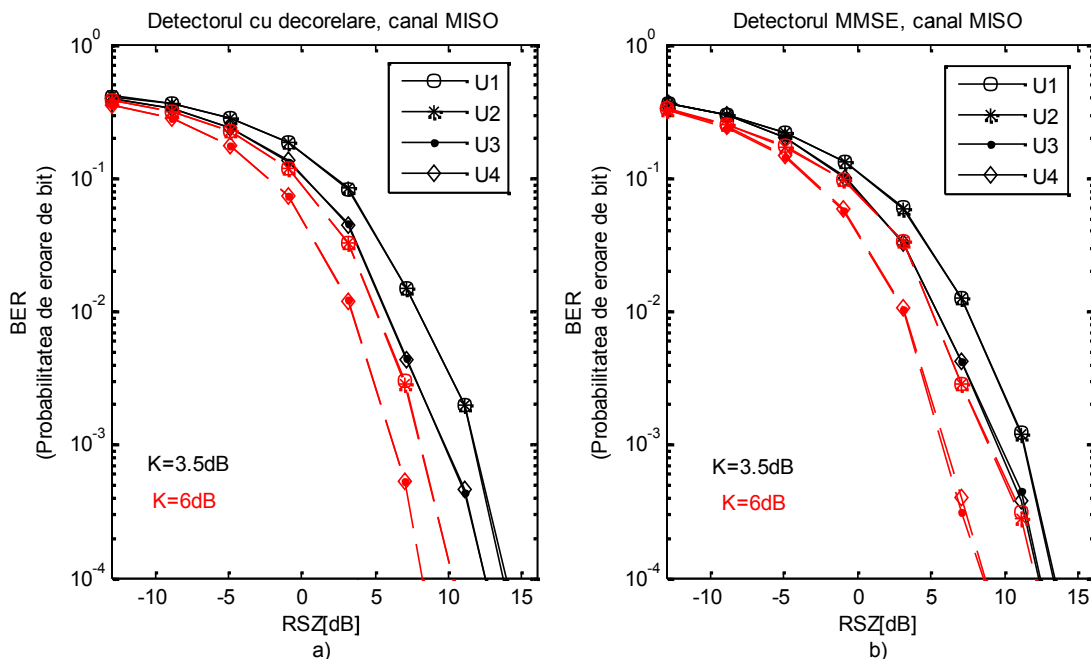


Fig. 6.7 Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ , canal MISO afectat de fading Rice

Conform graficelor prezentate, atunci când factorul Rice este de 6 dB, rezultatele obținute de către cele două detectoare sunt mai bune (curbele roșii), ceea ce corespunde și concluziilor teoretice. În plus, în ambele cazuri, efectul utilizării codurilor de împrăștiere neortogonale este vizibil, iar pe măsură ce factorul Rice crește, distanța dintre curbele ce redau performanțele obținute de utilizatorii corelați și cei necorelați devine mai mare.

În Fig. 6.8.a și 6.8.b sunt expuse imaginile recuperate de detectorul cu decolare, respectiv cel MMSE. Dacă se analizează valorile obținute de estimatorul *MS-SSIM*, în cazul detectorului cu decolare, se observă că ele diferă numai la a treia zecimală, deci se poate spune că aproximativ 99% din informația conținută în imaginile inițiale este recuperată. Numai în cazul *VIF* diferențele obținute între valorile asociate utilizatorilor corelați și celor necorelați reamintește de utilizarea codurilor neortogonale. Aceleași concluzii sunt valabile și pentru imaginile estimate de detectorul MMSE (Fig. 6.8.b). Deși valorile estimatorului *VIF* sunt mai mici și indică mai bine corelația dintre utilizatori (cazul $K=3,5$ dB), ochiul uman nu percepe existența interferenței, imaginile fiind considerate „curate”.

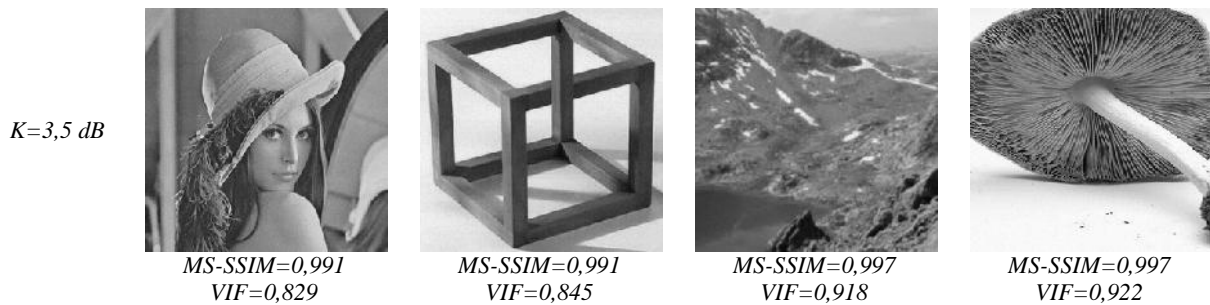


Fig. 6.8.a Imaginile recuperate de detectorul cu decolare, canal MISO afectat de fading Rice, $RSZ = 5+20$ dB

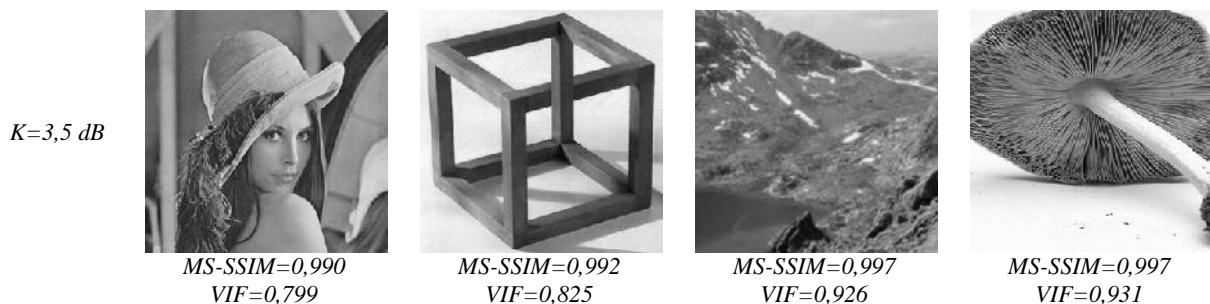


Fig. 6.8.b Imaginile recuperate de detectorul MMSE, canal MISO afectat de fading Rice, $RSZ = 5+20$ dB

Atunci când pentru evaluarea celor două detectoare se folosește estimatorul *UQI* care ține cont în evaluarea calității unei imagini de pierderea corelației, distorsionarea luminanței și contrastului (Fig. 6.9), detectorul MMSE obține cele mai bune rezultate, deși diferențele față de detectorul cu decolare nu sunt foarte mari.

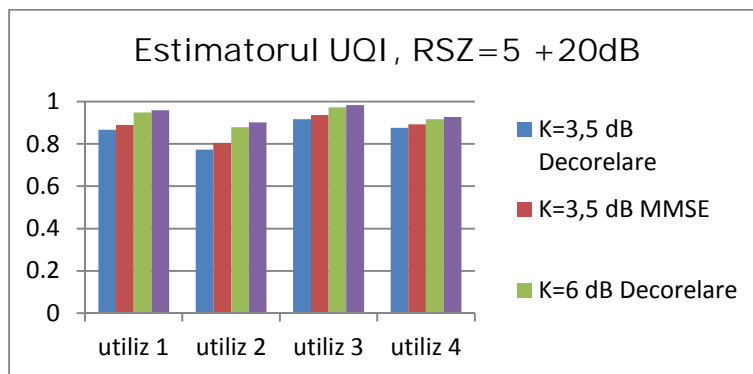


Fig. 6.10 Rezultatele obținute de estimatorul *UQI*, canal MISO, $RSZ = 5+20$ dB

6.4 CONCLUZII

Scopul acestui capitol a fost de a analiza efectul diferitelor tipuri de fading asupra performanțelor obținute de cele două detectoare multiutilizator liniare prezentate în introducere. În cazul în care canalul SISO este afectat de fading Rayleigh cele două detectoare obțin rezultate slabe, din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit; cu toate acestea *MS-SSIM* arată că detectorului MMSE este capabil să estimeze aproximativ 50% din imaginea originală, bazat pe auto-redundanța imaginii. Atunci când canalul este de tip MISO, performanțele sunt discutabile. Dacă se ține cont numai de rezultatele obținute de probabilitatea de eroare de bit și de ceilalți estimatori de performanță, performanțele celor două detectoare sunt foarte apropiate, dar percepția vizuală nu coincide cu această idee. Imaginile recepționate de detectorul cu decorelare nu conțin informații suplimentare (informații din imaginile celorlalți utilizatori), dar sunt mai întunecate. În cazul detectorului MMSE observațiile sunt opuse: imagini mai luminoase, dar cu informație suplimentară provenită de la interferența cu ceilalți utilizatori. Chiar dacă, informația este recuperată la un *RSZ* egal cu 1 dB sau cu 5 dB, imaginile estimate de cele două detectoare sunt încețoșate.

