



№ 3 (1), 2023

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ГОЛДА В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

В. Пелішок, Ю. Пиріг, Р. Бурачок

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Відповідальний за рукопис: В. Пелішок (e-mail: volodymyr.o.pelishok@lpnu.ua)

(Подано 15 березня 2023)

Розглянуто спосіб оптимізації псевдовипадкових послідовностей Голда для систем зв'язку із урахуванням особливостей генерації вказаних послідовностей, а саме того, що їх можна генерувати лише конкретну максимальну кількість  $N$  (наприклад 9, 33, 65 і т. д.). Але на практиці часті випадки, коли їх необхідно значно менше, тобто наявні надлишкові ПВП. Виникає проблема: які послідовності доцільніше вибрати як надлишкові, якщо вони не рівноцінні. Аналізування структури кореляційних функцій, як періодичних, так і аперіодичних, показало, що їх структури істотно відрізняються як за кількістю бокових пелюсток, так і за їх рівнем. У результаті серед наявного масиву послідовностей виявлено менш ефективні, що доцільно використати як надлишкові. Розроблено алгоритм для здійснення оптимізації на основі даних про кореляційні функції окремих послідовностей. Показано, що оптимізація сприяє підвищенню завадозахищеності широкосмугових систем, у яких використано ці послідовності, та зменшенню ймовірності погіршення завадозахищеності. На основі запропонованих критеріїв виконано кількісне оцінювання ефективності здійсненої оптимізації.

**Ключові слова:** широкосмугові сигнали; псевдовипадкові послідовності; кореляційні функції.

### 1. Вступ

Серед різних видів систем зв'язку все ширше застосовують широкосмугові системи. До їх основних переваг належить можливість забезпечення великої швидкості передавання інформації. Основою для формування широкосмуговості є використання псевдовипадкових послідовностей (ПВП). Особливістю ПВП, з одного боку, є їх подібність до цілком випадкових, що важливо для формування широкосмугових сигналів. З іншого боку, відомий алгоритм їх генерації, що необхідно для їх практичного застосування [2, 4, 7].

Практично використовують різні види ПВП (М-послідовності, Голда, Касамі, Баркера та інші). Серед них особливе місце займають послідовності Голда. До їх основних переваг, порівняно з М-послідовностями, можна зарахувати [1, 3, 5]:

- істотно менші значення взаємної кореляційної функції (ВКФ);
- суттєво більша кількість послідовностей за однакової кількості ( $n$ ) елементів пам'яті в застосованих регістрах зсуву.

Наприклад, якщо  $n = 13$ , можна отримати 630 М-послідовностей, або 8191 ПВП Голда, що, безумовно, ускладнює процедуру розкриття модульованих сигналів у разі більшої кількості ПВП. Також у цьому випадку періодична взаємнокореляційна функція (ВКФп) становить: для М-послідовностей ВКФп = 703, а для послідовностей Голда ВКФп = 129, що істотно підвищує завадостійкість системи у разі використання останніх [6].

Як бачимо, одним із основних критеріїв оцінювання впливу ПВП на параметри системи зв'язку, з метою оптимізації ПВП, є результати аналізу їх ВКФп. Але це лише один з варіантів серед множини кореляційних функцій (КФ), які визначають ступінь подібності двох послідовностей. Розрізняють певні види КФ, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристики ПВП**

Види (шість видів) кореляційних функцій (КФ)		
Види двох ПВП	різні	однакові
Відсутність фазового зсуву між ПВП	ВКФ (взаємна КФ)	АКФ (авто КФ)
Наявність фазового зсуву між ПВП (кожна із ПВП містить декілька періодів)	ВКФп (періодична)	АКФп (періодична)
Наявність фазового зсуву між ПВП (хоча б одна з ПВП містить один період)	ВКФа (аперіодична)	АКФа (аперіодична)

**Примітка.** Обчислення різних видів КФ доволі трудомістке, тому їх доцільно визначати, використовуючи наявні функції системи MATLAB.

