UNIVERSITATEA ”POLITEHNICA” TIMIŞOARA
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ ŞI TELECOMUNICAȚII

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Contribuții la dezvoltarea sistemelor optice de comunicații cu acces multiplu prin diviziunea în cod (OCDMA)

Ing. Lucaciu Radu Ion

Coordonator ştiinţific:
Prof. Dr. Ing. Miranda Naforniță

TIMIŞOARA
2010

Cuprins

Listă abrevieri .....

Cap.1. Sisteme optice de interior fără fir .....

1.1. Introducere .....

1.2. Caracteristici ale sistemelor optice de interior fără fir .....

Cap.2. Sisteme OCDMA .....

2.1. Accesul multiplu .....

2.1.1. Accesul multiplu cu diviziune în frecvență (FDMA) .....

2.1.2. Accesul multiplu cu diviziune în timp (TDMA) .....

2.1.3. Accesul multiplu cu diviziune în cod (CDMA) .....

2.1.4. Accesul multiplu cu diviziune spațială (SDMA) .....

2.2. Accesul multiplu cu diviziune în cod, optic (OCDMA) .....

2.3. Sisteme OCDMA cu codare spectrală .....

2.3.1. Sisteme OCDMA cu codare spectrală care folosesc rețele de difracție şi lentile .....

2.3.2. Sisteme OCDMA cu codare spectrală cu rețele cu fibre Bragg .....

Cap.3. Simularea şi măsurarea răspunsului la impuls a spațiilor închise pentru comunicații wireless indoor .....

3.1. Simularea răspunsului la impuls a unui spațiu închis .....

3.2. Măsurarea răspunsului la impuls cu ajutorul unei machete .....

3.3. Utilizarea unui program de simulare pentru aproximarea cu filtru FIR a canalului optic de interior fără fir.....

Cap.4. Analiza performanțelor sistemelor wireless OCDMA cu codare spectrală în amplitudine .....

4.1. Analiza sistemului .....

4.2. Rezultatele obținute prin simulare .....

Cap.5. Alte moduri de abordare a sistemelor wireless OCDMA cu codare spectrală în amplitudine .....

5.1. Modalităţi de reducere a interferenţei datorate dispersiei multicale .....

5.1.1. OCDMA dinamic .....

5.1.2. OCDMA cu deconvoluţie .....

5.2. Mobilitatea receptorului .....

Cap.6 Contribuţii şi concluzii .....

Anexa A .....

Anexa B .....

Anexa C .....

Bibliografie .....

Lista lucrărilor .....

Conținutul lucrării

Capitolul 1, redus ca întindere**,** prezintă principalele caracteristici ale sistemelor optice de interior fără fir în infraroşu şi structura lucrării.

În **capitolul doi,** după o analiză şi sinteză a bibliografiei din domeniu având ca subiect sistemele cu acces multiplu, urmează o prezentare mai amănunțită a sistemelor optice cu acces multiplu cu diviziune în cod (OCDMA). În paragraful 2.3. se prezintă o sinteză detaliată a sistemelor OCDMA cu codare spectrală.

În **capitolul trei** sunt prezentate două metode de obținere a răspunsului la impuls al unui spațiu închis: prin simulare cu ajutorul unui program Matlab, prin măsurare cu ajutorul unei machete de dimensiuni reduse. Au fost prezentate răspunsuri la impuls astfel obținute pentru cazurile: unor camere nemobilate în configurație LOS sau difuză (simulare) şi respectiv camere mobilate sau nemobilate (măsurare). În ultima parte (paragraful 3.3.) se propune înregistrarea răspunsurilor la impuls măsurate şi obținerea pe baza lor a răspunsului la impuls invers cu ajutorul unui program de simulare a filtrelor FIR, răspuns necesar pentru efectuarea deconvoluției.

În **capitolul patru,** în prima parte se prezintă un calcul analitic, făcut pentru sistemele wireless OCDMA cu codare spectrală în amplitudine în cazul „clasic", în care un utilizator îşi transmite toți biții utilizând o singură secvență de cod. Noutatea în calculul realizat o constituie evidențierea influenței biților anterior transmişi în cazul detecției bitului actual, în scopul eliminării interferenței intersimbol printr-o metoda prezentată în paragraful 5.1.1. Modelul prezentat în teză se bazează pe utilizarea răspunsului optic la impuls simulat sau măsurat, obținut în cazul unui spațiu închis nemobilat sau mobilat. În a doua parte sunt prezentate rezultatele obținute prin simulare în cazurile unor configurații LOS sau difuze. Au fost utilizate ca secvențe de cod, secvențe-m de lungime 127 şi 511 şi au fost luate în considerare debite de 25Mb/s şi 100 Mb/s.

