

CERCETAREA PROPRIETĂȚILOR CORELATIVE ALE SEMNALELOR DE BANDĂ LARGĂ UTILIZÂND CODURI GOLD ȘI BARKER MODIFICATE

Ilia BELIVAC

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa SSET-172, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ilia, Belivac, ilia.belivac@sde.utm.md

Rezumat: *Lucrarea discută proprietățile de corelație ale secvențelor pseudo-aleatorii (SPA) utilizate pentru a forma semnale asemănătoare zgomotului în sistemele de transmisie de date de mare viteză. Se iau în considerare cele mai frecvent utilizate secvențe pseudo-aleatorii: coduri Barker modificate și coduri Gold cu aceeași lungime. În mediul Matlab se efectuează o analiză comparativă a proprietăților de corelație ale SPA. Se arată că codurile Barker modificate au proprietăți de corelație nesatisfăcătoare. Se arată că utilizarea codurilor Gold permite obținerea semnalelor cu proprietățile de corelație necesare pentru sistemele de comunicații, inclusiv sistemele cu divizarea codurilor canalelor. Sunt stabilite direcțiile de cercetare ulterioară.*

Cuvinte cheie: *semnale asemănătoare zgomotului, secvențe pseudo-aleatorii, coduri Barker modificate, coduri Gold, funcție de autocorelare.*

Introducere

În prezent, o atenție deosebită este acordată protecției informațiilor care sunt transmise prin canalul de comunicare împotriva accesului neautorizat. Există diverse abordări pentru rezolvarea unor astfel de probleme [1-4]. O astfel de abordare este utilizarea semnalelor în bandă largă, uneori denumite semnale asemănătoare zgomotului. De regulă, astfel de semnale se formează pe baza secvențelor pseudo-aleatoare (SPA).

Proprietățile de corelație și corelație reciprocă ale semnalelor sunt una dintre principalele caracteristici care determină posibilitatea utilizării unuia sau altui ansamblu de semnale în bandă largă. Funcțiile de corelație reciprocă ar trebui să aibă valori „mici” ale lobilor laterali maximi. Funcțiile de autocorelație (FAC) și corelație reciprocă (FCR) sunt caracteristici temporale ale semnalelor care determină gradul de dependență a semnalelor la diferite schimburi de timp.

Pentru a forma semnale complexe, se folosesc secvențe binare ortogonale și cvasi-ortogonale. Secvențele ortogonale (Haar, Walsh, Rademacher etc.) au un ansamblu mic egal sau mai mic decât lungimea lor, iar ortogonalitatea doar într-un punct, adică. la schimbare zero. Funcțiile de corelație reciprocă au lobi laterali mari. În acest sens, secvențele ortogonale pentru sistemele cu diviziunea codului semnalelor în sistemele de comunicații în bandă largă găsesc o utilizare foarte limitată.

Prin urmare, este de dorit să se utilizeze astfel de secvențe cvasi-ortogonale care asigură detectarea și procesarea fiabilă a semnalelor asemănătoare zgomotului. Să luăm în considerare unele dintre ele.

Partea principală

Secvențele M, codurile Barker, codurile Barker modificate, codurile Gold sunt folosite pe scară largă ca coduri de răspândit. Toate acestea trebuie să posedă, după cum s-a menționat mai sus, anumite proprietăți de autocorelare și corelare reciprocă.

Funcția de autocorelare (FAC) a semnalelor discrete se calculează cu formula:

$$R_u(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u_j u_{j-n}, \quad (1.1)$$

unde n este un număr întreg, pozitiv, negativ sau zero.

Funcția de corelare reciprocă între două semnale discrete este calculată cu formulă

$$R_{uv}(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u_j v_{j-n} \quad (1.2)$$

Proprietățile de corelare ale secvențelor de cod utilizate în sistemele în bandă largă depind de tipul secvenței de cod, de lungimea L , de rata de repetare a simbolurilor sale și de structura simbolică [2, 4].

Să realizăm o analiză comparativă a caracteristicilor de corelație ale SPA, care sunt utilizate pentru a obține semnale asemănătoare zgomotului.

Coduri Barker modificate.

