DOI: 10.18372/2310-5461.41.13523

УДК 621.396:51-74 (045)

О. Г. Голубничий, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-5101-3862
a.holubnychyi@nau.edu.ua

СИНТЕЗ АНАЛІТИЧНИХ ФОРМ ОПИСУ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ УЗАГАЛЬНЕНИХ БІНАРНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ БАРКЕРА ТИПУ 1 НА ОСНОВІ ЇЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНІЙНИХ СКЛАДОВИХ

Вступ

Кореляційні функції (аперіодичні та періодичні авто- та взаємнокореляційні) дискретно-кодованих послідовностей (ДКП) є важливими при аналізі та синтезі сигнально-кодових конструкцій (СКК), оскільки визначають спектральні характеристики сигналів, характеристики їх виявлення, завадостійкість передавання інформації тощо у різних системах формування, передавання та обробки сигналів, наприклад у радіолокаційних, навігаційних, телекомунікаційних системах і мережах. Тому проблеми синтезу СКК з необхідними кореляційними властивостями та задачі аналізу кореляційних властивостей різних СКК посідають вагоме місце у теорії обробки сигналів та даних [1–5].

Постановка проблеми

Аналітичний опис кореляційних функцій сигналів, зокрема ДКП, якщо відомі їх правила синтезу (правила кодування для ДКП), можна віднести до типу прямих задач. На відміну від зворотних задач, коли за відомими формами кореляційних функцій або обмеженнями до них, необхідно синтезувати СКК (ДКП), прямі задачі є суттєво простішими. У той же час розв’язання таких задач з метою синтезу компактних форм аналітичного опису кореляційних функцій може потребувати значних алгоритмічних дій аналізу квадратичних лишків по модулю, розрахунку різниць по модулю періоду ДКП між номерами позицій, які належать структурним складовим ДКП [3, с. 48] тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналітичний опис кореляційних функцій ДКП, як правило, є складовою частиною теорії того чи іншого типу ДКП. Наприклад, відомий повний або частковий (для максимальних значень бічних пелюсток тієї чи іншої кореляційної функції) опис кореляційних функцій для послідовностей Баркера, М-послідовностей, послідовностей Лежандра, сигналів Пелі–Плоткіна, кодів Голда, сигналів Касамі [4], [5, с. 143], повний опис автокореляційних функцій (АКФ) складових для мультиплікативно комплементарних СКК, які формуються на основі узагальнених бінарних послідовностей Баркера [6] тощо.

Аналіз відомих аналітичних форм опису кореляційних функцій свідчить про те, що вони часто можуть бути представлені як сукупність лінійних функцій від дискретного значення зсуву у відповідній кореляційній функції ДКП. Це формує наукову гіпотезу для підходу до синтезу аналітичних форм опису кореляційних функцій ДКП на основі їх декомпозиції з використанням лінійних складових.

Узагальнені бінарні послідовності Баркера, АКФ яких розглядаються у статті, характеризуються наявністю регулярних правил кодування для їх синтезу [7] та можливістю утворення на їх основі мультиплікативно комплементарних СКК з великим значенням кількості елементів бінарних ДКП [6], для яких максимальний рівень бічних пелюсток у результуючому сигналі після обробки цих СКК не перевищує значення максимального рівня бічних пелюсток АКФ для бінарних послідовностей Баркера.

Узагальнені бінарні послідовності Баркера поділяються за типами, критерієм приналежності до яких є правило утворення довжини ДКП, а також за підтипами (для деяких типів), критерієм приналежності до яких є особливості структури ДКП [7].

Постановка завдання

Метою статті є реалізація підходу до синтезу аналітичних форм опису кореляційних функцій ДКП на основі їх декомпозиції з використанням лінійних складових для аналітичного опису АКФ узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 1 (довжина ДКП $N = 4m$, $m \in \mathbb{N}^*$).