**2. Основні властивості ПВП Голда**

Значення основних показників ПВП Голда наведено в табл. 2 [9–11]. Визначаючи АКФ, отримують лише основну пелюстку, необхідну для забезпечення зв'язку. Але вже під час визначення АКФп отримують АКФа як основну пелюстку, так і бокові, причому останні лише погіршують якість зв'язку. Ще гірша ситуація у разі визначення ВКФ, ВКФп та ВКФа, де є тільки бокові пелюстки. Значення бокових пелюсток для АКФп, ВКФ, ВКФп наведено в табл. 2, а для аперіодичних КФ (АКФа, ВКФа) аналітичні вирази для їх визначення невідомі, тому їх визначають експериментально.

Таблиця 2

**Основні показники ПВП Голда**

К-сть елементів регістра зсуву, $n$	К-сть ПВП, $N$	Довжина ПВП, $L$	Значення АК $\Phi$	Значення бокових пелюсток, $R$ (можливі три значення $R$ )
$n$ – ціле число (не кратне 4)	$2n + 1$	$2n - 1$	$L$	$R_1 = -1,$ $R_2 = f(n) - 1, R_3 = -(f(n) + 1)$
де $f(n) = 2(n + 1)/2 - n$ непарне; $f(n) = 2(n+2)/2 - n$ парне				

**Примітка.** Наприклад, якщо  $n = 5$ :  $N = 33, L = 31, f(n) = 8, R_1 = -1, R_2 = 8 - 1 = 7, R_3 = -(8 + 1) = -9$ .

Подальші етапи, що стосуються оптимізації ПВП Голда, враховуючи їх громіздкість та складність, доцільніше розглядати на основі конкретних варіантів (наприклад, якщо  $n = 5$ ). Але отримані результати справедливі для ПВП Голда довільної довжини. На основі вказаних властивостей (табл. 2) наведено (табл. 3) значення усіх  $N = 33$  ПВП Голда. Кожна послідовність містить  $L = 31$  біт, які формують її довжину.

Таблиця 3

**Основні показники ПВП Голда**

Номер послід.	Значення послідовності
1	2
1, 2	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
3, 4	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
5, 6	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
7, 8	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]

Продовження табл. 3

1	2
9, 10	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
11, 12	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
13, 14	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
13, 14	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
13, 14	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
13, 14	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
15, 16	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
17, 18	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
19, 20	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
21, 22	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
23, 24	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
25, 26	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
27, 28	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
29, 30	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
31, 32	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1] [00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]
33	[00111 01000 10101 11100 00001 01010 1]

**Примітка.** Послідовності отримано в результаті використання двох формуючих послідовностей виду  $z^5 + z^3 + 1$  та  $z^5 + z^4 + z^3 + z^2 + 1$  та початкових значень [1 1 1 1] елементів пам'яті регістра зсуву.

### 3. Кореляційні функції ПВП Голда

ВКФ та АКФ як один з видів КФ [6, 8] використовуються за відсутності фазового зсуву між порівнюваними ПВП (табл. 1). Такий випадок спостерігається у деяких (наприклад, провідних) системах за відсутності відбитих сигналів, які запізнюються щодо прямого сигналу. Визначення АКФ, ВКФ наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Визначення АКФ, ВКФ ПВП Голда

ВКФ, АКФ	Перша ПВП	$a_1$	$a_2$	...	$a_{L-1}$	$a_L$
	Друга ПВП		$b_1$	$b_2$	...	$b_{L-1}$
ВКФ = $a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + \dots + a_{L-1} \times b_{L-1} + a_L \times b_L \leq L$ АКФ = $a_1 \times a_1 + a_2 \times a_2 + \dots + a_{L-1} \times a_{L-1} + a_L \times a_L = L$ де $L$ – кількість бітів у ПВП, тобто її довжина						

**Примітка.** Біти ПВП  $a_1 \dots a_L, b_1 \dots b_L$  набувають одне зі значень (0 або 1). Визначаючи КФ, значення усіх бітів (0) замінюють на (-1). Якщо перша та друга ПВП різні, отримують ВКФ, якщо однакові – АКФ.

Для подальших досліджень доцільно, згідно із табл. 4, визначити почергово КФ кожної вибраної (із 33) ПВП з усіма наявними (33, урахувавши і вибрану ПВП). Буде отримано 32 ВКФ (із різними ПВП) та першу АКФ (з однаковою ПВП). На рис. 1 наведено результати, отримані для деяких ПВП.

