

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea de Electronică și Telecomunicații
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

**Admis la susținere
Șefă departament TSE:
Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.**

20 ianarie 2025

**Cercetarea proprietăților semnalelor de tip zgomot
pentru sistemele de comunicații multicanal cu
simulare în mediul Matlab**

Teză de master

**Student: Filip Ivan
gr. SCE - 231M**

**Conducător: Șestacova Tatiana
conf. univ., dr.**

Chișinău, 2025

REZUMAT

Autorul: Filip Ivan, gr. SCE - 231M

Titlul tezei de master: Cercetarea proprietăților semnalelor de tip zgomot pentru sistemele de comunicații multicanal cu simulare în mediul Matlab

Structura lucrării: constă din pagini de titlu, aviz, rezumat, introducere, 3 capitoli, concluzii, bibliografie.

Cuvinte cheie: Sistem CDMA, semnale asemănătoare zgomotului, secvențe pseudo-aleatoare, funcție de autocorelare.

Problematica studiului: Analiza proprietăților de corelație ale semnalelor asemănătoare zgomotului pe baza derivatelor funcțiilor Walsh pentru sistemele de transmisie de date multicanal

Scopul lucrării: Cercetare și modelarea proprietăților de corelare a semnalelor de bandă largă (pe baza derivatelor funcțiilor Walsh în funcție de tipul funcției generatoare) cu vârfurile maxime ale lobilor principali FAC, nivelurile minime ale lobilor laterali FAC și vârfurile minime FCI.

Obiectivele:

1. Realizați unei analize a metodelor de împărțire a datelor în sistemele de comunicații multicanal;
2. Efectuați o analiză a SPA-urilor aplicate pentru a obține semnale asemănătoare zgomotului;
3. Investigați proprietățile de autocorelare ale derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții generatoare;
4. Cercetați proprietăților de corelație reciprocă ale derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții generatoare;
5. Simulați în mediul Matlab derivatele considerate ale funcției Walsh cu diferite funcții generatoare pentru a determina funcția care are lobii laterali minimi ai FAC;
6. Simulați în mediul Matlab derivatele considerate ale funcției Walsh cu diferite funcții generatoare pentru a determina vârfurile maxime ale FCR;

Metode aplicate: SPA-urile studiate ale derivatelor funcțiilor Walsh au fost investigate analitic și simulate în mediul Matlab folosind biblioteca de blocuri Simulink și în mod programatic.

Rezultatele obținute: Rezultatele modelării și calculelor software ale caracteristicilor de corelație ale derivatelor considerate ale funcțiilor Walsh au confirmat că funcțiile de corelație ale derivatelor funcțiilor Walsh depind de tipul funcției generatoare. Funcțiile Walsh derivate au caracteristici mai bune cu funcția generatoare SPA3 (funcția Barker modificată).

Obținerea tuturor secvențelor ansamblului de derivate ale funcțiilor Walsh este necesară pentru utilizarea optimă a secvențelor considerate în sistemul de comunicații, deoarece de aceasta depinde numărul de abonați ai sistemului și, în consecință, eficiența sistemului și protecția de la acces neautorizat.

SUMMARY

Author: Filip Ivan, gr. SCE-231M

Title: **Research of properties of noise-like signals for multichannel communication systems with Matlab simulation**

Thesis structure: consists of title pages, Review, Summary, Introduction, Conclusions, Bibliography.

Key words: CDMA system, noise-like signals, pseudo-random sequences, autocorrelation function, cross correlation function, Walsh function derivative, generating function.

Research problem: Analysis of correlation properties of noise-like signals based on derivatives of Walsh functions for multichannel data transmission systems.

Thesis purpose: Investigating and modeling the correlation properties of broadband signals (based on derivatives of Walsh functions depending on the type of generating function) with ACF main lobe maximum peaks, ACF sidelobe minimum levels, and CCF minimum peaks..