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо синтез аналітичної форми опису АКФ на основі її декомпозиції з використанням лінійних складових для підтипу А типу 1 узагальнених бінарних послідовностей Баркера, правило кодування для яких дано виразом (1).

$$x_i = \begin{cases} -1, & i = 1, \\ (-1)^{S^{(1)}}, & i = 2S^{(1)} + 1, \\ (-1)^{S^{(2)}} x_{2S^{(2)}-1}, & i = 2S^{(2)}, \\ x_{2S^{(2)}}, & i = N + 1 - 2S^{(2)}, \\ -x_{2S^{(2)}-1}, & i = N + 2 - 2S^{(2)}, \\ S^{(1)}\Big|_{m>1} = \overline{1, \frac{N}{4} - 1}, & \\ S^{(2)} = \overline{1, \frac{N}{4}}, & \\ N = 4m,\ m \in \mathbb{N}^*. & \end{cases} \quad (1)$$

Правило кодування (1) дозволяє синтезувати ДКП $\mathbf{X} = \{x_i\}$ довжини N та має при цьому вектор внутрішніх змінних $\mathbf{S} = \{S^{(1)}, S^{(2)}\}$.

Розглянемо структуру АКФ ДКП, яка побудована за правилом кодування (1), на прикладі ДКП $N = 40$:

X = {-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, -1, 1, 1, 1}.

На рис. 1 показана ненормована АКФ цієї ДКП $R(\tau) = \sum_{k=1+|\tau|}^{N} x_k x_{k-|\tau|}$, $\tau = \overline{-(N-1), N-1}$.

При декомпозиції АКФ у області $\tau > 0$ можна виділити її лінійні складові, що показано на рис. 1, де було виділено 11 лінійних складових, з яких три (2-а, 6-а та 9-а) мають вигляд $R(\tau) = k\tau + b$ ($k \neq 0$), чотири (3-я, 4-а, 8-а та 10-а) мають вигляд $R(\tau) = b$ (в тому числі $b = 0$) та ще чотири (1-а, 5-а, 7-а та 11-а) можна представити як частинні випадки лінійних складових, кожна з яких представлена лише однією точкою $R(\tau^*) = b^*$. Ці складові представлені у табл. 1.

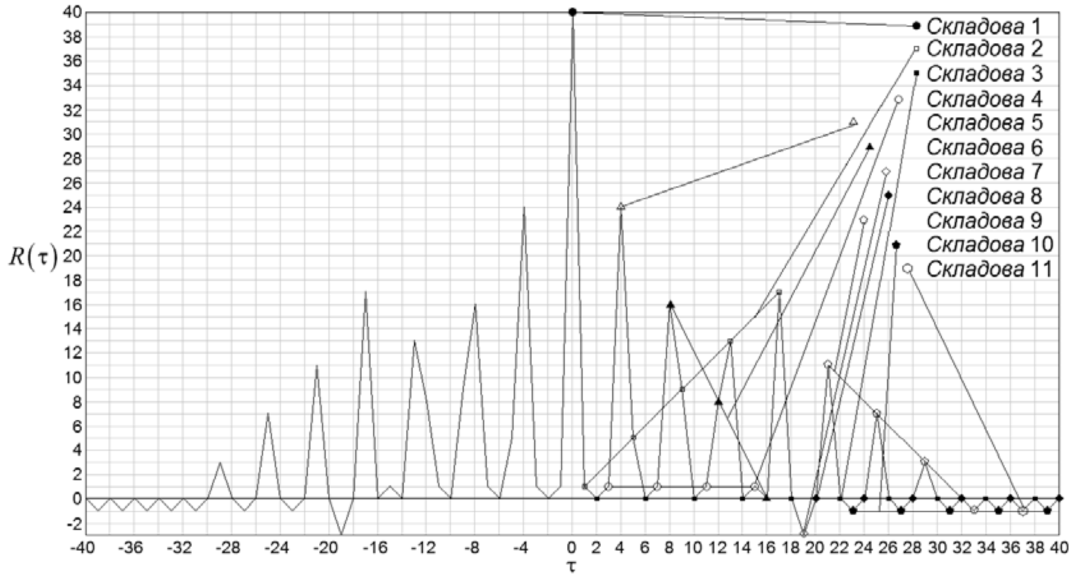

Рис. 1. АКФ ДКП, яка побудована за правилом кодування (1) при $N = 40$, та її виділені лінійні складові

