

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.396

С. Т. Барась¹
О. В. Войцеховська¹
В. А. Ковтун¹

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ ДИСКРЕТНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ

¹Вінницький національний технічний університет

Виконано аналіз автокореляційної функції дискретної послідовності, яка може застосовуватися для розширення спектру в технологіях широкосмугового радіодоступу та мобільного зв'язку. Наведено основні ознаки дискретних автокореляційних функцій, які в сукупності надають алгоритму реєстрації сигналу високу ступінь захисту від впливу завад.

Ключові слова: розширення спектру, дискретна послідовність, автокореляційна функція, властивості, алгоритм.

Вступ

В технології широкосмугового радіодоступу стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) застосовується розширення спектру методом прямої послідовності, який передбачає фактичну заміну початкових цифрових сигналів на тактових інтервалах їх існування одинадцятипозиційною послідовністю Баркера [1]. Такі послідовності, як відомо [2], мають унікальну властивість: незалежно від кількості позицій M значення їх дискретних автокореляційних функцій (ДАКФ) для всіх $n \neq 0$ не перевищують одиниці (n – число, яке показує, на скільки позицій вліво чи вправо зміщена копія відносно початкового сигналу). При цьому для $n = 0$ ДАКФ чисельно дорівнює M , тобто $B_u(0) = M$. Завдяки цьому та використанню прямої та інверсної послідовностей Баркера стало можливим підвищити надійність реєстрації числових значень цифрових сигналів, тобто установлювати наявність логічних «1» або «0» в умовах значних згасань сигналу та високого рівня шумів.

На сьогодні відомо вісім послідовностей Баркера, з яких найдовшою є тринадцятипозиційна. Зауважимо, що структура цих послідовностей така, що не передбачає простих технічних засобів для їх генерування. Необхідно також зазначити, що ступінь розширення спектру прямо пропорційна довжині послідовності, оскільки для усталеної тривалості тактового інтервалу довша послідовність характеризується коротшими імпульсами (мікрочіпами), що її створюють. Отже, послідовності Баркера мають обмежені можливості щодо розширення спектру.

Метою роботи є аналіз властивостей автокореляційних функцій альтернативних дискретних послідовностей, які забезпечують кращі можливості розширення спектру методом прямої послідовності, спрощують функціонування технічних засобів їх генерації, а також шляхом виявлення усталених закономірностей можуть бути використані при створенні алгоритму реєстрації сигналу.

Результати дослідження

Розглянемо інший вид послідовностей u , які для простоти генерації мають певний упорядкований характер, що проявляється у вигляді групового чергування мікроблоків, і довільну довжину. Назвемо такі послідовності **N -блоковими**, де один блок — це структура, яка містить k позицій елементів «1» і k позицій елементів «-1». Наведемо для прикладу дві послідовності.

П'ятиблокова послідовність, $k = 3$.

1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1.

Триблокова послідовність, $k = 4$.

$$1\ 1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ -1\ 1\ 1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ -1\ 1\ 1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ -1.$$

Перша послідовність містить 30 мікрочіпів ($M = 30$), друга — 24 ($M = 24$). Із цих послідовностей видно, що структура дозволяє використовувати безліч варіантів побудови аналогічних послідовностей, змінюючи кількість блоків N або/і кількість позицій k .

Визначимо для таких послідовностей дискретну автокореляційну функцію за відомою формулою [2]. Результати розрахунків подамо у вигляді графіків.

$$B_u(n) = \sum_{\mu=-\infty}^{\infty} u_{\mu}u_{\mu-n}, \tag{1}$$

де $u_{\mu}u_{\mu-n}$ — добуток оригінала та копії послідовності, яка зміщена на n кроків.

На рис. 1 показана ДАКФ для першої послідовності, на рис. 2 — для другої послідовності.