Видно, що кожен із чотирьох варіантів містить однакові значення (АКФ = 31) основної пелюстки та різний набір значень бокових пелюсток (-1, -1 та -9, -1 та 7, -1 та -9 і 7), що відповідає даним табл. 2.

Але у безпровідних системах багатопроневе поширення хвиль (БПХ), що додатково погіршує заводо захищеність. У такому випадку, крім синхронізованих (початок та кінець яких збігаються у часі, табл. 4) на вході приймача наявні також відбиті ПВП, які запізнюються на один або декілька бітів. В цьому випадку [10, 14] є АКФп та ВКФп, які визначають згідно із табл. 5.

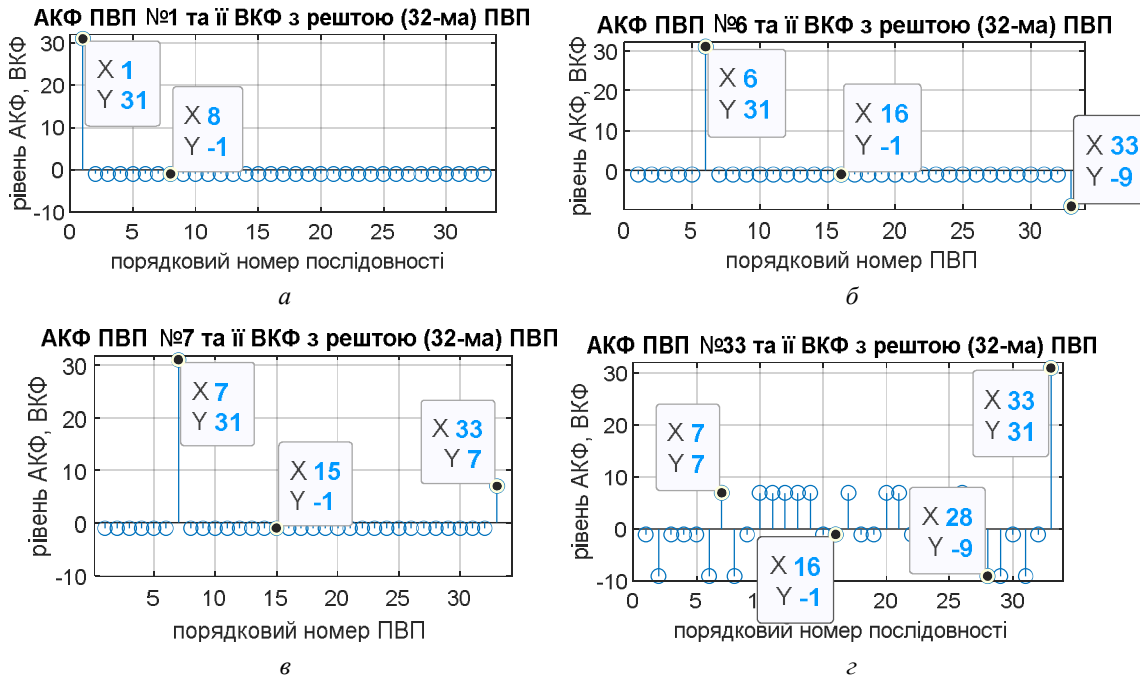


Рис. 1. АКФ ПВП Голда (№ 1, 6, 7 та 33, табл. 3) та їх ВКФ з усіма іншими ПВП

Таблиця 5

**Визначення АКФ, ВКФ ПВП Голда**

ВКФ <sub>п</sub> , АКФ <sub>п</sub>	Перша ПВП		$a_1$	$a_2$	...	$a_{L-1}$	$a_L$	
	Друга ПВП	$b_1$	$b_2$	...	$b_{L-1}$	$b_L$	$b_1$	$b_L$
	$ВКФ_{п} = a_1 \times b_L + a_2 \times b_1 + \dots + a_{L-1} \times b_{L-2} + a_L \times b_{L-1} < L$ $АКФ_{п} = a_1 \times a_L + a_2 \times a_1 + \dots + a_{L-1} \times a_{L-2} + a_L \times a_{L-1} < L$ (одне із $L$ часткових значень ВКФ <sub>п</sub> , АКФ <sub>п</sub> – у разі запізнення другої ПВП на 1 біт)							