Таблиця 1

Складові АКФ ДКП, яка побудована за правилом кодування (1) при $N = 40$

Складові **W**	$\tau = \tau^{(i)}$, $\mathbf{Q} \in \mathbb{N}^*$	$R(\tau)$, $\mathbf{Q} \in \mathbb{N}^*$
$i = 1$	0	$R(\tau\|\tau = 0) = N$
$i = 2$	$4Q^{(1)}–3$, $Q^{(1)} \in [1,5]$	$R(\tau\|\tau = 4Q^{(1)}–3, Q^{(1)} \in [1,5]) = \tau$
$i = 3$	$4Q^{(2)}–2$, $Q^{(2)} \in [1,10]$	$R(\tau\|\tau = 4Q^{(2)}–2, Q^{(2)} \in [1,10]) = 0$
$i = 4$	$4Q^{(3)}–1$, $Q^{(3)} \in [1,4]$	$R(\tau\|\tau = 4Q^{(3)}–1, Q^{(3)} \in [1,4]) = 1$
$i = 5$	4	$R(\tau\|\tau = 4) = N–16 = 24$
$i = 6$	$4(Q^{(4)}+1)$, $Q^{(4)} \in [1,3]$	$R(\tau\|\tau = 4(Q^{(4)}+1), Q^{(4)} \in [1,3]) = –2\tau+32$
$i = 7$	19	$R(\tau\|\tau = N/2–1 = 19) = –3$
$i = 8$	$4Q^{(5)}$, $Q^{(5)} \in [5,10]$	$R(\tau\|\tau = 4Q^{(5)}, Q^{(5)} \in [5,10]) = 0$
$i = 9$	$N/2–3+4Q^{(6)}$, $Q^{(6)} \in [1,4]$	$R(\tau\|\tau = N/2–3+4Q^{(6)}, Q^{(6)} \in [1,4]) = –\tau+32$
$i = 10$	$N+3–4Q^{(7)}$, $Q^{(7)} \in [1,5]$	$R(\tau\|\tau = N+3–4Q^{(7)}, Q^{(7)} \in [1,5]) = –1$
$i = 11$	37	$R(\tau\|\tau = N–3 = 37) = –1$

Аналітично АКФ ДКП, яка побудована за правилом кодування (1) при $N = 40$, може бути представлена виразом (2), який містить лише описані вище лінійні складові.

$$\begin{aligned} R(\tau) = \bigcup_{i\in\mathbf{W}} R\left(\tau \mid \tau\in\tau^{(i)}\right) = \{N \mid \tau = 0\} \cup \{\tau \mid \tau = 4Q^{(1)} - 3,\ Q^{(1)} \in [1,5]\} \cup \\ \cup \{0 \mid \tau = 4Q^{(2)} - 2,\ Q^{(2)} \in [1,10] \ \vee\ \tau = 4Q^{(5)},\ Q^{(5)} \in [5,10]\} \cup \{1 \mid \tau = 4Q^{(3)} - 1,\ Q^{(3)} \in [1,4]\} \cup \\ \cup \{N-16 \mid \tau = 4\} \cup \{-2\tau + 32 \mid \tau = 4\left(Q^{(4)} + 1\right),\ Q^{(4)} \in [1,3]\} \cup \{-3 \mid \tau = N/2 - 1\} \cup \\ \cup \{-\tau + 32 \mid \tau = N/2 - 3 + 4Q^{(6)},\ Q^{(6)} \in [1,4]\} \cup \{-1 \mid \tau = N + 3 - 4Q^{(7)},\ Q^{(7)} \in [1,5] \ \vee\ \tau = N - 3\}. \end{aligned} \tag{2}$$

Вираз (2) має вектор внутрішніх змінних $\mathbf{Q} = \{Q^{(1)}, Q^{(2)}, Q^{(3)}, Q^{(4)}, Q^{(5)}, Q^{(6)}, Q^{(7)}\}$, $\mathbf{Q} \in \mathbb{N}^*$.

Слід зазначити, що декомпозицію АКФ, яка представлена на рис. 1, можна було виконати з використанням лінійних складових також і іншим чином, наприклад представити 5-у складову як частину 6-ї складової тощо. Декомпозиція АКФ для АКФ ДКП, яка побудована за правилом кодування (1) при $N = 40$, була виконана саме таким чином з урахуванням узагальненої форми аналітичного представлення АКФ ДКП для будь-якого значення довжини ДКП N, яка може бути синтезована з використанням (1). Таку узагальнену форму аналітичного представлення АКФ ДКП для будь-якого значення N можна отримати шляхом структурно-логічного аналізу АКФ ДКП при різних значеннях N при використанні декомпозицій АКФ її лінійними складовими. Узагальнена форма аналітичного представлення АКФ ДКП будь-якої довжини N, яка може бути синтезована з використанням правила кодування (1), наведена у виразі (3).