O serie de surse [6, 7] iau în considerare codurile Barker modificate, la care se adaugă un anumit număr de caractere (0 sau 1). Luați în considerare posibilitatea obținerii unui ansamblu de SPA bazat pe un cod Barker pe 13 biți.

S-au investigat caracteristicile de corelație ale codurilor Barker-Volynskaya, compuse din primele coduri Barker de 15 biți și coduri Barker de 2 biți. Aceste coduri modificate (15x2) au o lungime de 30 de biți. Ca urmare a simulării în mediul Matlab și a analizei graficelor PFAC, AFAC și FCR SPA obținute, am ajuns la concluzia că codurile Barker modificate pe 15 biți au funcții de corelație reciprocă rele. Combinațiile de perechi de coduri Barker - Volynskaya (15x2) au, de asemenea, PFAC, AFAC și AFAC slabe și nu pot fi utilizate în sistemele de transmisie cu multiplexarea divizării codurilor.

Din aceste poziții, este mai bine să folosiți secvențe pseudo – aleatoare pentru sistemele de divizare a codurilor care primesc utilizând secvențe M sau coduri Gold [2, 8, 9].

Coduri Gold.

Pentru formarea codurilor Gold, se folosesc secvențe de lungime maximă - secvențe M . Principiul formării secvenței M este acela că membrii secvenței sunt selectați astfel încât să asigure numărul maxim de membri până în momentul în care secvența începe să se repete ciclic. Secvențele M există pentru $N = 2^n - 1$.

Pentru a genera coduri Gold, trebuie alese perechi speciale de secvențe M , numite preferate. Algoritmul propus în [8] permite obținerea secvențelor pseudo-aleatorii cu aceleași proprietăți FAC ca pentru secvențele M și limitarea garantată a nivelurilor relative ale lobilor laterali ai funcției de corelație reciproce, ca și pentru codurile Gold.

După cum se știe [8], fiecare secvență M este caracterizată prin polinomul de verificare $h(x)$:

$$h(x) = b_0 x^n + b_1 x^{n-1} + b_2 x^{n-2} + \dots + b_{n-1} x^1 + b_n. \quad (1.3)$$

Valorile vectorului $b = [b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_n]$ determină complet structura automatului de formare SPA: dacă coeficientul $b_j = 1$, atunci aceasta înseamnă că bitul j al registrului de deplasare este conectat la feedback (intrarea sumatorului pe modul 2), terminalul j -th al registrului de deplasare nu este conectată, dacă $b_j = 0$.

Numărul perechilor preferate este de obicei mult mai mic decât numărul total al tuturor perechilor posibile de secvențe M de lungime fixă.

Pentru $n = 5$, una dintre „perechile preferate” va fi:

$$f_5 = (3), x^5 + x^3 + 1 \text{ și } f_5 = (4, 3, 2), x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1. \quad (1.4)$$

În Fig.1, a) și b) și Fig 2, a) și b) arată PFAC și AFAC din perechile preferate de secvențe M cu polinozii de verificare

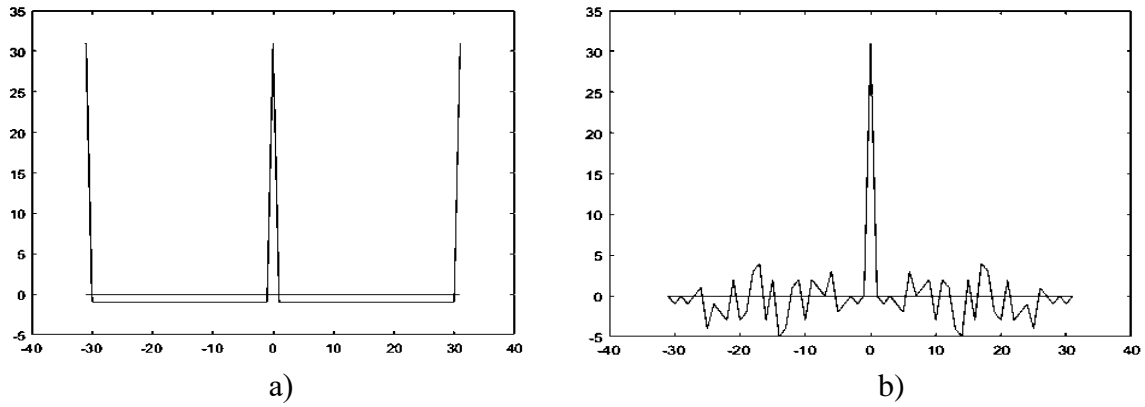


Figura 1. PFAC (a) și AFAC (b) SPA cu polinomul de verificare $f_5 = (3), x^5 + x^3 + 1$