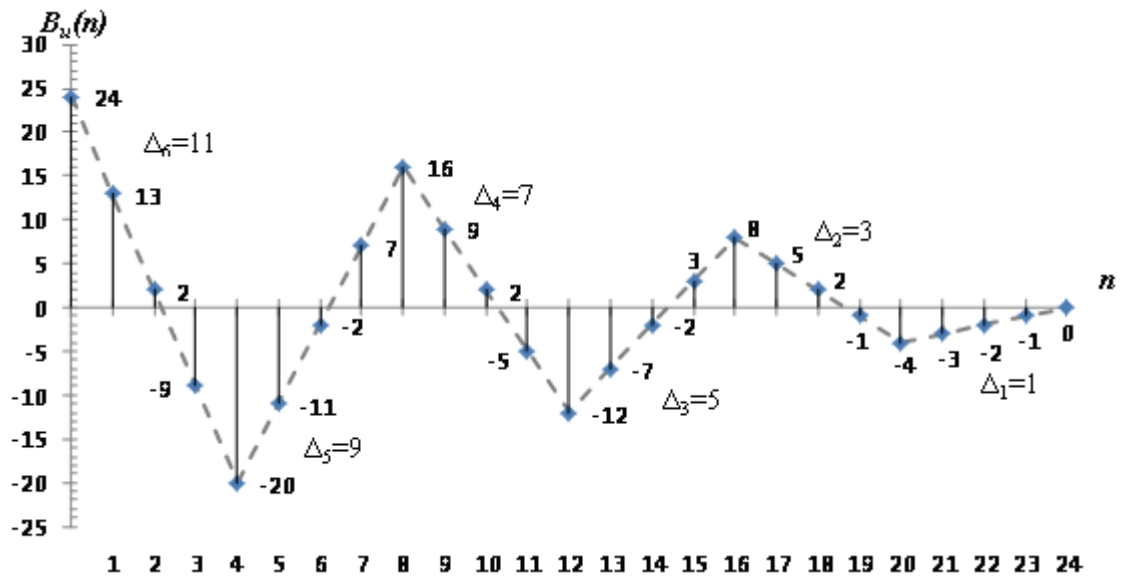


Рис. 1. Дискретна автокореляційна функція N -блокової послідовності з параметрами: $M = 30, k = 3$

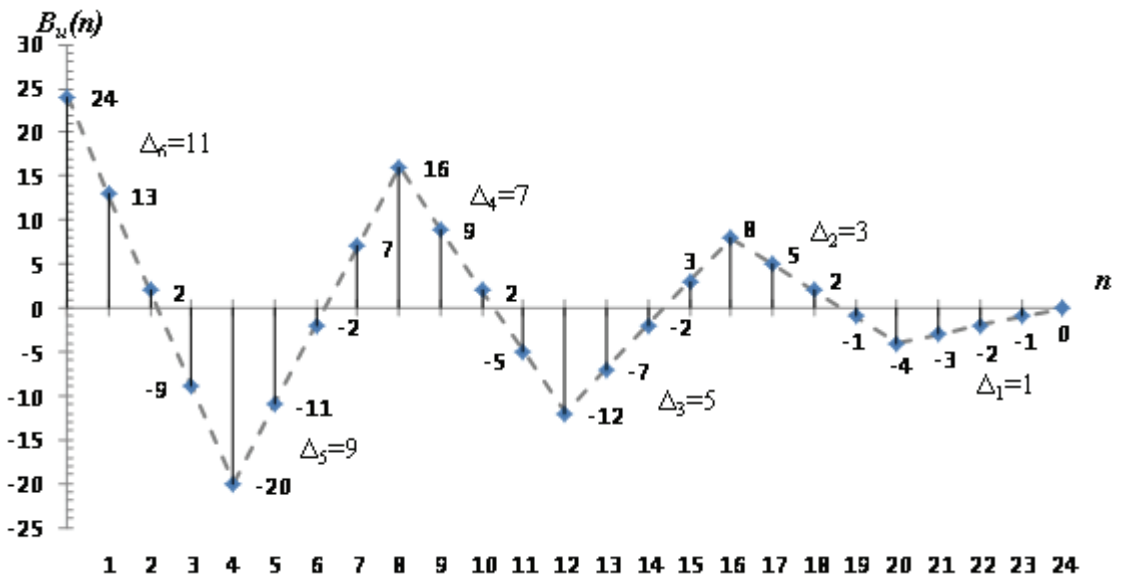


Рис. 2. Дискретна автокореляційна функція N -блокової послідовності з параметрами: $M = 24, k = 4$

Графіки побудовані лише для зміщень в один бік. Відомо, що автокореляційні функції парні, тобто симетричні відносно осі ординат, тому поведінка ДАКФ в області зміщень іншого знаку аналогічна.

Аналіз дискретних автокореляційних функцій N -блокових послідовностей дозволяє встановити низку цікавих закономірностей, які можуть забезпечити помітні переваги перед послідовностями Баркера. Це стосується не тільки значно кращих можливостей з розширення спектра сигналу, але й низки факторів, які в сукупності підвищують надійність реєстрації сигналів.

Наведемо результати аналізу.

1. Дискретна автокореляційна функція N -блокової послідовності, як і послідовності Баркера, для $n = 0$ чисельно дорівнює M , тобто $B_u(0) = M$. З урахуванням того, що довжина N -блокової послідовності M може бути прийнята більшою, ніж для послідовності Баркера, то і значення основної пелюстки ДАКФ буде більшим, тобто умови для її фіксації безумовно кращі.