$$\begin{aligned} R^{1\mathrm{A}}(\tau) = \bigcup_{i\in\mathbf{W}} R\left(\tau \mid \tau\in\tau^{(i)}\right) = \{N \mid \tau = 0\} \cup \{N-16 \mid \tau = 4,\ N > 8\} \cup \\ \cup \{0 \mid \tau = 4Q^{(1)} - 2,\ Q^{(1)} \in [1, N/4] \ \vee\ \tau = 4Q^{(2)},\ Q^{(2)} \in [N/8, N/4],\ N \equiv 0 \pmod 8 \ \vee \\ \vee\ \tau = 4Q^{(3)},\ Q^{(3)} \in [(N+4)/8, N/4],\ N \equiv 4 \pmod 8\} \cup \\ \cup \{-2\tau + N - 8 \mid \tau = 4\left(Q^{(4)} + 1\right),\ Q^{(4)} \in [1, N/8 - 2],\ N \equiv 0 \pmod 8,\ N > 16\} \cup \\ \cup \{-2\tau + N - 8 \mid \tau = 4\left(Q^{(5)} + 1\right),\ Q^{(5)} \in [1, (N-12)/8],\ N \equiv 4 \pmod 8,\ N > 16\} \cup \\ \cup \{\tau \mid \tau = 4Q^{(6)} - 3,\ Q^{(6)} \in [1, N/8],\ N \equiv 0 \pmod 8,\ N > 4\} \cup \\ \cup \{\tau \mid \tau = 4Q^{(7)} - 3,\ Q^{(7)} \in [1, (N-4)/8],\ N \equiv 4 \pmod 8,\ N > 4\} \cup \\ \cup \{-\tau + N - 8 \mid \tau = N/2 - 3 + 4Q^{(8)},\ Q^{(8)} \in [1, N/8 - 1],\ N \equiv 0 \pmod 8,\ N > 8\} \cup \\ \cup \{N/2 - 5 \mid \tau = N/2 - 1,\ N \equiv 4 \pmod 8,\ N > 4\} \cup \{-3 \mid \tau = N/2 - 1,\ N \equiv 0 \pmod 8\} \cup \\ \cup \{-\tau + N - 8 \mid \tau = N/2 - 1 + 4Q^{(9)},\ Q^{(9)} \in [1, (N-12)/8],\ N \equiv 4 \pmod 8,\ N > 12\} \cup \\ \cup \{1 \mid \tau = 4Q^{(10)} - 1,\ Q^{(10)} \in [1, N/8 - 1],\ N \equiv 0 \pmod 8,\ N > 8 \ \vee \\ \vee\ \tau = 4Q^{(11)} - 1,\ Q^{(11)} \in [1, (N-4)/8],\ N \equiv 4 \pmod 8,\ N > 8 \ \vee\ \tau = 1,\ N = 4\} \cup \\ \cup \{-1 \mid \tau = N + 3 - 4Q^{(12)},\ Q^{(12)} \in [1, N/8],\ N \equiv 0 \pmod 8 \ \vee \\ \vee\ \tau = N + 3 - 4Q^{(13)},\ Q^{(13)} \in [1, (N+4)/8],\ N \equiv 4 \pmod 8 \ \vee\ \tau = N - 3,\ N > 4\}. \end{aligned} \tag{3}$$

Узагальнена форма аналітичного представлення АКФ ДКП (3) має вектор внутрішніх змінних $\mathbf{Q} = \{Q^{(1)}, Q^{(2)}, Q^{(3)}, Q^{(4)}, Q^{(5)}, Q^{(6)}, Q^{(7)}, Q^{(8)}, Q^{(9)}, Q^{(10)}, Q^{(11)}, Q^{(12)}, Q^{(13)}\}$, $\mathbf{Q} \in \mathbb{N}^*$, а також диференційована у своїй структурі за довжинами ДКП $N \equiv 0 \pmod 8$ та $N \equiv 4 \pmod 8$.

Зауважимо, що нумерація внутрішніх змінних у виразах (2) та (3) різна для зручності їх представлення від мінімального до максимального номера змінної без пропусків, але, з урахуванням цього, сама структура виразу (2) є частинним випадком структури виразу (3) (у цьому конкретному випадку відбувається така заміна внутрішніх змінних виразу (3) на внутрішні змінні виразу (2): $Q^{(1)} \to Q^{(2)}$, $Q^{(2)} \to Q^{(5)}$, $Q^{(4)} \to Q^{(4)}$, $Q^{(6)} \to Q^{(1)}$, $Q^{(8)} \to Q^{(6)}$, $Q^{(10)} \to Q^{(3)}$, $Q^{(12)} \to Q^{(7)}$).