Atunci când fadingul asociat canalului are o distribuție Rice, performanțele sistemelor sunt mult mai bune decât cele anterioare. În cazul SISO, deși probabilitatea de eroare de bit indică în continuare incapacitatea detectorului cu decorelare de a estima corect informația primită, analiza vizuală a imaginilor indică totuși o îmbunătățire: în fiecare imagine se poate distinge informația ce s-a dorit a fi transmisă. În cazul detectorului MMSE situația rămâne aceeași ca în cazul fadingului Rayleigh. Folosirea codării Alamouti conduce la o îmbunătățire considerabilă, ajungând ca ambele detectoare să recupereze peste 96% din informația transmisă, iar în cazul detectorului MMSE efectul de interferență nu mai este vizibil, așa cum este la fadingul Rayleigh. Fapt datorat existenței unei căi cu vizibilitate directă între emițător și receptor care contribuie la eliminarea MAI.

În cazul fadingului Nakagami- m , performanțele diferă în funcție de parametrul m . Rezultatele obținute de detectorul cu decorelare se îmbunătățesc odată cu creșterea parametrului m , în schimb în cazul detectorului MMSE diferențele se observă numai în cazul valorilor indicate de indicii de performanță, iar percepția vizuală nu distinge diferențe notabile între imagini. În plus, deși pentru $m > 1$ rezultatele ar fi trebuit să fie mai bune decât cele obținute atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh, rezultatele nu respectă teoria.

Având în vedere acestea, în evaluarea performanțelor unui detector multiutilizator nu trebuie să ținem cont de un singur indice de performanță. De-a lungul acestui capitol s-au observat diferențe destul de mari între valorile atinse de indicii de performanță folosiți, care sunt construiți special pentru a evalua calitatea unei imagini. Dar fiecare indice are rolul de a măsura și de a evidenția anumite aspecte ale unei imagini.

În concluzie, codarea bloc spațio-temporală contribuie la o importantă îmbunătățire a calității imaginilor recuperate, dar este suficientă pentru a elimina complet efectele produse de fading și zgomot numai în cazul fadingului Rice. Trebuie subliniat faptul că asupra imaginilor nu s-au efectuat nici un fel de prelucrare sau filtrare. Transmiterea de imagini, în locul informației aleatoare, a avut scopul de a avea o descriere a performanțelor detectoarelor multiutilizator, mai apropiată de sistemul vizual uman.

CAPITOLUL 7 DETECȚIA MULTIUTILIZATOR ÎN SISTEMELE DS-CDMA FOLOSIND ALGORITMUL POCS

În acest capitol sunt prezentate rezultatele obținute de către un detector multiutilizator îmbunătățit bazat pe algoritmul de deconvoluție, numit Proiecție pe mulțimi convexe (POCS – Projection Onto Convex Sets). Rezultatele obținute sunt comparate cu cele obținute de detectorul cu decorelare și cel MMSE, atunci când canalul este afectat de diferite tipuri de fading, iar imagini digitale cu ton continuu de gri sunt transmise prin sistem. Toți utilizatorii transmit propria informație cu aceeași putere. Se va investiga efectul fadingului asupra imaginilor recepționate și efectul codurilor de împrăștiere asupra calității imaginilor estimate. Acest algoritm nu a mai fost folosit în literatura de specialitate pentru detecția multiutilizator, după cunoștințele autorului.

7.1 STRUCTURA SISTEMULUI

Cea mai simplă metodă de a scrie expresia semnalului recepționat în cazul sistemului CDMA utilizat de K utilizatori, atunci când canalul este afectat de fading plat, este [41]:

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{H}\mathbf{b} + \mathbf{n}, \quad (7.1)$$

unde \mathbf{R} este matricea de corelație, $K \times K$, care conține valorile de corelație dintre fiecare pereche de coduri de împrăștiere, \mathbf{H} reprezintă matricea canalului, iar \mathbf{b} , \mathbf{n} sunt vectori, unde \mathbf{b} conține informația transmisă de toți utilizatorii și \mathbf{n} este zgomotul.

Pentru eliminarea fadingului și îmbunătățirea performanțelor detectoarelor s-a folosit diversitatea spațială [68], mai exact, codarea bloc spațio – temporală (STBC). A fost utilizată aceeași schemă ca în capitolul anterior. Rezultatele obținute cu ajutorul algoritmului POCS sunt comparate cu cele atinse de detectorul cu decorelare și cel MMSE. Informații detaliate privind acest algoritm există în [69, 70, 71, 72]. POCS este o abordare de deconvoluție iterativă care răspunde mai bine la zgomot, prin impunerea de limite de constrângere asupra soluției. Estimarea lui \mathbf{b} cu POCS este de forma $\hat{\mathbf{b}}_{\text{POCS}} = \mathcal{P}_C \mathbf{b}$, unde $\mathcal{P}_C(\bullet)$ este operatorul de proiecție și C este mulțimea convexă definită astfel $C = \{\mathbf{b}, \|\mathbf{y} - \mathbf{R}\mathbf{b}\|^2 \leq r\}$. Soluția propusă, la etapa i , de algoritmul POCS, poate fi scrisă astfel:

$$\hat{\mathbf{b}}^{(i)} = \hat{\mathbf{b}}^{(i-1)} + (\dagger^2 \mathbf{I} + \mathbf{R}^T \mathbf{R})^{-1} \mathbf{R}^T (\mathbf{y} - \mathbf{R}\hat{\mathbf{b}}^{(i-1)}), \quad (7.2)$$

unde \dagger^2 este varianța estimată a zgomotului, \mathbf{I} este matricea identitate, iar valoarea estimată inițial pentru $\hat{\mathbf{b}}$, mai exact $\hat{\mathbf{b}}^{(1)}$, este dată de soluția celor mai mici pătrate:

$$\hat{\mathbf{b}}^{(1)} = \text{sgn}((\mathbf{R}^T \mathbf{R})^{-1} \mathbf{R}^T * \mathbf{y}). \quad (7.3)$$

În plus, ținând cont de rezultatele simulărilor, s-a observat necesitatea a cel puțin 20 de iterații pentru a putea obține o îmbunătățire a calității informației estimate.

7.2 REZULTATELE SIMULĂRILOR

Pentru a putea realiza comparația între detectorul propus și cele două detectoare liniare, pentru care o parte din rezultatele obținute au fost prezentate în Capitolul 6, s-a folosit același sistem. Cei patru utilizatori transmit cu aceeași putere propria imagine cu ton continuu de gri, Fig. 6.1, printr-un canal afectat de fading. Pentru evaluarea calității informației recepționate, pe lângă indicatorul clasic probabilitate de eroare de bit s-a ales estimatorul de performanță indexul de evaluare a fidelității informației vizuale (VIF).

7.2.1 Canal afectat de fading Rayleigh

Superioritatea detectorului bazat pe algoritmul POCS poate fi observată în Fig. 7.1, unde sunt prezentate rezultatele obținute atunci când sunt folosite coduri de împrăștiere neortogonale. S-au folosit același coduri ca în capitulul 6, rezultând în final matricea de corelație dată de relația (6.3). Comparând performanțele obținute de detectorul cu decorelare și de algoritmul POCS (Fig. 7.1a), în primul rând se observă că cele două detectoare obțin același performanțe pentru valori mici ale raportului semnal-zgomot, dar, pe măsură ce RSZ crește, rezultatele obținute de detectorul propus sunt mai bune. Atunci când se evaluează performanțele detectorului propus în funcție de cele atinse de detectorul MMSE (Fig. 7.1.b), se observă că, pentru valori mici ale raportului semnal-zgomot, detectorul MMSE obține valori mai bune ale probabilității de eroare de bit, dar pe măsură ce RSZ crește, algoritmul POCS își îmbunătățește performanțele, ajungând să atingă rezultate mai bune. Rezultatele mai slabe obținute de algoritmul POCS la RSZ mic sunt cauzate de caracterul iterativ al acestuia, ceea ce face ca, atunci când numărul de erori este relativ mare, să apară fenomenul de propagare a erorilor.