2. Графік ДАКФ для будь-якої N -блокової послідовності можна умовно поділити на k -крокові зони p , у межах кожної з яких має місце стале значення різниці Δ_i між автокореляційними функціями для сусідніх кроків зміщення. Крім того, значення різниці у сусідніх зонах відрізняються на 2, причому абсолютне значення цієї різниці зменшується із зростанням кроку n . Очевидно, ці властивості можуть бути використані алгоритмом реєстрації. Наведемо відповідні аналітичні залежності.

Кількість зон зі сталим у межах зони значенням різниці Δ_i визначається за формулою

$$p = \frac{M}{k}. \quad (2)$$

Зауважимо, що для вищенаведених послідовностей: першої — $p_1 = 10$, а для другої — $p_2 = 6$ і ще раз звернемо увагу на те, що розмір зони точно дорівнює кількості позицій k , а в її межах виконується умова $\Delta_i = \text{const}$.

Всі різниці Δ_i є непарними і найменша з них, що спостерігається для крайніх кроків зміщення (найвіддаленішої зони від головної пелюстки ДАКФ), очевидно, дорівнює одиниці, тобто $\Delta_1 = 1$. Легко визначити найбільше значення різниці Δ_i для будь-якої N -блокової послідовності

$$\Delta_{\max} = 2(p-1) + 1. \quad (3)$$

Для вищенаведених послідовностей: $\Delta_{10} = 19$, $\Delta_6 = 11$, відповідно.

3. Для детермінованих послідовностей легко визначити значення автокореляційних функцій для всіх кроків зміщення, але найкориснішими в реалізації алгоритму реєстрації сигналу можуть виявитися ДАКФ у тих точках, які відповідають початкам зон p . Видно, що з віддаленням від головної пелюстки значення модуля автокореляційної функції зменшується на постійне значення, яке дорівнює кількості позицій одиниць елементів у блоці, тобто k . Таким чином, для першої з вищенаведених послідовностей можна записати

$$B_u(0) = 30; B_u(3) = -27; B_u(6) = 24; B_u(9) = -21; B_u(12) = 18; \dots$$

З виразу випливає, що різниця між модулями ДАКФ в зазначених точках є сталою величиною 3, тобто дорівнює кількості позицій k . Для другої послідовності, графік ДАКФ якої наведений на рис. 2, ця різниця є сталою і складає 4, отже також дорівнює кількості k .

4. Кількість блоків N , що складають дискретну послідовність, теоретично необмежена, отже, необмеженими є можливості щодо розширення спектра початкового цифрового сигналу. Не вдаючись у деталі, можна стверджувати, що умови виділення такого сигналу на фоні шумів будуть кращими, ніж, наприклад, сигналу з вбудованою послідовністю Баркера. Це означає, що для систем, робота яких пов'язана з конфіденційністю інформації, що передається, використання дискретних упорядкованих послідовностей може виявитися привабливим.

5. Для ідентифікації одиничного та нульового рівнів початкового цифрового сигналу в технології Wi-Fi застосовують, відповідно, пряму та інверсну послідовності Баркера. У практичній реалізації пристроїв реєстрації на основі використання упорядкованих N -блокових послідовностей, можуть бути застосовані на тактових інтервалах одиничних та нульових рівнів послідовності з абсолютно різними параметрами. Це означає, що йдеться про більшу можливу варіативність упо-

рядкованих N -блокових послідовностей, тобто про розширення можливостей щодо найоптимальнішого їх використання.

Очевидно, наведений перелік властивостей автокореляційних функцій запропонованих дискретних послідовностей не є вичерпним. Це пов'язано з тим, що головною метою цього аналізу є встановлення саме факту існування таких властивостей, тобто наявності певних закономірностей у поведінці автокореляційних функцій, які могли б бути використані для побудови надійного алгоритму реєстрації сигналів. Розробка алгоритму, зрозуміло, повинна спиратися на певну дискретну послідовність (вибрану послідовність з конкретними параметрами), тому лише після вибору послідовності доцільно виявити і проаналізувати найвизначальніші властивості її автокореляційної функції. Визначальні властивості ДАКФ — це такі її властивості, які максимально спрощують алгоритм реєстрації сигналу, роблять його найбільш швидкодіючим, забезпечують максимальну захищеність від бітових помилок на рівні «мікрочіпів» тощо.