În **capitolul cinci** sunt propuse două modalități de reducere a interferenței datorate dispersiei multicale şi anume utilizarea OCDMA „dinamic", respectiv utilizarea deconvoluției. Apoi, este prezentat un studiu al cazului în care receptorul din cadrul sistemului este mobil.

Originalitatea în cazul noii metode propuse, OCDMA „dinamic" (paragraful 5.1.1.), constă în utilizarea unor secvențe de cod diferite pentru biții vecini în scopul de a combate interferența intersimbol. Un utilizator are atribuite L secvențe de cod în cazul unui răspuns care are o întindere în timp LT, T-perioada unui bit. Codarea se face utilizând o secvență de cod diferită pentru fiecare bit transmis în cazul primilor L biți (prima secvență pentru primul bit, a doua pentru cel de-al doilea etc.), iar apoi pentru următorii L biți se continuă începând din nou cu prima secvență de cod. A fost

expus un calcul analitic în cazul OCDMA dinamic, iar apoi sunt prezentate simulări pentru a compara performanța (BER) în cazul celor două tehnici: OCDMA clasic şi OCDMA dinamic.

În paragraful 5.1.2. este propusă o a doua metodă de reducere a interferenței datorate propagării pe căi multiple, utilizarea deconvoluției. Se prezintă simulările făcute pentru a compara performanța (BER) în cazurile cu deconvoluție şi fără deconvoluție.

Paragraful 5.2. conține un studiu propriu pentru cazul în care pozițiile emițătorului şi receptorului nu mai sunt fixe. Receptorul din cadrul sistemului este mobil, el se deplasează din 0,5 în 0,5 metri față de poziția inițială când se afla exact sub emițător. Sunt prezentate răspunsurile la impuls, obținute prin simulare, pentru pozițiile pe la care trece receptorul în cazul unor configurații LOS şi difuze. Se obține BER în funcție de distanța cu care se deplasează receptorul față de emițător. Se observă că o depărtare de până la 0,5 metri a receptorului față de emițător nu modifică esențial performanțele sistemului optic de comunicație.

În **capitolul şase,** sunt trecute în revistă contribuțiile personale, şi, legate de acestea, concluziile tezei.

Teza mai conține 3 anexe şi bibliografia.

Contribuţii şi concluzii

Transmiterea informaţiei prin semnale optice este cunoscută încă din cele mai vechi timpuri. Apariţia dispozitivelor portabile cum ar fi laptop-uri, palmtop-uri, PDA-uri (Personal Digital Assistants) a crescut necesitatea conectivităţii mobile şi astfel a condus la dezvoltarea reţelelor locale fără fir (wireless LANs). Pe parcursul acestei lucrări a fost studiat un astfel de sistem fără fir şi anume un sistem wireless OCDMA de interior.

Ca şi contribuţii pot fi enumerate următoarele:

- Am făcut o analiză şi sinteză a sistemelor OCDMA cu codare spectrală prezentată în cadrul capitolului 2, paragraful 2.3.

- În capitolul 3, am prezentat răspunsul la impuls în cazul unui spaţiu închis obţinut prin două metode:
  - prin simulare cu ajutorul unui program Matlab creat de mine în cadrul colaborării la [TEL]
  - prin măsurare cu ajutorul unei machete de dimensiuni reduse [GHI, LUC3].

  Părţile de program realizate de mine (paragraful 3.1.) permit:
  - calculul şi afişarea coeficientului de putere recepţionată pentru ordinele de reflexie: 0, 1, 2 sau 3,
  - obţinerea răspunsului la impuls global, cu sau fără componenta de ordinul 3, şi afişarea coeficientului de putere recepţionată corespunzător acestui răspuns global,
  - realizarea interfeţei aferente.