Аналогічним чином при використанні декомпозиції АКФ її лінійними складовими можна отримати узагальнену форму аналітичного представлення АКФ ДКП будь-якої довжини N для підтипу В типу 1 узагальнених бінарних послідовностей Баркера, які можуть бути синтезовані з використанням правила кодування (4). Відповідне аналітичне представлення АКФ ДКП для них наведено у виразі (5).

Показана у цій статті реалізація наукової гіпотези щодо синтезу аналітичних форм опису АКФ ДКП на основі їх декомпозиції з використанням лінійних складових є можливою завдяки наявності у структурах АКФ ДКП періодичних та рекурентних складових.

$$x_i=\begin{cases}-1, & i=1,\\ (-1)^{S^{(1)}}, & i=2S^{(1)}+1,\\ (-1)^{S^{(2)}}x_{2S^{(2)}-1}, & i=2S^{(2)},\\ -x_{2S^{(2)}}, & i=N+1-2S^{(2)},\\ x_{2S^{(2)}-1}, & i=N+2-2S^{(2)},\\ S^{(1)}\Big|_{m>1}=\overline{1,\frac{N}{4}-1}, & \\ S^{(2)}=\overline{1,\frac{N}{4}}, & \\ N=4m,\ m\in\mathbb{N}^{*}. & \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}R^{1\text{B}}(\tau)=\bigcup_{i\in\mathbf{W}}R\left(\tau\,|\,\tau\in\tau^{(i)}\right)=&\{N\,|\,\tau=0\}\cup\{N-16\,|\,\tau=4,\ N>8\}\cup\\
&\cup\{0\,|\,\tau=4Q^{(1)}-2,\ Q^{(1)}\in[1,N/4]\ \vee\ \tau=4Q^{(2)},\ Q^{(2)}\in[N/8,N/4],\ N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8)\ \vee\\
&\vee\ \tau=4Q^{(3)},\ Q^{(3)}\in[(N+4)/8,N/4],\ N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8)\}\cup\\
&\cup\{-2\tau+N-8\,|\,\tau=4(Q^{(4)}+1),\ Q^{(4)}\in[1,N/8-2],\ N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8),N>16\}\cup\\
&\cup\{-2\tau+N-8\,|\,\tau=4(Q^{(5)}+1),\ Q^{(5)}\in[1,(N-12)/8],\ N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8),N>16\}\cup\\
&\cup\{-\tau\,|\,\tau=4Q^{(6)}-3,\ Q^{(6)}\in[1,N/8],\ N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8),N>4\}\cup\\
&\cup\{-\tau\,|\,\tau=4Q^{(7)}-3,\ Q^{(7)}\in[1,(N-4)/8],\ N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8),N>4\}\cup\\
&\cup\{\tau-N+8\,|\,\tau=N/2-3+4Q^{(8)},\ Q^{(8)}\in[1,N/8-1],\ N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8),N>8\}\cup\\
&\cup\{-N/2+5\,|\,\tau=N/2-1,\ N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8),N>4\}\cup\{3\,|\,\tau=N/2-1,\ N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8)\}\cup\\
&\cup\{\tau-N+8\,|\,\tau=N/2-1+4Q^{(9)},\ Q^{(9)}\in[1,(N-12)/8],\ N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8),N>12\}\cup\\
&\cup\{-1\,|\,\tau=4Q^{(10)}-1,\ Q^{(10)}\in[1,N/8-1],N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8),N>8\ \vee\ \tau=1,\ N=4\ \vee\\
&\vee\ \tau=4Q^{(11)}-1,\ Q^{(11)}\in[1,(N-4)/8],N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8),N>8\}\cup\\
&\cup\{1\,|\,\tau=N+3-4Q^{(12)},\ Q^{(12)}\in[1,N/8],N\equiv 0(\mathrm{mod}\,8)\ \vee\\
&\vee\ \tau=N+3-4Q^{(13)},\ Q^{(13)}\in[1,(N+4)/8],N\equiv 4(\mathrm{mod}\,8)\ \vee\ \tau=N-3,\ N>4\}.\end{aligned} \tag{5}$$

Висновки

У статті описано та реалізовано підхід до синтезу аналітичних форм кореляційних функцій ДКП на прикладі АКФ узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 1, який ґрунтується на основі декомпозиції АКФ з використанням її лінійних складових.