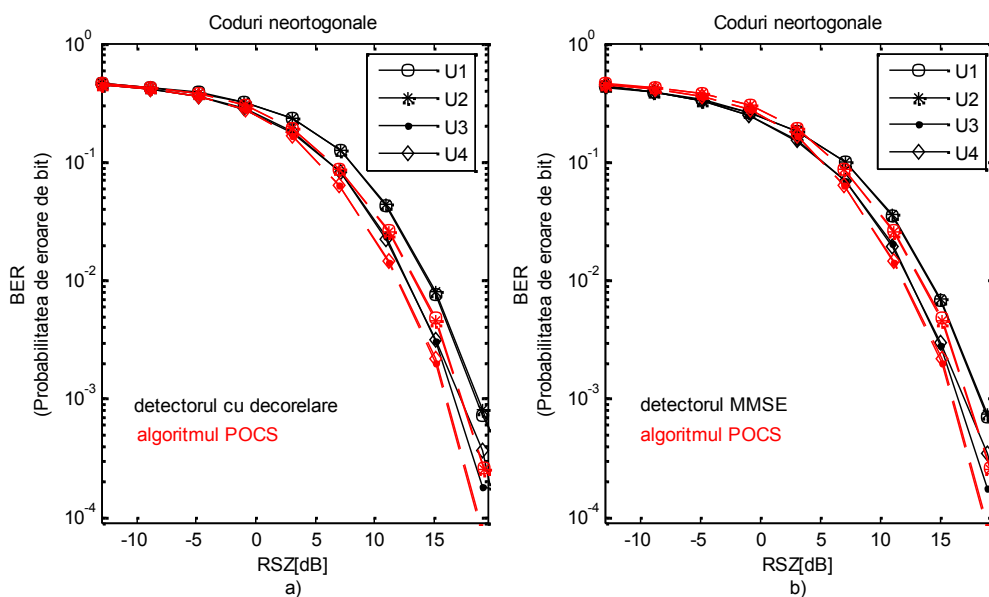


Fig. 7.1 Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ , coduri neortogonale

Până acum s-au analizat performanțele numai prin prisma probabilității de eroare de bit. Așa cum a mai fost menționat, pentru a putea fi siguri pe valorile obținute de indicii de performanță este necesară medierea a M imagini recuperate. Pentru rezultatele prezentate mai departe, pentru M a fost aleasă o valoare de 50, ceea ce a condus la o creștere a RSZ cu 17 dB, datorită medierii zgomotului. Pentru fiecare detector sunt prezentate imaginile estimate pentru 2 valori diferite ale raportului semnal-zgomot: 5 și respectiv 11 dB.

În Fig. 7.2 sunt prezentate imaginile recepționate cu ajutorul celor trei detectoare, iar codurile folosite sunt neortogonale. Așa cum se poate observa, în cazul detectorului cu decorelare, imaginile estimate nu conțin informații datorate intercorelației cu celelalte imagini, dar valorile obținute de VIF scot în evidență utilizarea codurilor neortogonale, atunci când RSZ este egal cu 11 dB. Valorile obținute de către utilizatorii trei și patru, care sunt necorelați, sunt mai mari decât cele obținute de către ceilalți utilizatori, cu aproximativ 10%. Pentru valori mici ale RSZ calitatea imaginilor recuperate este mai mult sau mai puțin aceeași, această observație este susținută și de rezultatele obținute în Fig. 7.1. Evident, odată cu creșterea RSZ , și calitatea imaginilor se îmbunătățește.

Dacă analizăm imaginile recuperate cu ajutorul detectorului MMSE, Fig. 7.2 (ultima coloană), se observă că, pentru valori mici ale raportului semnal-zgomot, utilizatorii corelați (primii doi) sunt afectați de fenomenul de interferență (fenomen apărut din cauza folosirii codurilor neortogonale). Acest fenomen este mai puțin vizibil la cei necorelați. Și în cazul acestui detector, estimatorul VIF evidențiază folosirea acestor coduri, care de această dată este observată și de percepția vizuală. Diferențele între

valorile atinse de utilizatorii corelați și cei necorelați sunt de aproximativ 8-10% pentru un RSZ de 5 și 11 dB, dar atunci când raportul semnal-zgomot este mic, 1 dB, valorile indicate de VIF sunt apropiate.

Imaginile estimate cu ajutorul detectorului bazat pe algoritmul POCS sunt ilustrate tot în Fig. 7.2 (coloana din mijloc). Dacă se analizează imaginile recuperate pentru primii doi utilizatori, se poate observa efectul produs de folosirea codurilor neortogonale: imaginile conțin informații suplimentare, datorită intercorelației cu ceilalți utilizatori, dar efectul este mai puțin vizibil decât în cazul detectorului MMSE. Imaginile recuperate de utilizatorii mai puțin corelați nu au această problemă. Pentru RSZ egal cu 5 dB valorile obținute de VIF sunt foarte apropiate cu cele obținute de cele două detectoare liniare, dar pentru RSZ egal cu 11 dB algoritmul POCS obține rezultate mai bune. În plus, imaginile recuperate cu detectorul propus sunt mai luminoase, fapt scos în evidență și de valorile obținute de VIF .

Simulările efectuate pentru valori mai mari ale RSZ au arătat o creștere a îmbunătățirilor aduse de utilizarea algoritmului POCS pentru toți indicatorii de imagine utilizați.

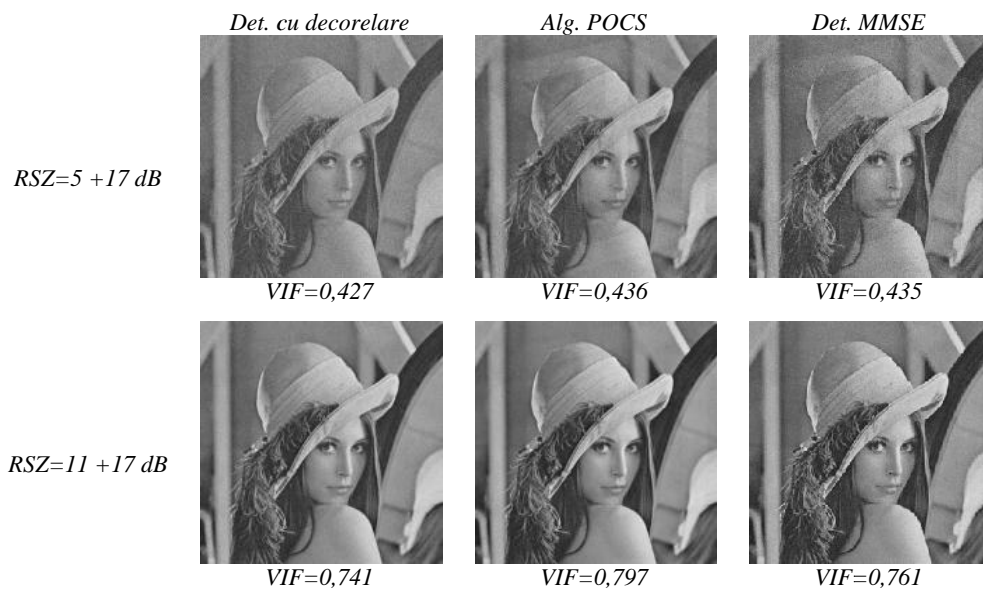


Fig. 7.2.a Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru primul utilizator

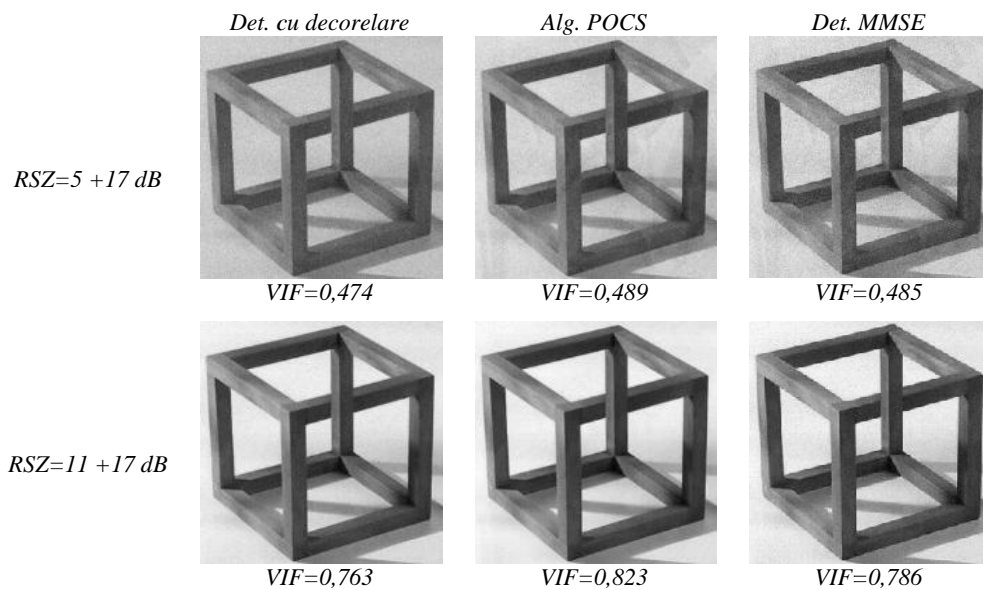


Fig. 7.2.b Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al doilea utilizator