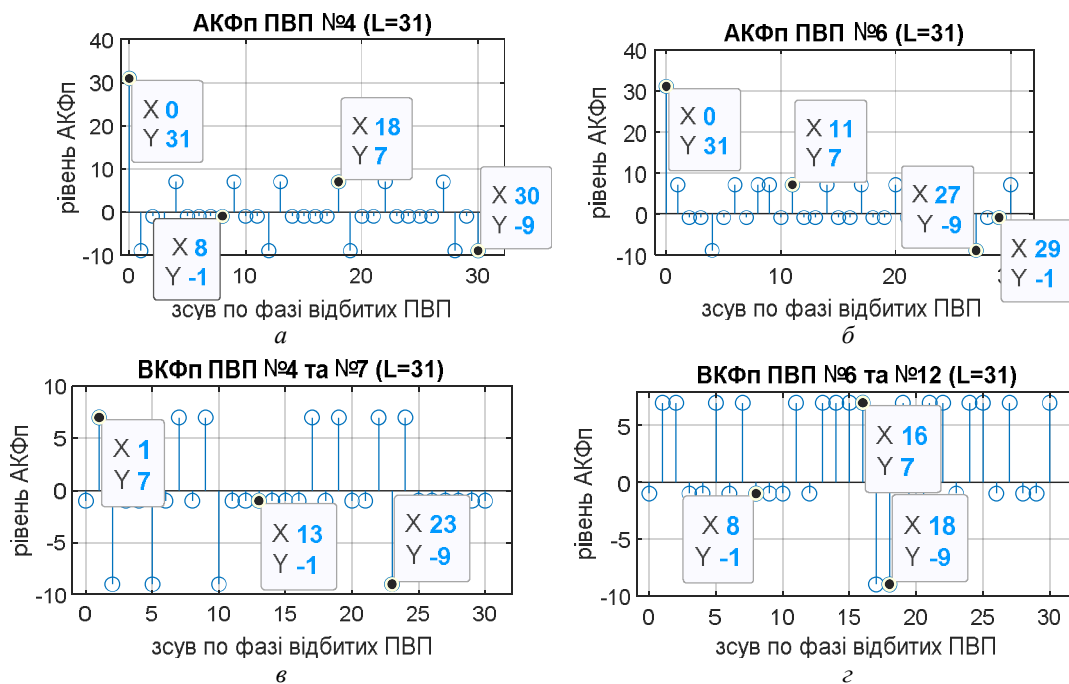


Рис. 2. Дві АКФн (для ПВП № 4, 6) та дві ВКФн (для пари ПВП № 4, 7 та пари ПВП № 6, 12)

Результати визначення АКФп та ВКФп для деяких ПВП, отримані згідно із табл. 5, наведено на рис. 2.

Видно, що за нульового фазового зсуву АКФп = 31 (основна пелюстка), а у всіх інших випадках бокові пелюстки АКФп, ВКФп набувають одного з трьох значень, що відповідає даним табл. 2.

Найбільш непередбачуваними є аперіодичні КФ (АКФа, ВКФа, табл. 1). На відміну від періодичних АКФп, ВКФп (табл. 2), відсутні аналітичні вирази для бокових пелюсток АКФа, ВКФа. Оскільки процес зв'язку тривалий, подібний до безперервного, упродовж майже всього сеансу зв'язку достатньо враховувати лише періодичні КФ (АКФп та ВКФп). Прикладом наявності аперіодичних КФ є закінчення сеансу зв'язку. Визначають [12, 15] аперіодичні КФ так, як вказано у табл. 6.