Objectives:

1. Carry out an analysis of channel division methods in multichannel communication systems;
2. Perform an analysis of applied PRSs to obtain noise-like signals.
3. Investigate autocorrelation properties of derivatives of Walsh functions with different generating functions.
4. Investigate the cross-correlation properties of derivatives of Walsh functions with different generating functions.
5. Simulate in the Matlab environment the considered derivatives of the Walsh function with different generating functions in order to determine the function that has the minimum side lobes of the ACF.
6. Simulate in the Matlab environment the considered derivatives of the Walsh function with different generating functions in order to determine the maximum peaks of the CCF.

Applied methods: The studied PRSs of derivatives of Walsh functions were investigated analytically and simulated in Matlab environment using Simulink block library and programmatically..

The obtained results: The results of modeling and software calculations of the correlation characteristics of the considered derivatives of the Walsh functions confirmed that the correlation functions of the derivatives of the Walsh functions depend on the type of the generating function. The derivative Walsh functions have better characteristics with the generating function PSP3 (modified Barker function).

Obtaining all sequences of the set of derivatives of Walsh functions is necessary for the optimal use of the considered sequences in the communication system, since the number of system subscribers and, consequently, the system efficiency and protection against unauthorized access depend on it.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1 ANALIZA METODELOR DE DIVIZARE A CANALELOR ÎN SISTEMELE DE COMUNICAȚII	9
1.1 Diviziunea în frecvență a canalelor sistemului de comunicații	10
1.2 Diviziunea în timp a canalelor sistemului de comunicații	11
1.3 Diviziunea canalului după forma de undă (cod)	13
2 CERCETAREA PROPRIETĂȚILOR SEMNALELOR DE TIP ZGOMOT PENTRU SISTEMELE DE COMUNICAȚII MULTICANAL ȘI MODELAREA ACESTORA ÎN MEDIUL MATLAB	24
2.1 Analiza metodelor de generare a semnalelor pseudoaleatoare	25
2.2 Funcții Walsh derivate	37
2.3 Analiza caracteristicilor de corelație ale derivatelor funcțiilor Walsh în funcție de tipul funcției generatoare	38
3 STUDIUL CARACTERISTICILOR DE CORELARE ALE FUNCȚIILOR DERIVATE WALSH ÎN MEDIUL MATLAB	55
3.1 Modelarea caracteristicilor de corelație ale derivatelor funcțiilor Walsh în mediul Matlab	55
3.2 Analiza caracteristicilor de corelație ale derivatelor funcțiilor Walsh folosind o metodă programatică în Mediul Matlab	61
CONCLUZII	68
BIBLIOGRAFIE	70

INTRODUCERE

Mai mult de 60 de ani de experiență în utilizarea *sistemelor de comunicații în bandă largă (SCBL)* au confirmat avantajele acestora, cum ar fi rezistența ridicată la interferențele în bandă îngustă, capacitatea de a opera mai mulți abonați pe un singur canal de comunicații, secretul transmisiei, rezistența ridicată la propagarea multipath. O caracteristică distinctivă a sistemelor de transmisie de date cu diviziune codificată a canalelor este posibilitatea utilizării repetate (multiple) a resurselor de frecvență datorită separării canalelor nu în funcție de frecvență sau timp, ci de "formă", ceea ce permite operarea simultană a mai multor abonați în aceeași bandă de frecvență.

Un astfel de sistem utilizează *secvențe pseudoaleatorii (SPA)* cu proprietăți de corelație specificate. Semnalele de canal formate prin extinderea semnalului informațional cu secvențe pseudoaleatorii se numesc pseudo-zgomot sau *semnale asemănătoare zgomotului (SAZ)* ; pentru orice alt receptor, care nu știe nimic despre secvența de extindere, un astfel de semnal este zgomot. Sistemele de comunicații sunt utilizate pe scară largă din trei motive.

Primul motiv este acela că semnalele de bandă largă formate folosind diferite SPA pot avea aceeași frecvență purtătoare, adică pot fi transmise în aceeași bandă.