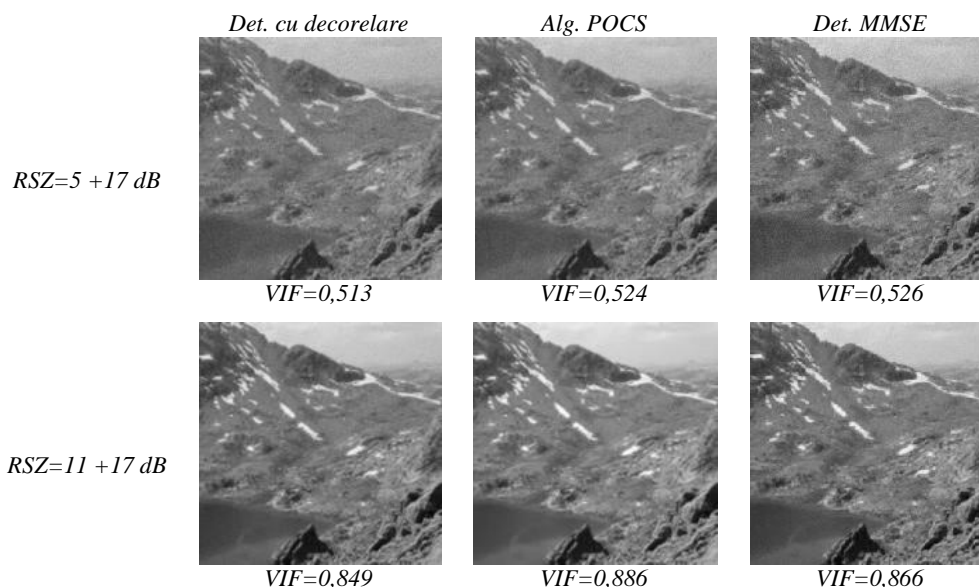


Fig. 7.2.c Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al 3-lea utilizator

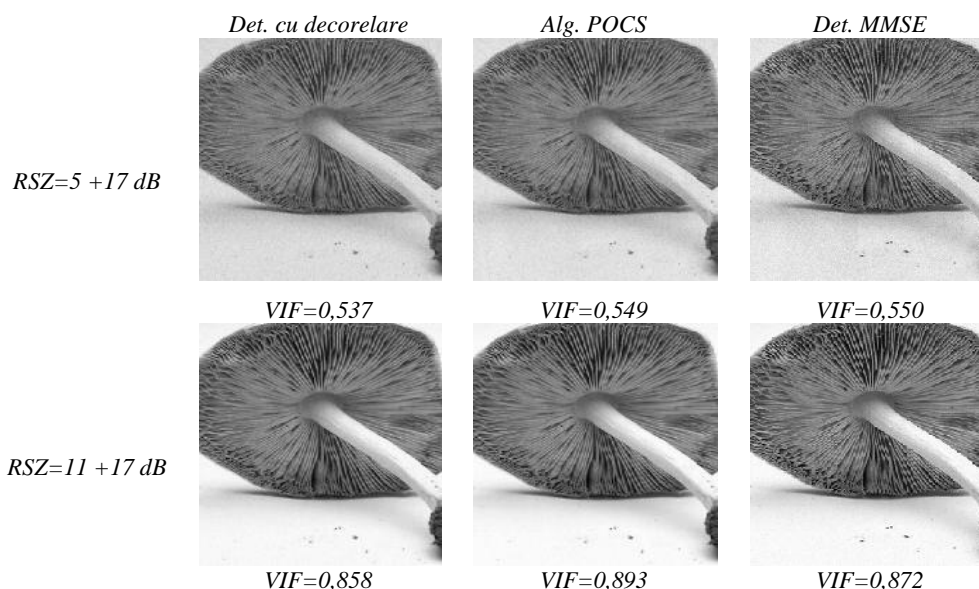


Fig. 7.2.d Imaginile recuperate la diferite valori ale RSZ pentru al 4-lea utilizator

7.2.2 Canal afectat de fading Rice

Atunci când canalul este afectat de fading Rice, rezultatele obținute de probabilitatea de eroare de bit se îmbunătățesc considerabil, ajungând să atingă valori de sub 10^{-3} pentru valori mai mari de 5 dB ale raportului semnal-zgomot, atunci când factorul Rice este de 6 dB, și de 9 dB, când $K=3,5$ dB (Fig. 7.3), în comparație cu rezultatele obținute atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh, unde este necesar un RSZ de 15 dB pentru a atinge același performanțe. Din Fig. 7.3.a și 7.3.c, unde sunt prezentate rezultatele obținute de detectorul cu decorelare în comparație cu cele atinse de algoritmul POCS, se observă că, pentru valori de sub 0 dB ale raportului semnal-zgomot, cele două detectoare obțin rezultate identice, indiferent de valoarea factorului Rice, 3,5 dB sau 6 dB. Peste 0 dB, detectorul propus obține rezultate mai bune numai pentru cei doi utilizatori corelați (utilizatorii unu și doi), pentru ceilalți doi utilizatorii rezultatele sunt în continuare identice cu cele ale detectorului cu decorelare. Dacă rezultatele se compară cu cele ale detectorului MMSE, Fig. 7.3.b și 7.3.d, pentru

valori ale RSZ sub 4 dB, algoritmul POCS obține rezultate mai slabe decât cel MMSE, dar, odată depășit acest prag, performanțele detectorului propus se apropie de cele ale detectorului MMSE, ajungând chiar să le depășească pentru utilizatorii corelați. Așa cum a mai fost menționat, datorită caracterului iterativ al algoritmului POCS dacă la primul pas biții estimați sunt eronați eroarea se propagă mai departe. Astfel la valori mici ale RSZ detectorul MMSE obține rezultate mai bune, dar pe măsură ce puterea zgomotului din canal scade biții estimați prin metoda celor mai mici pătrate conțin mai puține erori și folosirea acestora în estimarea finală, estimare care ține cont și de puterea zgomotului de pe canal, conduce la o soluție cu mai puține erori de estimare.

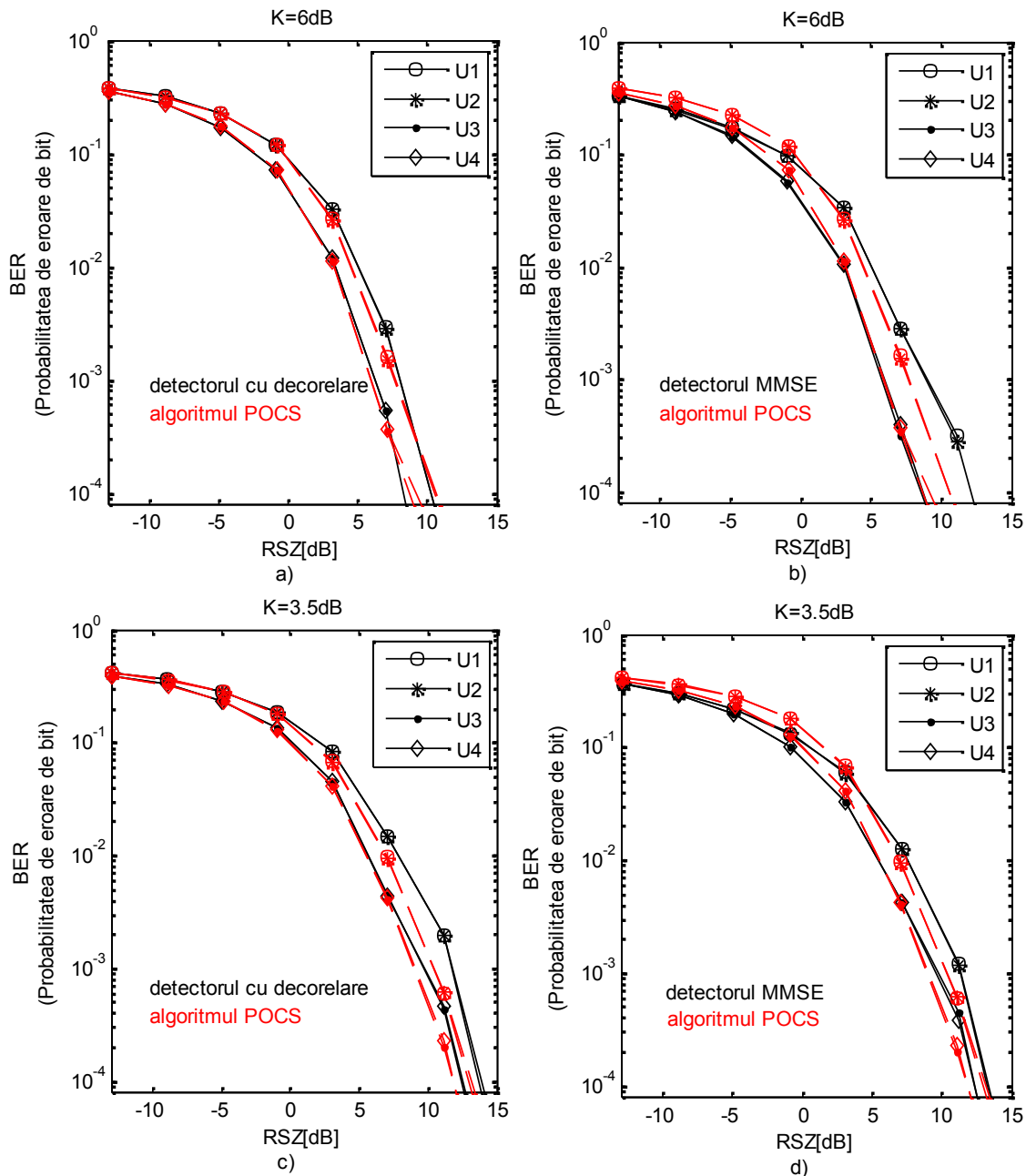


Fig. 7.3 Probabilitatea de eroare de bit vs. RSZ , diferite valori ale factorului Rice

Ceea ce atrage atenția, atunci când comparația între cele trei detectoare se realizează pe baza percepției vizuale, analizând imaginile din Fig.7.4, obținute pentru un factor Rice de 3,5 dB, este incapacitatea ochiului uman de a observa o diferență între ele: toate imaginile par „curate”, putând chiar spune că sunt identice cu cele originale. Prin urmare, de această dată trebuie să se țină cont numai de indicii de performanță. Estimatorul VIF subliniază efectul utilizării codurilor neortogonale, obținând valori mai mici cu aproximativ 10% pentru utilizatorii corelați, față de cei necorelați.