Таблиця 6

### Визначення аперіодичних КФ ПВП Голда

ВКФа, АКФа	Перша ПВП	$a_1$	$a_2$	...	$a_{L-1}$	$a_L$
	Друга ПВП	$b_1$	$b_2$	...	$b_{L-1}$	$b_L$
	$ВКФа = a_2 \times b_1 + \dots + a_L \times b_{L-1} < L$ $АКФа = a_2 \times a_1 + \dots + a_L \times a_{L-1} < L$ (одне з $L$ часткових значень ВКФа та АКФа – у разі запізнення другої ПВП на 1 біт)					

Результати для деяких ПВП, отримані згідно із табл. 6, наведено на рис. 3.

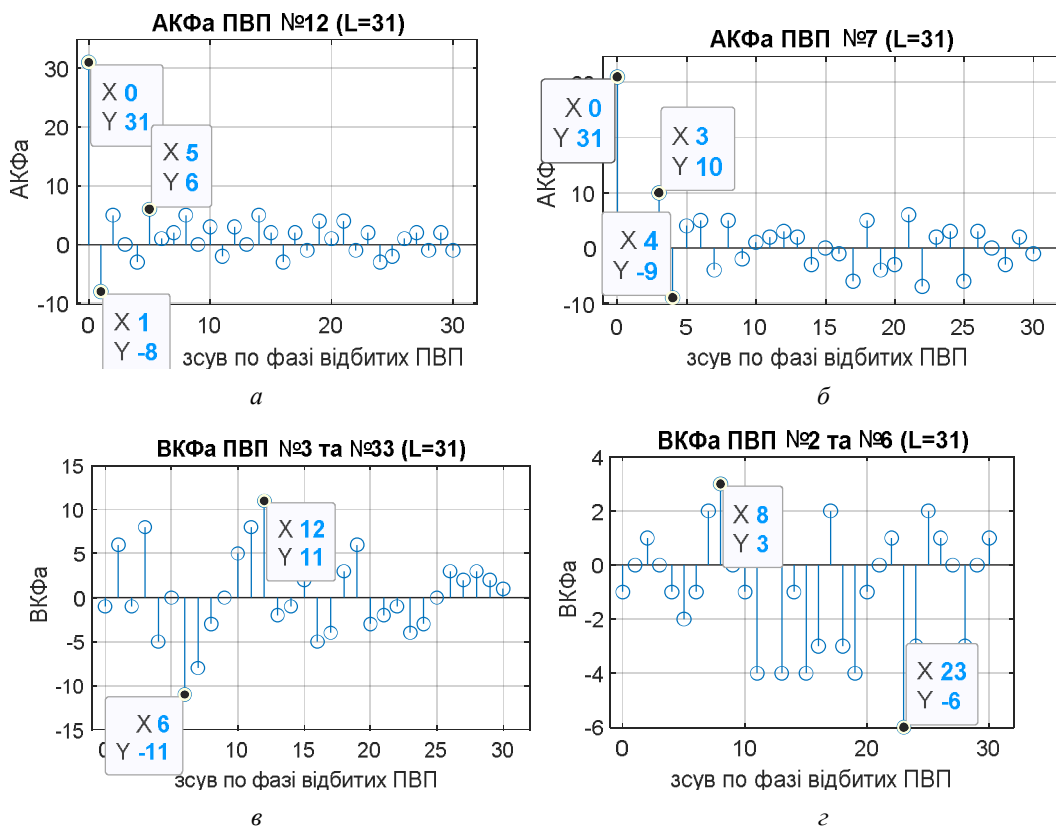


Рис. 3. Дві АКФа (для ПВП № 12, 7) та дві ВКФа (для пари ПВП №3, 33 та пари ПВП № 2, 6)

Видно, що за нульового фазового зсуву АКФа = 31 (основна пелюстка), а бокові пелюстки набувають різні значення, що не відповідають наведеним у табл. 2.

#### 4. Можливість оптимізації ПВП Голда

Особливістю формування ПВП Голда є те, що їх можливо генерувати лише конкретну [13] максимальну кількість  $N$  (наприклад 9, 33, 65 і т. д., табл. 2). Але на практиці часті випадки, коли їх

необхідно менше, тобто наявні надлишкові ПВП. Виникає питання, чи всі ПВП рівноцінні, які доцільніше залишити, якщо вони нерівноцінні.