Al doilea motiv pentru care utilizarea SCBL este foarte avantajoasă este imunitatea sa ridicată la interferențe în bandă largă și în bandă îngustă, ceea ce este foarte relevant în mediul electromagnetic intens din sistemele de comunicații moderne.

Al treilea motiv este secretul energetic ridicat al sistemelor cu bandă largă și, în consecință, confidențialitatea ridicată a datelor transmise. Esența celor de mai sus este că un semnal în bandă largă nu este doar dificil de decodat - este dificil de detectat pur și simplu, adică de identificat chiar faptul funcționării stației abonatului.

Principalele metode de extindere a spectrului de semnal utilizate pe scară largă în sistemele moderne de transmisie a informațiilor (ITS), sistemele de control sunt [1, 3, 6,11]:

1. Spectru împrăștiat cu salt de frecvență pseudoaleator . Esența metodei este o schimbare periodică prin salt a frecvenței purtătoare în conformitate cu un algoritm cunoscut de receptor și emițător.

Avantajul metodei este simplitatea implementării, dezavantajul fiind întârzierea fluxului de date la fiecare salt. Metoda este utilizată în Bluetooth. Pentru GSM au fost propuse metode similare cu schimbări mai puțin frecvente ale frecvenței (salturi lente de frecvență).

2. Metoda DSSS (direct sequence spread spectrum). Metoda este mai eficientă decât DSSS, dar mai dificil de implementat. Esența metodei constă în creșterea frecvenței ceasului de modulație; în acest caz, fiecare simbol al mesajului transmis corespunde unei secvențe pseudoaleatorii suficient de lungi. Metoda este utilizată în sisteme precum CDMA (*Code Division Multiple Access*) și sistemele IEEE 802.11 (Wi-Fi);
3. Răspândirea spectrului prin modulație liniară de frecvență (*engl.* LFM, chirp spread spectrum, CSS). Esența metodei constă în reglarea frecvenței purtătoare în conformitate cu o lege liniară. Metoda este utilizată în radiolocație și în unele modemuri radio. Într-o serie de sisteme pentru a reduce puterea radiațiilor electromagnetice incidentale pot fi utilizate tehnologii similare - Spread-spectrum clock generation (SSCG) - în care frecvența generatorului de ceas al circuitelor sincrone de înaltă frecvență se modifică constant în intervalul de aproximativ 30-250 kHz (de exemplu, în SATA, DisplayPort).

Astfel, metoda de transmitere a informațiilor cu lărgirea spectrului constă în: pe partea de emisie - în modularea simultană și independentă a parametrilor semnalului printr-un cod special (funcție de lărgire a spectrului) și a mesajului transmis; pe partea de recepție - în demodularea sincronă a semnalului în conformitate cu funcția de lărgire a spectrului și restaurarea mesajului transmis [1, 3].

Pentru a organiza eficient funcționarea mai multor canale într-o bandă de frecvență comună, este necesar să se selecteze secvența de expansiune în conformitate cu reguli strict definite.

Prin urmare, **scopul** tezei de master este cercetarea proprietăților semnalelor de tip zgomot pentru sistemele de comunicații multicanal.

Pentru a atinge acest scop, este necesar să se rezolve următoarele **obiective**:

1. Realizați unei analize a metodelor de divizare a datelor în sistemele de comunicații multicanal;
2. Efectuați o analiză a SPA utilizate pentru a obține semnale asemănătoare zgomotului;
3. Analizați proprietățile de autocorelație ale derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții derivate;
4. Investigați proprietățile de corelație reciprocă (*cross correlation*) a derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții derivate;
5. Simulați în mediul Matlab derivatele ale funcției Walsh considerate pentru a determina funcția cu lobi laterali ACF minim;
6. Simulați în mediul Matlab funcțiile derivate Walsh considerate pentru a determina emisiile ale funcției de corelație reciprocă CCF maxime;