Результати синтезу, який ґрунтується на такому підході, показують, що узагальнена форма аналітичного опису АКФ для будь-якого значення довжини ДКП для випадку узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 1 містить 19 складових, з яких 13 є лінійними складовими, а 6 є локально розташованими точками.

На відміну від інших результатів, які також було отримано автором цієї статті, наприклад у [8], описаний у статті підхід не вимагає синтезу аналітичних форм опису АКФ ДКП через аналіз правил кодування ДКП при їх підстановці у вираз для розрахунку АКФ довільної ДКП, а характеризується безпосереднім аналізом отриманих структур АКФ, виділенням у них відповідних лінійних складових та подальшим узагальненням аналітичної форми опису АКФ для усіх можливих значень довжин ДКП з використанням елементів теорії множин. Це суттєво спрощує розв'язання задачі синтезу аналітичних форм опису АКФ, але під час такого синтезу потребує вибору коректної декомпозиції структур АКФ ДКП з ряду усіх можливих декомпозицій.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є реалізація описаного у статті підходу до синтезу аналітичних форм кореляційних функцій ДКП на основі їх декомпозиції з використанням лінійних складових для опису АКФ узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 2 та типу 3 [7], а також інших відомих та нових синтезованих типів ДКП, які потребують повного опису їх АКФ.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Кузьмин В. М.,** Заліський М. Ю. Статистичний аналіз даних з використанням двосегментної параболічної регресії. *Наукоємні технології*. 2018. Т. 38. № 2. С. 173-177. DOI: 10.18372/2310-5461.38.12834.
2. **Голубничий О. Г.** Синтез систем корельованих сигналів з використанням доповненої процедури Грама-Шмідта. *Наукоємні технології*. 2018. № 4 (40). с. 405-408. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13265.
3. **Гантмахер В. Е.,** Быстров Н. Е., Чеботарев Д. В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб.: Наука и техника, 2005. 400 с.
4. **Варакин Л. Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
5. **Смирнов А. А.** Методы и средства компьютерной стеганографии с применением сложных дискретных сигналов для защиты информации в компьютерных сетях: монография. Кировоград: "КОД", 2012. 352 с.
6. **Голубничий А. Г.,** Конахович Г. Ф. Мультипликативно комплементарные бинарные сигнально-кодовые конструкции. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. 2018. Т. 61. № 10. С. 551-565. DOI: 10.20535/S0021347018100011.
7. **Голубничий А. Г.** Правила кодирования и структура обобщенных бинарных последовательностей Баркера. *Проблеми інформатизації та управління*. 2013. Т. 4. № 44. С. 20-26.
8. **Голубничий А. Г.** Корреляционные свойства обобщенных бинарных последовательностей Баркера. *Проблеми інформатизації та управління*. 2015. Т 2. № 50. С. 48–55.

Голубничий О. Г.

СИНТЕЗ АНАЛІТИЧНИХ ФОРМ ОПИСУ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ УЗАГАЛЬНЕНИХ БІНАРНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ БАРКЕРА ТИПУ 1 НА ОСНОВІ ЇЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНІЙНИХ СКЛАДОВИХ

Кореляційні функції (аперіодична та періодична авто- та взаємнокореляційна) дискретно-кодованих послідовностей є важливими для аналізу та синтезу сигнально-кодових конструкцій, оскільки вони визначають різні характеристики (спектральні, виявлення тощо) у різних радіолокаційних, навігаційних, телекомунікаційних та інших системах обробки сигналів і радіотехнічних системах. У статті пропонується синтез математичних виразів для автокореляційної функції узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 1, який ґрунтується на аналізі та декомпозиції структур автокореляційної функції з використанням її лінійних складових. Гіпотеза про те, що автокореляційна функція певних типів дискретно-кодованих послідовностей може бути представлена деякою кількістю лінійних складових та локально розташованих точок ґрунтується на існуванні періодичних та рекурентних складових у структурах таких дискретно-кодованих послідовностей. Розглянутий підхід характеризується прямим аналізом отримуваних структур автокореляційної функції для певного типу дискретно-кодованих послідовностей, виділенням з них відповідних лінійних складових та формуванням аналітичного опису автокореляційної функції дискретно-кодованої послідовності для будь-якої її можливої довжини з використанням елементів теорії множин. Такий підхід суттєво спрощує процес розв'язання задачі синтезу аналітичного опису автокореляційної функції. Однак це потребує коректного вибору декомпозиції структури автокореляційної функції з усіх можливих таких структур. Результати синтезу показують, що узагальнена форма аналітичного опису автокореляційної функції, тобто для будь-якого значення довжини дискретно-кодованої послідовності, для випадку узагальнених бінарних послідовностей Баркера типу 1 містить 19 складових, з яких 13 є лінійними складовими, а 6 є локально розташованими точками.