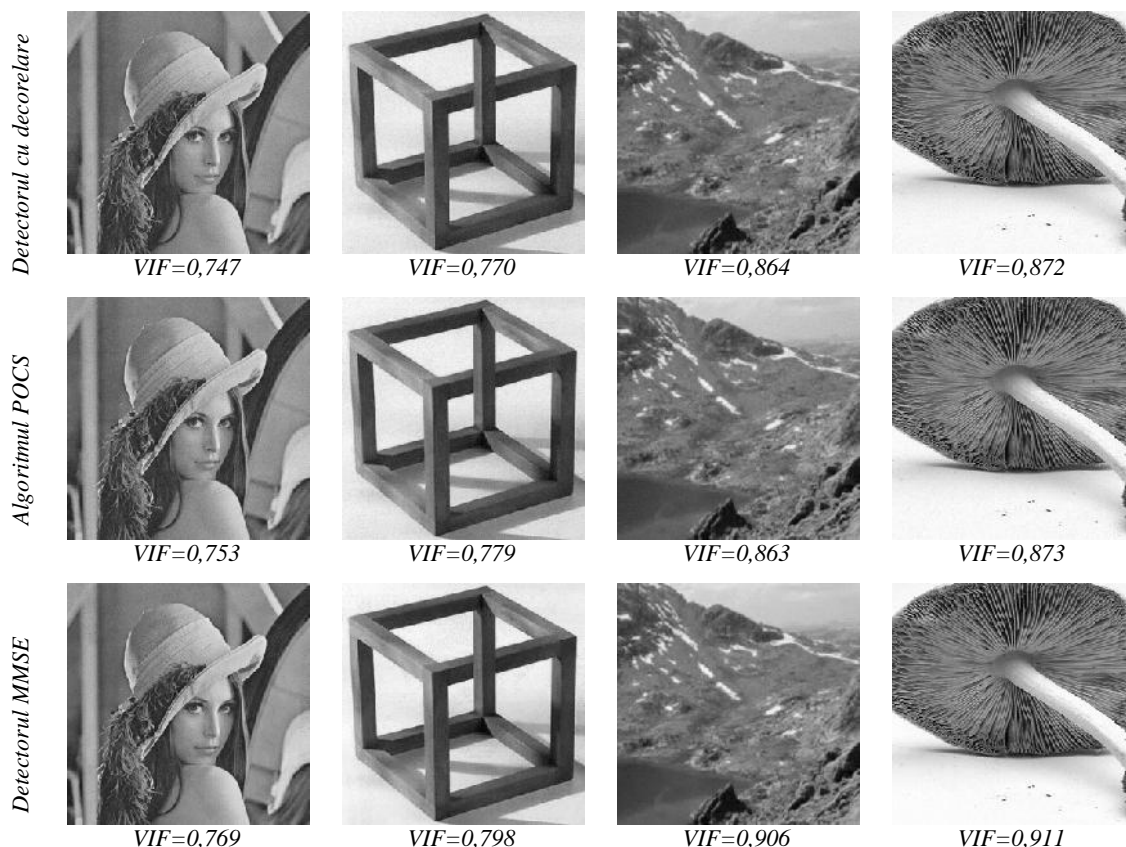


Fig. 7.4 Imaginile recuperate un *RSZ* de $5+17$ dB, factorul Rice $K=3,5$ dB

7.3 CONCLUZII

În acest capitol s-a introdus un detector MUD îmbunătățit bazat pe algoritmul POCS, iar rezultatele obținute au fost comparate cu cele realizate de detectorul cu decorelare și cel MMSE. Pentru eliminarea fadingului de pe canal a fost folosită, ca și în capitolul precedent, codarea bloc spațio-temporală. Ținând cont de rezultatele obținute mai sus, din punctul de vedere al *BER*, detectorul propus aduce îmbunătățiri față de celelalte detectoare atunci când sunt folosite coduri de împrăștiere neortogonale. Deși cele trei detectoare obțin performanțe slabe atunci când raportul semnal-zgomot are valori mici, pe măsură ce *RSZ* crește rezultatele obținute de detectorul propus sunt mai bune. În plus, pentru *RSZ* egal cu 1 dB, *VIF* arată că se recuperează aproximativ 30% din imaginile originale, atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh. Dacă se ține cont de percepția vizuală, atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh sau Nakagami-m, imaginile recuperate de algoritmul POCS conțin informații suplimentare, dar această problemă este valabilă numai pentru valori mici ale *RSZ*. Același lucru este valabil și pentru detectorul MMSE. Acest fenomen apare datorită dependenței formulei folosită la estimarea informației, de către cele două detectoare, de varianța zgomotului de pe canal. Acest aspect nu mai este prezent atunci când fadingul de tip Rice perturbă informația, detectoarele ajungând să recupereze imagini foarte apropiate de original, fapt susținut și de indicii de măsurare a performanței și de percepția vizuală. În plus algoritmul POCS s-a dovedit mai puternic în estimarea informației trimise de utilizatorii corelați, față de celelalte două detectoare, indiferent de fadingul care afectează informația care străbate canalul.

Pentru medierea imaginilor s-au folosit numai 50 de imagini, în loc de 100, cum s-au folosit în capitolul anterior. În urma rezultatelor atinse de indicii de performanță, se observă că medierea pe mai multe imagini contribuie la o mărire a calității imaginii estimate. De aceea, în urma simulărilor efectuate s-a remarcat necesitatea efectuării simulărilor de tip Monte Carlo, pentru ca indicii de performanță utilizați pentru evaluarea calității informației recuperate să redea valori cât mai corecte, iar evaluarea acestor detectoare să fie cât mai bună.

CAPITOLUL 8 CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Scopul prezentei teze a fost de a prezenta diferite tipuri de detectoare multiutilizator folosite în sistemele DS-CDMA și tipurile de fading care pot apărea în canal, cu intenția de a evidenția problemele fiecărui tip de detector și provocările introduse de apariția fadingului în aplicațiile CDMA. Având astfel baza teoretică bine stabilită s-au evaluat performanțele a câtorva detectoare multiutilizator, două cunoscute și unul propus, atunci când canalul este afectat de diferite tipuri de fading și fiecare utilizator transmite propria imagine cu ton continuu de gri, în locul semnalului aleatoriu. Pentru a evalua mai bine performanțele atinse de detectoarele multiutilizator codurile de împrăștiere, folosite pentru separarea utilizatorilor pe canal, au fost alese mai întâi ortogonale, iar apoi astfel încât să existe diferite grade de corelație între utilizatori. În plus, detectorul propus a fost dezvoltat în ideea de a aduce o îmbunătățire utilizatorilor care folosesc coduri neortogonale, deoarece utilizatorii corelați ajung să obțină rezultate mai slabe decât cei necorelați.

8.1 REZULTATE OBȚINUTE

În prima parte a lucrării este prezentat nivelul actual al domeniului, prezentând pe scurt direcțiile urmate de cercetători și rezultatele obținute de aceștia. În urma studiului făcut nu s-a găsit nicio lucrare care să evalueze performanțele acestor tipuri de detectoare atunci când este folosită transmisia de imagini. Au fost alese imaginile cu ton continuu de gri pentru a scurta durata de simulare, având în vedere că pentru fiecare caz în parte s-au realizat simulări de tip Monte Carlo. De-a lungul raportului se regăsesc numeroase concluzii interesante bazate pe performanțele atinse de fiecare detector în parte sau de indicii de măsură ai performanțelor.

În continuare au fost prezentate cele mai des întâlnite detectoare, fiind punctate avantajele și dezavantajele fiecăruia. Apoi, folosind transmisia de imagini, s-a realizat o comparație între trei detectoare, și anume între detectorul convențional, cel optimal și detectorul liniar bazat pe minimizarea erorii pătratice medii, atunci când canalul este afectat numai de zgomot ZAGA. Pentru o comparație riguroasă s-au analizat diferite situații: utilizatori cu aceeași putere de emisie sau puteri diferite, codurile folosite pentru separarea informației pe canal ortogonale sau neortogonale. S-a preferat transmisia imaginilor în locul biților aleatori, pentru a putea beneficia de multitudinea indicilor de măsurare a performanțelor utilizați în compararea a două imagini și de posibilitatea realizării unei comparații subiective între imaginea transmisă și cea recepționată, analizând imaginile din punctul de vedere al percepției vizuale.