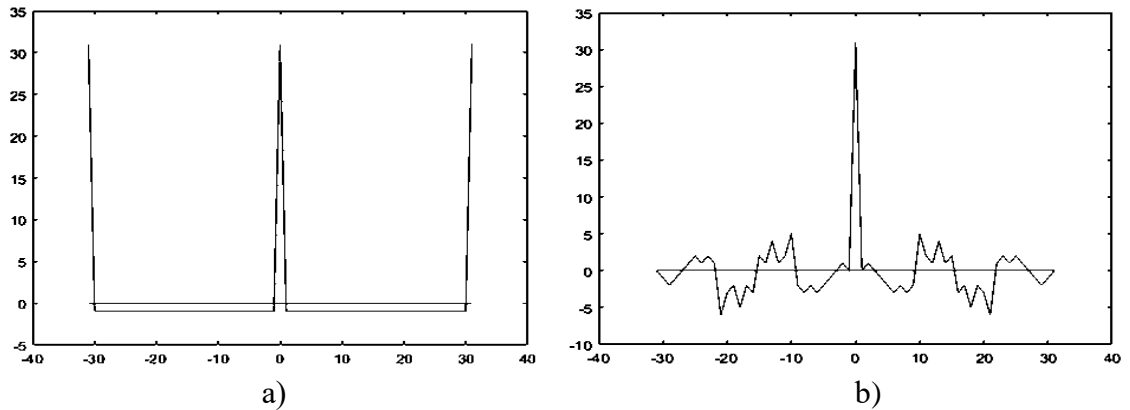


Figura 2. PFAC (a) și AFAC (b) SPA cu polinomul $f_5 = (4, 3, 2), x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

După cum puteți vedea din Fig.1 și Fig.2 FAC ale perechilor preferate de secvențe M sunt foarte bune, care nu sunt inferioare calității FAC ale codurilor Barker.

În Fig.3 și Fig.4 sunt prezentate funcțiile de corelație reciprocă ale perechilor preferate de secvențe M

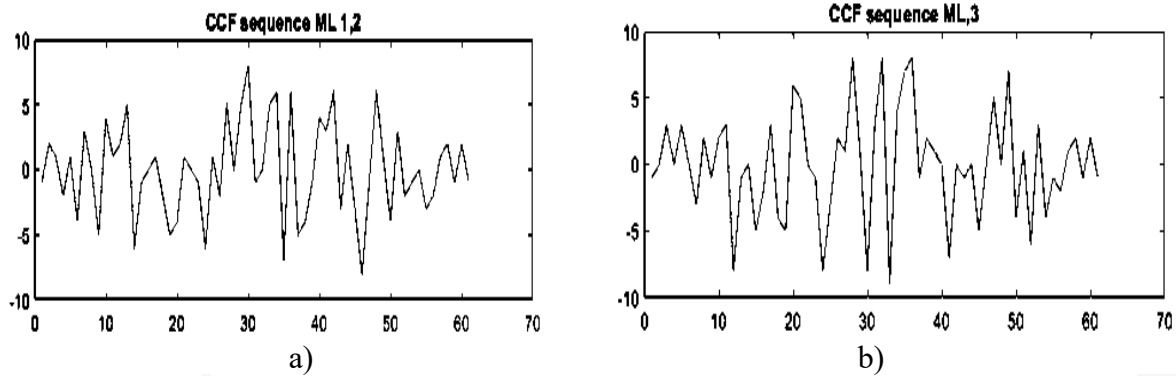
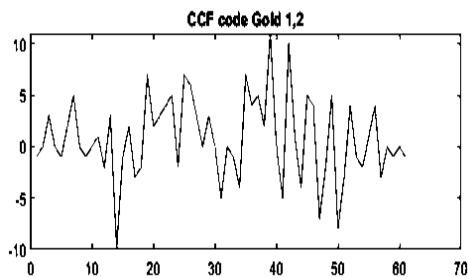