- În cadrul unei cooperări între UPT şi ENSSAT Lannion Franţa am participat la punerea la punct a machetei reduse a canalului fără fir pentru măsurarea răspunsului optic la impuls. Am efectuat măsurătorile cu ajutorul machetei (paragraful 3.2.) [LUC3, LUC4].
  - Spre deosebire de metoda de simulare, care permite doar calculul răspunsului la impuls pentru o cameră nemobilată, metoda de măsurare cu

ajutorul machetei permite determinarea răspunsului la impuls în cazul unei camere mobilate sau nemobilate. Timpul necesar este redus ceea ce constituie un alt avantaj. Un dezavantaj este că nu pot fi observate separat influențele reflexiilor de diferite ordine care compun răspunsul global.

- Metoda de simulare permite un control mai precis al caracteristicilor sursei şi receptorului (abscisă, ordonată, altitudine, elevație, azimut) în comparație cu metoda de măsurare cu ajutorul machetei. Un alt avantaj al acestei metode este că ne permite să determinăm influența avută de reflexiile de diferite ordine în impulsul final. De asemenea putem obține răspunsul la impuls global şi putem calcula coeficientul de putere al acestuia. Un dezavantaj ar fi acela că este luată în considerare o cameră goală. Pentru ordine de reflexie mai mari şi dimensiuni ale suprafeței elementare mici, calculele pot necesita o durată destul de mare de timp ceea ce constituie un alt neajuns.

- Pentru prelucrarea datelor obținute în urma măsurătorilor am realizat un program Matlab cu o interfață aferentă, pe care am prezentat-o în Anexa A şi în [LUC4].

- Înregistrarea răspunsurilor la impuls măsurate şi obținerea pe baza lor a răspunsului cu ajutorul unui program de simulare a filtrelor FIR (paragraful 3.3.), răspuns necesar pentru efectuarea deconvoluției.

- În capitolul 4 paragraful 4.1. am făcut o analiză a unui sistem wireless OCDMA cu codare spectrală în amplitudine în cazul „clasic", în care un utilizator îşi transmite toți biții utilizând o singură secvență de cod. Analiza este derivată din cea prezentată de Kavehrad [KAV1], însă față de modelul inițial care nu utilizează în calcule răspunsul la impuls, modelul pe care l-am prezentat în teză şi în [LUC2] se bazează pe utilizarea răspunsului optic la impuls simulat sau măsurat, obținut în cazul unui spațiu închis nemobilat sau mobilat, şi astfel este posibilă o analiză mai în detaliu a influenței propagării semnalului pe căi multiple. Prin schimbarea unor parametrii ai sursei, prin program, modelul prezentat permite utilizarea tuturor tipurilor de surse pentru sisteme OCDMA cu codare spectrală: diode LED, surse fluorescente cu fibre cu rețele Bragg sau baterii de diode laser.

- Am utilizat răspunsurile la impuls obținute prin simulare şi/sau măsurare (în capitolul 3) pentru obținerea performanțelor de eroare (BER). Acestea sunt

prezentate în paragraful 4.2. În cazul unei configurații difuze pentru 25 de utilizatori activi simultan, la un debit de 25 Mb/s şi $\alpha = 1$ se poate ajunge la BER de 10^{-9} la o putere de aproximativ -27 dBm în cazul unor secvențe de cod de lungime $N = 127$ şi la -30.5 dBm pentru $N = 511$. Pentru $N = 511$ BER poate fi 10^{-9} şi în cazul a 50 sau 63 utilizatori activi simultan, pentru puteri recepționate de până la -25 dBm. În cazul unei configurații difuze pentru 25 de utilizatori activi simultan, la un debit de 100 Mb/s şi $\alpha = 1.15$ se poate ajunge la BER de 10^{-9} la o putere de aproximativ -27.5 dBm în cazul unor secvențe de cod de lungime $N = 127$ şi la -28.5 dBm pentru $N = 511$. Pentru $N = 511$ BER poate fi 10^{-9} şi în cazul a 50 sau 63 utilizatori activi simultan, pentru puteri recepționate de până la -27 dBm. Un factor important de degradare a performanțelor în cazul sistemelor OCDMA wireless cu codare spectrală în amplitudine, s-a dovedit a fi ISI datorată propagării pe căi multiple, generată de reflexiile pe diferitele elemente reflectorizante (pereți, tavan, podea, mobilă).