S-a arătat că cele trei detectoare obțin rezultate similare atunci când utilizatorii sunt perfect necorelați sau când raportul semnal-zgomot are valori mari. Dar, pe măsură ce coeficientul de intercorelație crește, rezultatele obținute de detectoarele MUD analizate se degradează, iar detectorul convențional este cel mai semnificativ afectat. Aceste rezultate sunt valabile indiferent de indicele de performanță folosit: probabilitatea de eroare de bit, raportului semnal-zgomot de vârf sau indexul de similitudine. Totodată s-a demonstrat, și prin rezultatele obținute în urma simulărilor, că detectorul convențional atinge rezultate bune, chiar comparabile cu cele atinse de detectorul optimal, atunci când utilizatorii folosesc coduri de împrăștiere ortogonale, evidențiind faptul că a fost special construit pentru utilizarea în condiții ideale.

În plus, s-a dovedit superioritatea detectorului optimal și prin realizarea comparației între detectoare folosind percepția vizuală. Dacă, atunci când utilizatorii au puteri de transmisie diferite și sunt perfect necorelați, imaginile recepționate de către utilizatori sunt foarte apropiate din punctul de vedere al percepției vizuale, pentru toate detectoarele analizate, pe măsură ce coeficientul de intercorelație crește, detectorul MMSE și cel convențional își pierd din performanțe. Imaginile estimate de cele două detectoare, pentru al doilea utilizator (cel cu puterea de emisie mai mică), ajungând să

conține informații din imaginile transmise de ceilalți utilizatori din sistem, fapt ce nu se întâmplă în cazul detectorului optimal.

În capitolul patru al tezei au fost prezentați pe scurt principalii factori care determină apariția fadingului, parametrii semnalului și cei ai canalului care contribuie la stabilirea tipului de fading. În funcție de acești parametri au fost descrise patru tipuri de fading, și anume: fadingul rapid, fadingul lent, fadingul selectiv în frecvență și fadingul plat. Pentru a putea modela matematic aceste tipuri de fading au fost utilizate distribuțiile care simulează cel mai bine din punct de vedere statistic comportamentul canalului; cele mai des întâlnite sunt distribuțiile Rayleigh, Rice, distribuția lognormală și Nakagami- m , fiecare fiind indicată pentru diferite scenarii.

Următorul capitol are rolul de a prezenta primele rezultate obținute de detectorul cu decorelare atunci când canalul este afectat de fading plat de tip Rayleigh, iar utilizatorii, separați cu ajutorul codurilor ortogonale, transmit propria informație prin trei tipuri de canal: SISO, MISO și MIMO. S-a dovedit incapacitatea detectorului de a estima informația transmisă atunci când sistemul utilizează o singură antenă la emisie și una la recepție, indiferent de valoarea raportului semnal-zgomot. Folosirea diversității la emisie și/sau recepție contribuie la îmbunătățirea performanțelor obținute. Din analiza vizuală a imaginilor și a valorilor obținute de indicii de măsură a calității imaginii recepționate s-a arătat că pe măsură ce valoarea raportului semnal-zgomot crește rezultatele cele mai bune se obțin în cazul MIMO. În plus, s-a observat că prezența fadingului asociat canalului poate conduce la inversarea nuanțelor de gri din imagine în cazul SISO și la apariția unui aspect încețoșat al acestora în cazul MISO. Un alt aspect importat, rezultat în urma simulărilor a fost evidențierea inconsecvenței indicelui $PSNR$. Dacă în capitolul trei (canal afectat numai de zgomot ZAGA), valorile obținute de acest indice coincideau cu percepția vizuală, în acest capitol putem spune acest lucru numai în cazul canalului SISO.

Lucrarea continuă cu capitolul șase, în care sunt prezentate rezultatele obținute în cazul a două detectoare MUD liniare (detectorul cu decorelare și cel MMSE) atunci când canalul este afectat de diferite tipuri de fading și utilizatorii sunt separați prin utilizarea codurilor neortogonale. Atunci când canalul SISO este afectat de fading Rayleigh, cele două detectoare obțin rezultate foarte slabe din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit; cu toate acestea MS-SSIM arată că detectorul MMSE este capabil să estimeze aproximativ 50% din imaginea originală. Atunci când canalul este de tip MISO, performanțele sunt discutabile. Dacă se ține cont numai de rezultatele obținute de probabilitatea de eroare de bit și de ceilalți indici, performanțele celor două detectoare sunt foarte apropiate, dar percepția vizuală nu coincide cu această idee. Imaginile recepționate de detectorul cu decorelare nu conțin informații suplimentare, dar sunt mai întunecate. În cazul detectorului MMSE observațiile sunt opuse: imagini mai luminoase, dar cu informație suplimentară. Este evident că detectorul cu decorelare reușește să decupleze perfect utilizatorii față de detectorul MMSE care, deși face parte din aceeași clasă a detectoarelor MUD, și, din punct de vedere teoretic, obține rezultate mai bune, nu are această capacitate.

Atunci când fadingul asociat canalului are o distribuție Rice, performanțele detectoarelor sunt mult mai bune decât cele obținute în cazul fadingului Rayleigh. În cazul SISO, deși probabilitatea de eroare de bit indică în continuare incapacitatea detectorului cu decorelare de a estima corect informația primită, analiza vizuală a imaginilor evidențiază totuși o îmbunătățire: în fiecare imagine se poate distinge informația ce s-a dorit a fi transmisă. În cazul detectorului MMSE situația rămâne aceeași ca în cazul fadingului Rayleigh. Folosirea codării Alamouti conduce la o îmbunătățire considerabilă, ajungând ca ambele detectoare să recupereze peste 96% din informația transmisă, iar în cazul detectorului MMSE efectul de interferență nu mai este vizibil, așa cum este la fadingul Rayleigh.

În cazul fadingului Nakagami- m , performanțele diferă în funcție de parametrul m . Rezultatele obținute de detectorul cu decorelare se îmbunătățesc odată cu creșterea parametrului m , în schimb în cazul detectorului MMSE diferențele se observă numai în cazul valorilor indicate de indicii de performanță, iar percepția vizuală nu distinge diferențe notabile între imagini. În plus, deși pentru $m > 1$ performanțele ar fi trebuit să fie mai bune decât cele obținute atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh, rezultatele nu confirmă teoria.

Având în vedere concluziile trase în capitolul șase cu privire la rezultatele mai slabe obținute de utilizatorii corelați față de cei necorelați, în penultimul capitol s-a propus un detector multiutilizator îmbunătățit, bazat pe algoritmul de proiecție pe mulțimi convexe, care contribuie la îmbunătățirea calității informației recepționate de utilizatorii corelați. S-a dorit dezvoltarea unui astfel de detector deoarece majoritatea algoritmilor propuși în literatură sunt dezvoltați pentru coduri de împrăștiere ortogonale.

Din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit, detectorul propus aduce îmbunătățiri față de celelalte detectoare atunci când sunt folosite coduri de împrăștiere neortogonale și valorile RSZ sunt suficient de mari. Deși cele trei detectoare obțin performanțe slabe atunci când raportul semnal-zgomot are valori mici: VIF arată că se recuperează aproximativ 30% din imaginile originale, atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh, iar pe măsură ce RSZ crește rezultatele obținute de detectorul propus sunt mai bune. Dacă se ține cont de percepția vizuală, atunci când canalul este afectat de fading Rayleigh sau Nakagami-m, imaginile recuperate de algoritmul POCS conțin informații suplimentare, dar această problemă este valabilă numai pentru valori mici ale RSZ . Acest aspect nu mai este prezent atunci când fadingul de tip Rice afectează canalul, detectoarele ajungând să recupereze imagini foarte apropiate de original, fapt susținut și de indicii de măsurare a performanței și de percepția vizuală.

Prin urmare, detectorul propus s-a dovedit mai puternic în estimarea informației trimise de utilizatorii corelați, față de celelalte două detectoare multiutilizator liniare, indiferent de fadingul care afectează informația care străbate canalul.