Практична реалізація процедури розширення спектру та розробка алгоритму реєстрації сигналу з використанням N -блокової послідовності повинна базуватися на визначенні дискретної автокореляційної функції з урахуванням наведених її властивостей. Крім цього, оскільки ДАКФ є парною функцією, ця її властивість може дати додаткові фактори для її ідентифікації на прийомі, тобто поряд з уже зазначеними властивостями, що є основою побудови алгоритму реєстрації, можна використати й інші. Йдеться про те, наприклад, що лише на перших k кроках зміщення копії відносно оригіналу в обидва боки відносно точки $n = 0$, тобто у межах $2k$ навколо основної пелюстки, поспіль зберігається найбільше значення різниці Δ_{\max} . Наостанок зауважимо, що функціонування технології з використанням N -блокової послідовності не виключає одночасного застосування їх різних видів для вбудовування в тактові інтервали з позиціями логічна «1» і логічний «0».

Підводячи підсумки проведених досліджень, зазначимо, що надзвичайно важливим їх аспектом є установа границь стійкості прийнятих визначальних властивостей ДАКФ в умовах дії завад, які приводять до бітових помилок на рівні «мікрочіпів». Нескладний аналіз показує, що послідовності Баркера, які застосовуються на сьогодні в практичних додатках, достатньо чутливі до бітових помилок, зокрема, групових. Отже, подальші дослідження альтернативних дискретних послідовностей доцільно спрямувати саме у напрямку визначення впливу на їх ДАКФ різних за природою бітових помилок та проведення порівняльного аналізу результатів таких досліджень з відомими послідовностями Баркера

Висновки

Запропоновано альтернативну дискретну послідовність, яка може використовуватися для розширення спектру початкового дискретного сигналу. При цьому її довжина нічим не обмежується, тобто параметри розширення є гнучкішими, ніж ті, що отримані з використанням традиційної послідовності Баркера, а генерація такої послідовності є простішою.

Проаналізовано дискретні автокореляційні функції декількох упорядкованих послідовностей, встановлено їх визначальні властивості, які можна використовувати для створення алгоритму реєстрації сигналу. Визначено, що максимум ДАКФ чисельно дорівнює довжині послідовності дискрет зменшення ДАКФ є сталою величиною в межах кожного блоку, міжблокова динаміка зменшення автокореляційної функції є також сталою і дорівнює 2. Встановлено, що з віддаленням від головної пелюстки значення модуля автокореляційної функції зменшується на постійну величину, яка дорівнює кількості позицій однойменних елементів у блоці.

Показано, що використання певної сукупності визначальних властивостей ДАКФ упорядкованих послідовностей дозволить підвищити надійність алгоритму реєстрації початкового сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В. М. Вишневикий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович]. — М. : Техносфера, 2005. — 592 с.
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / С. И. Баскаков. — М. : Высшая школа, 1988. — 448 с. : ил.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017

Барась Святослав Тадіонович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: barasst@mail.ru ;

Войцеховська Олена Валеріївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: vojcehovska.o.v.@vntu.edu.ua ;

Ковтун Валентина Андріївна — студентка факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем. Вінницький національний технічний університет, Вінниця

S. T. Baras¹
E. V. Voitsekhovska¹
V. A. Kovtun¹

Analysis of Properties of Autocorrelation Function of Discrete Sequence

¹Vinnitsia National Technical University

The autocorrelation function of a discrete sequence, which can be used to spread spectrum of broadband radio and mobile communication technologies, has been analyzed in the paper. There have been presented the basic features of discrete autocorrelation functions, which in aggregate provide the signal registration algorithm with a high degree of protection from interference.

Keywords: spread spectrum, discrete sequence autocorrelation function, properties, algorithm.

Baras Sviatoslav T. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: barasst@mail.ru ;

Voitsekhovska Olena V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: vojcehovska.o.v.@vntu.edu.ua ;

Kovtun Valentyna A. — Student of the Department of Infocommunications, Electronics and Nanosystems

С. Т. Барась¹
Е. В. Войцеховская¹
В. А. Ковтун¹

Анализ свойств автокорреляционной функции дискретной последовательности

¹Вінницький національний технічний університет

Выполнен анализ автокорреляционной функции дискретной последовательности, которая может применяться для расширения спектра в технологиях широкополосного радиодоступа и мобильной связи. Приведены основные признаки дискретных автокорреляционных функций, которые в совокупности дают алгоритму регистрации сигнала высокую степень защиты от воздействия помех.

Ключевые слова: расширение спектра, дискретная последовательность, автокорреляционная функция, свойства, алгоритм.

Барась Святослав Тадіонович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, e-mail: barasst@mail.ru ;

Войцеховская Елена Валериевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, e-mail: vojcehovska.o.v.@vntu.edu.ua ;

Ковтун Валентина Андріївна — студент факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки і наносистем