Ключові слова: автокореляційна функція; кореляційні властивості; математичний опис; лінійна функція; послідовності Баркера; обробка сигналів.

Holubnychyi A. G.

SYNTHESIS OF ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE AUTOCORRELATION FUNCTION FOR GENERALIZED BINARY BARKER SEQUENCES OF TYPE 1 BASED ON ITS DECOMPOSITION USING LINEAR COMPONENTS

Correlation functions (aperiodic and periodic auto- and cross-correlation) of sequences and codes are important for analysis and synthesis of signal-code constructions, because they define different characteristics (spectral, detection and others) in different radar, navigation, telecommunication and other kinds of signal processing and radiotechnical systems. The synthesis of mathematical expressions for the autocorrelation function for generalized binary Barker sequences of type 1, which based on the analysis and decomposition of a structure of the autocorrelation function using its linear components, is considered in the article. The hypothesis that the autocorrelation function for some kinds of sequences can be represented by some number of linear components and separated local points is possible due to an existence of periodical and recurrent constituents in structures of such sequences. The considered approach is characterized by a direct analysis of obtained structures of the autocorrelation function for described kind of sequences, separation from them related linear components, and generalization of the form of analytical description for the autocorrelation function of sequence of any possible length using elements of set theory. The approach substantially simplifies the process of solving a problem of synthesis of analytical description of the autocorrelation function.

However, it requires a correct choice of the decomposition of structures of the autocorrelation function from all possible ones. The result of a synthesis shows that a general form of analytical description of the autocorrelation function, i.e. for any possible sequence length, for generalized binary Barker sequences of type 1 contains 19 components, of which 13 are linear components, and 6 are separated local points.

Keywords: autocorrelation function; correlation properties; mathematical description; linear function; Barker sequences; signal processing.

Голубничий А. Г.

СИНТЕЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФОРМ ОПИСАНИЯ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ОБОБЩЁННЫХ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ БАРКЕРА ТИПА 1 НА ОСНОВЕ ЕЁ ДЕКОМПОЗИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Корреляционные функции (апериодическая и периодическая авто- и взаимнокорреляционная) дискретно-кодированных последовательностей являются важными для анализа и синтеза сигнально-кодовых конструкций, потому что они определяют ряд характеристик (спектральных, обнаружения и т.д.) в разных радиолокационных, навигационных, телекоммуникационных и других системах обработки сигналов и радиотехнических системах. В статье предлагается синтез математических выражений для автокорреляционной функции обобщённых бинарных последовательностей Баркера типа 1, который основывается на анализе и декомпозиции структур автокорреляционной функции с использованием её линейных составляющих. Гипотеза о том, что автокорреляционная функция определённых типов дискретно-кодированных последовательностей может быть представлена некоторым количеством линейных составляющих и локально расположенных точек основывается на существовании периодических и рекуррентных составляющих в структурах таких дискретно-кодированных последовательностей. Рассмотренный подход характеризуется прямым анализом получаемых структур автокорреляционной функции для определённого типа дискретно-кодированных последовательностей, выделением из них соответствующих линейных составляющих и формированием аналитического описания автокорреляционной функции дискретно-кодированной последовательности для любой её возможной длины с использованием элементов теории множеств. Такой подход существенно упрощает процесс решения задачи синтеза аналитического описания автокорреляционной функции. Однако это требует корректного выбора декомпозиции структуры автокорреляционной функции из всех возможных таких структур. Результаты синтеза показывают, что обобщённая форма аналитического описания автокорреляционной функции, то есть для любого значения длины дискретно-кодированной последовательности, для случая обобщённых бинарных последовательностей Баркера типа 1 содержит 19 составляющих, из которых 13 являются линейными составляющими, а 6 являются локально расположенными точками.

Ключевые слова: автокорреляционная функция; корреляционные свойства; математическое описание; линейная функция; последовательности Баркера; обработка сигналов.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2019 р.
Прийнято до друку 05.03.2019 р.