Figura 3. AFCR ale secvențe M cu $f_5 = (3), x^5 + x^3 + 1, f_5 = (4, 3, 2), x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ (a) și $f_5 = (2), x^5 + x^2 + 1, f_5 = (4, 3, 2), x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ (b)



După cum se poate observa din Fig.3 și Fig.4, AFCR ale perechilor preferate de secvențe M și coduri Gold au caracteristici de corelație destul de uniforme. Odată cu creșterea lungimii SPA, nivelul relativ al lobilor laterali ai FCR scade. De exemplu, pentru o secvență Gold cu $N = 2^{10} - 1 = 1023$, acest raport este 0.08, pentru $N = 31$ este 0.35.

Figura 4. AFCR a codurilor Gold

Concluzii

O analiză a proprietăților de corelație ale codurilor Barker modificate și ale codurilor Gold ne permite să tragem următoarele concluzii:

- Creșterea lungimii secvenței Barker modificate crește amplitudinea vârfului central al FAC, dar crește și amplitudinile lobilor laterali ai FAC. Acest lucru poate duce la o eroare de sincronizare, erori la procesarea datelor de intrare.
- Codurile Barker modificate pe 15 biți au funcții de corelație reciprocă rele.
- Codurile Barker modificate pot fi utilizate în sistemele de transmisie de date de mare viteză, ținând cont de influența lobilor laterali ai FAC.
- FAC ale perechilor preferate de secvențe M sunt foarte bune, care nu sunt inferioare calității FAC ale codurilor Barker.
- Pentru a genera coduri Gold, este necesară utilizarea perechilor preferate de secvențe M.
- Generatorul de cod Gold, construit pe baza a două registre de deplasare de lungime N fiecare, poate genera, pe lângă două secvențe M sursă, alte N secvențe de lungime 2^N-1 , adică numărul de secvențe de cod generate este semnificativ extins, ceea ce este important pentru sistemele de transmisie cu multiplexarea divizării codurilor.
- Codurile Gould pot fi alese astfel încât FCR pentru toate secvențele de cod primite de la un generator să fie aceeași, iar mărimea vârfurilor sale laterale să fie limitată.

Prin urmare, utilizarea secvențelor Gold cu o lungime mai mare permite obținerea unui număr mare de SPA-uri diferite, reducerea semnificativă a emisiilor FCR și reducerea nivelului de interferență cu accesul multiplu. Aceasta este o condiție importantă pentru sistemele cu canale de divizare a codurilor. Pe de altă parte, creșterea lungimii SPA reduce nivelul de putere al semnalului transmis, îmbunătățește compatibilitatea electromagnetică a sistemului și sporește protecția împotriva interferențelor.

Referințe

Cărți:

1. Варакин Л.Е. *Системы связи с шумоподобными сигналами*. – М.: Радио и связь, 1985. 348с.
2. Solomon W. Golomb and Guang Gong. *Signal Design for Good Correlation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2005, 458 p.
3. Феер К. *Беспроводная цифровая связь, методы модуляции и расширения спектра*. Перевод с англ. / Под ред. В.И.Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000.
4. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. *Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез и обработка*. —Спб.: Наука и техника, 2005. —400 с.
5. Popa, Cristina. *Tehnici de modelare și simulare: Aplicații MATLAB / Cristina Popa, Bogdan Doicin*. - Ploiești: Editura Universitatii din Ploiești, 2018. - 161 p; fig., tab. - Bibliogr.: p. 161.

Articole în reviste:

6. Jonathan J. What can be used instead of a Barker sequence?. In *American Mathematical Society*.2008.
7. Вольнская А.В., Калинин П.М. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 11-4. – С. 922-926;
8. Кузнецов В.С., Шевченко И.В., Волков А.С., Солодков А.В. Генерация ансамблей кодов Голда для систем прямого расширения спектра // *Труды МАИ*. 2017. № 96.

Articole în culegerile conferințelor:

9. Т.ШЕСТАКОВА, Г.СОРОКИН Особенности корреляционных свойств шумоподобных сигналов, *The 6th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics*. – Chisinau: Tehnica – UTM, 2018, pp. 194-199.