- În capitolul 5 am propus două modalități de reducere a interferenței datorate dispersiei multicale şi anume utilizarea OCDMA „dinamic", respectiv utilizarea deconvoluției; acestea au fost prezentate în [LUC2], respectiv [LUC1]. Apoi, am prezentat un studiu al cazului în care receptorul din cadrul sistemului este mobil [LUC5]. Studiul este bazat pe facilitățile oferite de programul Matlab (paragraful 3.1.), utilizat pentru simularea răspunsului la impuls, şi anume: posibilitatea determinării răspunsului global şi a coeficientului de putere recepționată, pentru diferite poziții emițător-receptor.
    - am făcut în paragraful 5.1.1., o analiză [LUC2] (inspirată de rezultatele obținute în capitolul 4) a performanțelor (BER) pentru sistemele OCDMA wireless cu codare spectrală în amplitudine pentru cazul „dinamic", în care s-au atribuit unui utilizator mai multe secvențe de cod, nu doar una singură cum era în cazul „clasic". Am analizat cazurile în care un utilizator transmite un anumit număr de biți consecutivi (2 biți vezi Fig. 5.7. şi Fig. 5.8.) cu ajutorul aceleiaşi secvențe de cod mergându-se până la cazul în care fiecare bit consecutiv este transmis cu ajutorul unei alte secvențe de cod (4 biți diferiți sau 10 biți diferiți vezi Fig. 5.7. - Fig. 5.10.). Am

constatat o îmbunătățire a performanțelor (BER) în special în cazul unei configurații difuze. Cea mai evidentă îmbunătățire a performanțelor a rezultat atunci când un utilizator are atribuite *L* secvențe de cod în cazul unui răspuns care are o întindere în timp *LT*, *T*-perioada unui bit. În unele cazuri viteza necesară pentru comutarea măştii poate fi considerată prea mare şi apare ca potrivită folosirea de către un utilizator a mai puțin de *L* secvențe de cod, astfel un anumit număr de biți (câte 2 biți consecutivi Fig. 5.7. şi Fig. 5.8.) fiind transmişi cu aceeaşi secvență de cod viteza de comutare a măştii este mai redusă, dar încă obținem o anumită îmbunătățire a BER. Prin utilizarea OCDMA „dinamic", pentru o configurație difuză, am obținut un câştig de 3.6 dB (de la -26.4 dBm la -30 dBm), față de cazul „clasic", la un debit de 25 Mb/s în cazul a 25 de utilizatori activi şi BER de 10^{-9}. Pentru o configurație LOS, am obținut un câştig de 0.6 dB (de la -28.2 dBm la -28.8 dBm), față de cazul „clasic", la un debit de 25 Mb/s în cazul a 50 de utilizatori activi şi BER de 10^{-9}. În cazul „dinamic" pentru o configurație difuză la un debit de 100 Mb/s se poate obține BER de 10^{-9}; în cazul „clasic" nu poate fi obținută această valoare, cea mai bună valoare a lui BER este de aproximativ 10^{-3}. La un debit de 100 Mb/s pentru o configurație LOS, prin utilizarea OCDMA „dinamic" am obținut un câştig de 0.75 dB (de la -26.75 dBm la -27.5 dBm) în cazul a 50 de utilizatori activi şi BER de 10^{-9}. Pentru o configurație difuză, în cazul a 10 utilizatori activi, la un debit de 1 Gb/s prin utilizarea OCDMA „dinamic" se poate obține un BER care se apropie de 10^{-5} atunci când se folosesc 10 secvențe de cod diferite şi un BER de aproximativ 10^{-3} dacă se folosesc 4 secvențe de cod diferite; în cazul „clasic" se poate obține un BER de 10^{-1}.

- în paragraful 5.1.2. am utilizat ca metodă de reducere a interferenței multicale, deconvoluția. Am realizat o analiză a performanțelor (BER, SNR) cu ajutorul modelului propus [LUC1, LUC3] şi din graficele obținute a rezultat o îmbunătățire a acestora în special în cazul unei configurații difuze. Prin utilizarea deconvoluției am obținut pentru o configurație difuză, față de cazul fără deconvoluție, un câştig de 2.5 dB

(de la -27.1 dBm la -29.6 dBm) la un debit de 25 Mb/s, K = 25 de utilizatori activi simultan şi BER de 10^{-9}. În cazul unei configurații difuze la un debit de 100 Mb/s, prin utilizarea deconvoluției se poate obține BER de 10^{-9} pentru 25 şi 50 de utilizatori activi; dacă nu se utilizează deconvoluția BER se apropie de 10^{-3}. Pentru o configurație LOS la un debit de 100 Mb/s, K = 25 de utilizatori activi simultan şi BER de 10^{-9} câştigul este de 0.15 dB (de la -27.6 dBm la -27.75 dBm). Utilizând deconvoluția BER de 10^{-4} poate fi obținut, la un debit de 1 Gb/s pentru K = 10 utilizatori activi simultan, în cazul fără deconvoluție se obține un BER de 10^{-1}.