8.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

De-a lungul lucrării de doctorat au fost aduse diverse contribuții originale după cum urmează:

- s-a înlocuit clasicul semnalul aleator care era trimis pe canal, cu un semnal rezultat prin digitizarea unei imagini cu ton continuu de gri; permițând astfel o analiză mai detaliată a performanțelor atinse de detectoarele MUD prin utilizarea diferitor indici de măsurare a performanței calității imaginii recepționate;
- realizarea unei comparații detaliate între detectorul convențional, detectorul MMSE și cel optimal atunci când este implicată transmisia de imagini, evidențiind superioritatea detectorului optimal;
- implementarea în mediul de simulare MATLAB a diferitelor funcții de generare a fadingului de pe canal, și verificarea prin simulări că coeficienții fadingului generați respectă distribuțiile Rayleigh, Rice, lognormală și Nakagami-m teoretice;
- demonstrarea incapacității detectorului cu decorelare de a estima informația transmisă atunci când canalul de tip SISO este afectat de fading Rayleigh și utilizatorii sunt separați cu ajutorul codurilor ortogonale;
- s-a observat că prezența fadingului pe canal poate conduce la inversarea nuanțelor de gri din imagine în cazul SISO și la apariția unui aspect încețos al acestora în cazul MISO; în cazul canalului MIMO nuanțele sunt mult mai clare;
- s-a realizat o comparație între două detectoare MUD liniare, atunci când codurile de împrăștiere nu sunt perfect ortogonale, iar canalul SISO/MISO este afectat de diferite tipuri de fading: Rayleigh, Rice sau Nakagami-m; deși din punctul de vedere al probabilității de eroare de bit cele două detectoare MUD (detectorul cu decorelare și cel MMSE) obțineau performanțe similare, prin analiza vizuală a imaginii s-a arătat că detectorul cu decorelare reușește să decupleze perfect utilizatorii;
- s-a implementat un algoritm de detecție multiutilizator îmbunătățit care contribuie la îmbunătățirea calității informației recepționate de utilizatorii corelați; superioritatea algoritmului propus a fost demonstrată printr-o serie de simulări efectuate, rezultatele obținute fiind comparate cu cele obținute de detectorul cu decorelare și cel MMSE.

Pe lângă activitatea de cercetare alocată pregătirii tezei de doctorat, în acești trei ani, autoarea a colaborat la buna desfășurare a proiectelor coordonate de doamna Prof. Dr. Ing. Simona Halunga și de domnul Prof. Dr. Ing. Octavian Fratu. Dintre aceste proiecte sunt amintite cele care au tangență cu lucrarea, și anume: • „*Contribuții la dezvoltarea algoritmilor de prelucrare și codare a semnalelor video în sisteme wireless multiutilizator prin optimizarea parametrilor de calitate psihoperceptuală*”, contract de cercetare tip IDEI, UPB-CNCSIS, cod CNCSIS 653/2009 (2009-2011); • “*Evoluția,*

modalitățile de implementare și de tranziție pentru radiodifuziunea digitală DVB în condițiile de utilizare eficientă a spectrului de frecvențe”, contract nr. 106/08.08.2011, proiect de cercetare din planul sectorial 2011-2014 al MCSI, programul Comunicații, (coordonator: UPB, participanți: ICI);

- ”Scalable Radio Transceiver for Instrumental Wireless Sensor Network”, contract nr. 20/2012, proiect de cercetare PNCDI II de tip parteneriat 2012-2016 (coordonator: UPB, participanți: BEIA, IFIN-HH)

8.3 PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Având în vedere rezultatele obținute până acum se dorește ca activitatea de cercetare să continue în domeniul detecției multiutilizator exploatând cât mai mult calea deschisă prin transmiterea de imagini. Împreună cu colegii din colectivul de cercetare din care fac parte doresc să analizez efectul asupra imaginilor recepționate de detectorul propus în această lucrare atunci când se combină tehnica DS-CDMA cu cea OFDM, rezultând ceea ce e cunoscut sub numele de MC-CDMA. În plus, se dorește implementarea sistemului DS-CDMA în precizie finită, pe dispozitive de tip FPGA (*Field Programmable Gate Array*). De asemenea, se vor analiza efectele aduse performanțelor detectoarelor MUD la schimbările mediului de simulare.

Alte direcții de dezvoltare ar fi înlocuirea codurilor Walsh-Hadamard cu alte coduri de împrăștiere, de exemplu PN, Gold, Kasami. Având în vedere că în prezenta lucrare a fost considerată transmisia sincronă, interesant este de analizat și efectul adus de detectoarele asincrone asupra calității imaginilor recepționate. O altă direcție ar fi înlocuirea imaginilor PNG cu imagini codate (MPEG, JPEG). În plus, o metodă de a îmbunătăți calitatea acestor imagini este de a folosi procesare de imagini, înainte de a transmite informația pe canal și după recuperarea acesteia, cu scopul de a elimina zgomotul și interferențele care apar între utilizatori.

8.4 LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

- [1] Răzvan Crăciunescu, **Carmen Voicu**, Alexandru Vulpe, Simona Halunga, „Performance analysis of MC-CDMA system when image transmission is involved”, trimis la COMM2014
- [2] **C. Voicu**, S. Halunga, “Linear multiuser detection in flat Rayleigh fading channels”, acceptat la Buletinul POLITEHNICEI din București
- [3] **C. Voicu**, S. Lohan, S. Halunga, “Multiuser detection in DS-CDMA systems using POCS algorithm”, TELFOR, pp. 188-191, Belgrad, 2013
- [4] **C. Voicu**, S. Halunga, D. Vizireanu, “Performances of Decorrelating MUD Using STBC for Image Transmissions in Rayleigh Fading Channel”, TELSIKS, pp. 597-600, Nis, 2013
- [5] **Carmen Voicu**, Simona Halunga, “MMSE detector using space time diversity coding over Rayleigh fading channels”, ISETC, pp. 209-212, Timișoara, 2012 (**ISI**)
- [6] S.V. Halunga, **C. Voicu**, Performances of synchronous multiuser detectors for grey-type image transmissions”, International Journal of Electronics, vol. 99, nr. 10, pp. 1415–1425, Oct. 2012 (**ISI**)
- [7] **C. Voicu**, „A comparison between the performances of CDMA multiuser detectors for binary image transmission”, International Journal of Electronics, vol. 99, nr. 3, pp. 445–453, March 2012 (**ISI**)
- [8] **C. Voicu**, S. Halunga, D. Vizireanu, “Performances of Conventional and MMSE Detectors for Image Transmissions”, TELSIKS, pp. 76-79, Nis 2011
- [9] **C. Voicu**, S. Halunga, D. Vizireanu, “Conventional and optimum multiuser detectors performances for image transmissions”, ISETC, pp. 195-198, Timișoara 2010 (**ISI**)

BIBLIOGRAFIE

- [1] accesat la 22.01.2013. [Interactiv]. Available:
<http://www.slideshare.net/emmanuelnwankwo/cdma-early-days-creating-qualcomm>.
- [2] S. Halunga, Sisteme de comunicare cu acces multiplu, București: Editura PRINTECH, 2005.
- [3] S. Verdu, Multiuser Detection, Cambridge University Press, 1988.
- [4] B. Yang și F. Danilo-Lemoine, „Comparison of Multiuser Detection Techniques for Asynchronous Multirate DS-CDMA Systems,” în *IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sept. 2005.
- [5] Y. Xiaohui, L. Shuang, L. Lihua, T. Xiaofeng și Z. Ping, „MMSE-SIC-turbo receiver for CDMA-MIMO system,” în *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, Aug. 2005.
- [6] B. Yang și F. Danilo-Lemoine, „Performance of a decorrelator based successive interference cancellation multiuser receiver for asynchronous multirate DS-CDMA systems,” în *IEEE Military Communications Conference*, Oct. 2005.
- [7] A. Y. Hassan, A. M. Hassan și A. F. Hussian, „New approach for designing CDMA linear decorrelator detector,” în *IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks*, April 2009.
- [8] C. Yongyu, Y. Dacheng și W. Wenbo, „A new type of multiuser detector for CDMA mobile communication,” în *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2000.
- [9] Markku J. Juntti and Behnaam Aazhang, „Finite Memory-Length Linear Multiuser Detection for Asynchronous CDMA Communications,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 611-622, May. 1997.
- [10] Z. Xu și P. Liu, „Blind Multiuser Detection by Kurtosis Maximization/ Minimization,” *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 11, pp. 1-4, Jan. 2004.
- [11] A. Barbosa și S. Miller, „Adaptive detection of DS-CDMA signals in fading channels,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, p. 115–124, Jan. 1998.
- [12] M. Honig, S. Miller, M. Shensa și L. Milstein, „Performance of adaptive linear interference suppression in the presence of dynamic fading,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 49, pp. 635–645,, Apr. 2001.
- [13] M. Latva-aho și M. J. Juntti, „MMSE detection of DS-CDMA systems in fading channels,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 48, p. 194–199, Feb. 2000.
- [14] S. L. Miller, M. Honig și L. B. Milstein, „Performance analysis of MMSE receivers for DS-CDMA in frequency-selective fading channels,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 48, pp. 1919-1929, Nov. 2000.
- [15] A. Klein, G. Kaleh și P. Baier, „Zero forcing and minimum mean-square-error equalization for multiuser detection in code-division multiple-access channels,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, p. 276–287, May 1996.
- [16] E. Al-Hussaini, H. Mourad și A. Harmal, „Joint detection and diversity techniques in CDMA mobile radio systems,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 18, p. 129–147, 2001.