BIBLIOGRAFIE

1. Varakin L.E. Sisteme de comunicație cu semnale asemănătoare zgomotului. - M.: Radio și comunicații, 1985. - 348 p. UDK 321.39: 621.391.82.
2. Mazurkov M.I. Sisteme de radiocomunicații în bandă largă. - O.: Știință și tehnologie, 2009. - 344 p. ISBN: 978-966-8335-95-2.
3. Solomon W. Golomb și Guang Gong. Signal Design for Good Correlation, Cambridge, Cambridge University Press, 2005, 458 p. ISBN: 978-0-51154-690-7.
4. Feer K. Wireless digital communications, methods of modulation and spectrum expansion. - M.: Radio și comunicații, 2000. ISBN: 5-256-01444-7.
5. Gantmakher V.E., Bystrov N.E., Chebotarev D.V. Semnale de tip noise. Analiză, sinteză și prelucrare. - Sankt Petersburg: Știință și tehnologie, 2005. - 400 p. ISBN: 5-94387-158-6.
6. Ipatov V. P. Sisteme de bandă largă și separarea prin cod a semnalelor. Principii și aplicații. - M.: Techosphere. 2007. 488 p. ISBN: 978-5-94836-128-4.
7. Volkov, L.N., Nemirovsky, M.S., Shinakov, Y.S. Digital radio communication systems: basic methods and characteristics: Manual. - Moscova: Eco-Trends, 2005 - 392 p. ISBN: 5-88405-071-2.
8. Nikitin G.I. Aplicarea funcțiilor Walsh în sistemele de comunicații celulare cu diviziune codificată a canelurilor. - Sankt Petersburg: SPbGUAP, 2003. - 86 p. UDC 62.391.2.
9. Bespalov M.S., Sklyarenko V.A. Funcțiile Walsh și aplicațiile lor. - Vladimir; Editura VISI, 2012. - 35 p. ISBN: 978-5-9984-0310-1.
10. Sorochin, Gherman, Șestacova, Tatiana. Analiza comparativă a codurilor Barker compozite și a funcțiilor Walsh compozite. *Osterreichisches Multiscience Journal*. Innsbruck, Austria. vol 1, No38 (2021), p. 72-78. ISSN - 1740-1798.
11. Bessarabova A.A., Venediktov M.D., Ledovskikh V.I. Channel Form Separation in Broadband Information Transmission Systems: Tutorial. - Ediția a 2-a, corectată și completată. [A.A. BESSARABOVA, M.D. VENEDIKTOV, V.I. LEDOVSKIKH. - Voronej: Universitatea Tehnică de Stat Voronej, 2006. 102 p. UDK 621.396.49.
12. Volynskaya A.V., Kalinin P.M. Noi semnale rezistente la zgomot pentru un canal inteligent de telemecanică //Fundamental Research. - 2012. - № 11-4. - pp.922-926. UDK 656.25, 621.391.82.
13. Derbunovych L.V. Generatoare de teste deterministe asupra registrelor de deplasare cu reacție neliniară/ L.V. Derbunovych, D.A. Tatarenko, A.V. Klimenko// Buletinul NTU "KhPI" - 2005. Klimenko// Buletinul NTU "KhPI", - 2005. - № 7. - pp.58-63. UDC 004.054.
14. POPA, Cristina. Tehnici de modelare și simulare: Aplicații MATLAB / Cristina, Popa, Bogdan, Doicin. - Ploiești: Editura Universității PetrolGaze din Ploiești, 2018. - 161 p; fig., tab. - Bibliogr.: p. 161. ISBN: 978-973-719-729-0.

15. TÎRȘU, V., CRISTEA E. Baze de date : Ghid metodic pentru lucrările de laborator. Chișinău: Ed. “Tehnica-UTM”, 2024, 112 pag. ISBN 978-9975-64-392-4. Disponibil: <https://library.utm.md/items/?biblionumber=2628876>
16. TÎRȘU, V. Programare : Ghid metodic pentru lucrări de laborator. Chișinău: Ed. “Tehnica-UTM”, 2022, pag.130, ISBN 978-9975-45-861-0. Disponibil: <https://library.utm.md/items/?biblionumber=2619626>