- în paragraful 5.2. am prezentat un studiu propriu pentru cazul în care receptorul din cadrul sistemului este mobil. În urma analizei am prezentat o modalitate de a păstra performanțele sistemului (BER) la acelaşi nivel ca şi cel de la poziția unde se recepționează puterea maximă (prin mărirea cu cantitatea necesară a puterii recepționate la acea poziție), în cazul în care receptorul se deplasează în interiorul camerei [LUC5]. Am mai constatat că o depărtare de până la 0,5 metri a receptorului față de emițător nu modifică esențial performanțele sistemului optic de comunicație (Fig. 5.24.).

Măsurătorile practice au fost făcute în Laboratoire d'Optronique de la ENSSAT Lannion, în cadrul unor mobilități Socrates.

Lista lucrărilor publicate

[LUC1] **R. Lucaciu**, A. Mihăescu, „Deconvolutional OCDMA for Indoor Wireless Optical Communications", Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, vol. 3, pp. 53-56, 2010.

[LUC2] **R. Lucaciu**, A. Mihăescu, C. Vlădeanu, „Dynamic OCDMA Coding for Indoor Wireless Optical Communications", The 8th International Conference on Communications "COMM 2010" Bucureşti, vol. 2, pp. 347-350, June 2010.

[LUC3] **R. Lucaciu**, „Multipath Interference Reduction Using Deconvolution in OCDMA Wireless Optical System", International Symposium on Electronics and Telecommunications ETC 2010 Ninth Edition "ISETC 2010", Timişoara, pp. 277-280, 11-12 November 2010.

[LUC4] **R. Lucaciu**, A. Mihăescu, „Simulation Program for FIR Filter Approximation of Indoor Wireless Optical Channel", Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timişoara, Transactions on Electronics and Communications, Fascicola 1/2010, TOM 55(69), pp. 8-12, 2010.

[LUC5] **R. Lucaciu**, A. Mihăescu, C. Vlădeanu, „Receiver Mobility Influence on OCDMA Indoor Wireless Communications System Performances", acceptat pentru publicare la - The 9th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing "CSECS 2010", Athens, 29-31 December 2010.

[VLĂ1] C. Vlădeanu, **R. Lucaciu**, D. Andrei, „Optimal Chaotic Asynchronous DS-CDMA Communications over Frequency-Nonselective Rician Fading Channels", Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timişoara, Transactions on Electronics and Communications, Tom 49(63), Fascicola 2, pp. 394-397, October 2004.

[VLĂ2] C. Vlădeanu, **R. Lucaciu**, „Second Order Moment Estimation for Multilevel Quantized Tailed Shifts Sequences. Optimising BER for Asynchronous DS-CDMA Systems", Proceedings of IEEE International Symposium SCS, ISSCS'2005, Iaşi, pp. 661-664, July 2005.

Articole ne citate în teză:

[VLĂ3] C. Vlădeanu, A. Păun, **R. Lucaciu**, S. El Assad, „Parallel Turbo-TCM Schemes using Recursive Convolutional GF(2^N) Encoders over Frequency Non-Selective Fading Channel", International Symposium on Electronics and Telecommunications ETC 2010 Ninth Edition "ISETC 2010", Timişoara, pp. 285-288, 11-12 November 2010.

[BAL] H. Baltă, M. Kovaci, Al. De Baynast, C. Vlădeanu, **R. Lucaciu**, „Multi-Non-Binary Turbo-Codes From Convolutional to Reed-Solomon Codes", Buletinul Ştiinţific al Universităţii „Politehnica" Timişoara, Seria Electronică şi Telecomunicaţii, Tom 51-65 Electronică şi Telecomunicaţii, Fascicola 2, pp.113-118, 2006.