- [17] M. Honig, U. Madhow și S. Verdu, „Blind adaptive multiuser detection,” *IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol. 41 din 41, p. 944–960, July 1995.
- [18] Y. A. Fahmy, H.-A. M. Mourad și E. K. Al-Hussaini, „A Generalized Blind Adaptive Multi-User Detection Algorithm for Multipath Rayleigh Fading Channel Employed in a MIMO System,” *Journal of Commun. and Networks*, vol. 8, nr. 3, pp. 290-296, Sept. 2006.
- [19] L.-L. Yang, „MIMO-assisted space-code-division multiple-access: linear detectors and performance over multipath fading channels,” *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 24, nr. 1, pp. 121-131, Jan. 2006.
- [20] M. Alamouti, „A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications,” *IEEE Journal on Select Areas in Commun.*, vol. 16, nr. 8, Oct. 1998.
- [21] H. Li și H. V. Poor, „Spectral efficiency of equal-rate DS-CDMA systems with multiple transmit antennas,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, p. 3680–3688, Dec. 2006.
- [22] H.-H. Chen și M. Guizani, „Multiple access technologies for B3G wireless communications,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, nr. 2, p. 65–67, Feb. 2005.
- [23] S.-M. Tseng, „Sequential detection for multiuser MIMO CDMA systems with single spreading code per user,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, nr. 7, pp. 3492-3497, July 2009.
- [24] Z. Ni și D. Li, „Spectral efficiency of distributed MIMO code division multiple access systems over multipath fading channels,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 5, p. 35–43.
- [25] S. L. Stewart și M. Angeline, „Multiuser Detection for MIMO CDMA Systems,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 6, pp. 6-10, July 2010.
- [26] A. A. Basri și T. J. Lim, „Optimum Detection of Binary Signals in Rayleigh Fading Channels with Imperfect Channel Estimates,” în *IEEE Global Telecommunications Conference*, 2006.
- [27] A. Assra, W. Hamouda și A. Youssef, „A Channel-Estimation and Data-Detection Scheme for Multiuser MIMO-CDMA Systems in Fading Channels,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, nr. 6, pp. 2830-2844, July 2010.
- [28] Y. Tadokoro, H. Okada, T. Yamazato și M. Katayama, „The optimum received signal-power distribution for CDMA packet communication systems employing successive interference cancellation,” în *International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, 2004.
- [29] J. Li, X.-D. Zhang și Q. Gao, „Successive Interference Cancellation for DS-CDMA Downlink/Uplink,” în *Wireless Communications and Networking Conference*, 2008.
- [30] D. Chen și T. Hashimoto, „A New BER Upper Bound for Multiuser Downlink Systems,” *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 61, nr. 3, pp. 1188-1199, 2013.
- [31] W. Fang, L.-L. Yang și L. Hanzo, „Performance of Relay-Aided DS-CDMA Downlink Systems Communicating over Nakagami-m Fading Channels,” în *Vehicular Technology Conference*, 2008.
- [32] A. Ziani și A. Medouri, „Analysis of different Pseudo-Random and orthogonal spreading sequences in DS-CDMA,” în *International Conference on Multimedia Computing and Systems*, 2012.
- [33] A. Scott și R. Frobenius, „Multiple Access Techniques: FDMA, TDMA, AND CDMA,” în *RF Measurements for Cellular Phones and Wireless Data Systems*, Wiley-IEEE Press, 2008, pp. 413 - 429 .

- [34] M. R. Gajbhiye și J. K. Sathpathy, „Performance comparison of MMSE-based adaptive multiuser detection of DS-CDMA signals,” în *International Conference on Industrial Electronics, Control & Robotics*, 2010.
- [35] L. Tharani și R. P. Yadav, „Limited multiuser detection technique using multisub of correlation Factor for DS- CDMA System,” în *International Conference on Computer and Communication Engineering*, 2008.
- [36] C. Masouros și E. Alsusa, „A Near-Far Resistant Precoding Technique for DS-CDMA Systems,” în *Global Telecommunications Conference*, 2007.
- [37] W. Hamouda și P. McLane, „Performance analysis of space-time MMSE multiuser detection for coded DS-CDMA systems in multipath fading channels,” *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, vol. 5, nr. 4, pp. 829-838, 2006.
- [38] R. M. Buehrer, Code Division Multiple Access, Ed Morgan & Claypool, 2006.
- [39] M. L. Honig, Advances in multiuser detection, John Wiley & Sons, 2009.
- [40] R. M. B. Mike Buehrer, Code Division Multiple Access, Morgan & Claypool, 2006.
- [41] B. Shimon Moshavi, „Multi-user detection for DS-CDMA communications,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 124-136, Oct. 1996.
- [42] R. Lupas și S. Verdu, „Near-far Resistance of Multiuser Detectors in Asynchronous Channels,” *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. %1 din %2COM-38, 1990.
- [43] C. Voicu, „A comparasion between the performances of CDMA multiuser detectors for binary image transmission,” *International Journal of Electroncs*, vol. 99, nr. 3, pp. 445-453, 2012.
- [44] C. Voicu, S. Halunga și D. Vizireanu, „Convențional and optimum multiuser detectors performances for image transmision,” în *ISETc*, 2010.
- [45] C. Voicu, S. Halunga și D. Vizireanu, „Performances of Conventional and MMSE Detectors for Image Transmissions,” în *TELSIKS*, 2011.
- [46] S. Halunga și C. Voicu, „Performances of synchronous multiuser detectors for gray-type image transmissions,” *International Journal of Electronics*, vol. 99, nr. 10, pp. 1415-1425, 2012.
- [47] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh și E. Simoncelli, „Image qualit assessment: From error visibility to structural similarity,” *IEEE trans. on Image Processing*, vol. 13, nr. 4, pp. 600-612, 2004.
- [48] R. Preda, C. Oprea și D. N. Vizireanu, *Introducere în watermarking pentru imagini și video*, București: Electronica 2000, 2009.
- [49] A. Malviya și S. Bhirud, „Objective criterion for performances evaluation of image fusion techniques,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 1, nr. 25, pp. 57-60, 2010.
- [50] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall, 2001.
- [51] P. Hande, L. Tong și A. Swami, „Flat fading approximation error,” *IEEE Communications Letters*, vol. 4, nr. 10, p. 2000, 310-311.
- [52] J. Lee și L. Miller, *CDMA System Engineering Handbok*, Boston: Artech House, 1998.
- [53] J. W. Yoo, T. Liu, S. Shamai și C. Tian, „Worst-Case Expected-Capacity Loss of Slow-Fading Channels,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 59, nr. 6, pp. 3764-3779, 2013.
- [54] J. G. Proakis și M. Salehi, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 2008.
- [55] T. Tank și J.-P. M. G. Linnartz, „Vehicle-to-Vehicle Communications for AVCS Platooning,” *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 528-536, May 1997.

- [56] N. C. Beaulieu și C. Cheng, „Efficient Nakagami-m Fading Channel Simulation,” *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 54, pp. 413-424, MARCH 2005.
- [57] C. Voicu, S. Halunga și D. Vizireanu, „Performances of Decorrelating MUD Using STBC for Image Transmissions in Rayleigh Fading Channel,” în *TELSIKS*, Nis, 2013.
- [58] B. Badic, M. Rupp și H. Weinrichter, „Extended Alamouti codes in correlated channels using partial feedback,” în *IEEE International Conference on Communications*, June 2004.
- [59] B. Vucetic și J. Yuan, *Space-time coding is an effective transmit diversity technique to combat fading in wireless communications*, John Wiley and Sons, March 2003.
- [60] C. Voicu și S. Halunga, „[4] Carmen Voicu, Simona MMSE detector using space time diversity coding over Rayleigh fading channels,” în *ISETC*, Timișoara, 2012.
- [61] S. H. C. Voicu, „Linear multiuser detection in flat Rayleigh fading channels,” *acceptat la Buletinul POLITEHNICEI din București*.
- [62] J. Hu și R. S. Blum, „Multiuser detection in flat Rayleigh fading channel using an approximate MMSE algorithm,” în *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*.
- [63] Z. Wang și A. Bovik, „A universal image quality index,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 9, pp. 81-84, March 2002.
- [64] R. Lukac, *Perceptual Digital Imaging: Methods and Applications*, CRC Press, 2012.
- [65] Z. Wang, E. P. Simoncelli și A. C. Bovik, „Multi-scale structural similarity for image quality assessment,” în *IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Nov. 2003.
- [66] H. Sheikh și A. Bovik, „Image information and visual quality,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, pp. 430-444, Feb. 2006.
- [67] A. V. Murthy și L. J. Karam, May 2013. [Interactiv]. Available: <http://ivulab.asu.edu/Quality/IVQUEST>.
- [68] M. Jankiraman, *Space-Time Codes and MIMO Systems*, Artech House, 2004.
- [69] D. D. Colclough și E. L. Titlebaum, „Delay-doppler pocs for specular multipath,” în *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, May 2002.
- [70] T. K. Moon și W. C. Stirling, *Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing*, Prentice-Hall, 1999.
- [71] A. Lakhzouri, E. Lohan și M. Renfors, „Constrained deconvolution approach with intercell interference cancellation for LOS estimation in WCDMA systems,” în *Proc. of IEEE International Communication Conference*, Jun 2004.
- [72] E. Lohan și M. Renfors, „A novel deconvolution approach for high accuracy LOS estimation in WCDMA environments,” în *CDROM Proc. of ISSPA*, Paris, France, Jul 2003.