Саме на дослідженні всіх ПВП Голда заданої довжини (наприклад, якщо  $L = 31$  та  $N = 33$ , табл. 2) ґрунтується запропонований метод оптимізації ПВП Голда. Виявляють ефективніші ПВП, з КФ, близькими до ідеальної (максимальна головна пелюстка АКФ та нульові бокові пелюстки). Далі, за наявності надлишкових ПВП, обґрунтовано вилучають з подальшого користування менш ефективні. Так здійснюється оптимізація.

Вище наведено систематизовані дані про ПВП Голда та шість (табл. 1) різних видів їх КФ. Порівнюючи отримані результати, можна зробити важливий висновок, що структури КФ деяких ПВП істотно відрізняються. Є різна кількість як додатних, так і від'ємних бокових пелюсток різних рівнів. В загальновідомих роботах [5–11] дослідженню структури КФ окремих ПВП не приділено належної уваги, що унеможливило оптимізацію. Тільки в [8] частково розглянуто вказані питання.

Вказана оптимізація дає змогу розширити перелік вирішуваних нею проблем. Наприклад, у результаті порівняння періодичних та аперіодичних КФ бачимо (рис. 2), що для періодичних КФ максимальні значення бокових пелюсток становлять  $+7$  та  $-9$ , а для аперіодичних КФ (рис. 3) значно більші  $+10$  та  $+11$ . Виникає питання, чи можна гірші показники аперіодичних КФ знизити до кращих показників періодичних КФ. Вказаний спосіб і у цьому випадку дає змогу здійснювати оптимізацію.

## 5. Оптимізація на основі аперіодичних КФ

Аперіодичні КФ належать до найскладніших щодо побудови та аналізу. Справа в тому, що їх бокові пелюстки набувають багато більше значень, порівняно із періодичними КФ, а аналітичні вирази для визначення рівнів бокових пелюсток відсутні. У цьому випадку, якщо  $L = 31$  та  $N = 33$ , наявні 33 АКФа та  $33 \times 32 = 1056$  ВКФа. Тому аперіодичні КФ розглядають дуже рідко. Наприклад, у [9] здійснюється порівняльний аналіз ПВП Голда, також якщо  $L = 31$  та  $N = 33$ , з ПВП Баркера. Для цього використано лише чотири випадково вибрані АКФа для ПВП Голда та жодної ВКФ, чого явно недостатньо для порівняння.

У цій роботі отримано результати для усіх можливих варіантів аперіодичних КФ, якщо  $L = 31$  та  $N = 33$ , причому лише деякі з них наведено на рис. 3. Під час оптимізації насамперед виникає питання: як позбутись найбільшого значення бокових пелюсток, тобто  $+11$ . Аналіз показав, що лише одна пара (рис. 3, в) серед вказаних вище 1056 варіантів ПВП Голда містить бокові пелюстки рівнем  $+11$ . Отже, досить обґрунтовано вилучити з подальшого користування одну із послідовностей, третю або 33, щоб видалити всі бокові пелюстки рівнем  $+11$ .

За наявності бокових пелюсток рівнем  $+11$  їх дестабілізувальний внесок відносно рівня основної пелюстки АКФ  $= 31$  становить 35 % ( $11/31$ ). Якщо вилучити одну, наприклад третю, з вказаних вище ПВП Голда, максимальний рівень бокових пелюсток знизиться із  $+11$  до  $+10$ . У цьому випадку їх дестабілізувальний внесок зменшиться від 35 % до 32 %. Отже, під час запропонованої оптимізації, вилучивши обґрунтовано з користування лише одну ПВП Голда, зменшено дестабілізувальний внесок бокових пелюсток на 3 %.

Аналогічно можна далі здійснювати оптимізацію ПВП Голда. Доцільно серед АКФа, ВКФа, передусім, знижувати рівень бокових пелюсток АКФа. Справа в тому, що в деякі проміжки часу на вході приймача конкретного користувача можуть бути відсутні ПВП, які не адресовані йому, тобто відсутні ВКФа. Але під час приймання завжди є велика ймовірність наявності АКФа.

Аналіз показав, що в цьому випадку, якщо  $L = 31$  та  $N = 33$ , лише для чотирьох ПВП (№ 7, 21, 26, 31) максимальний рівень додатних бокових пелюсток становить 10. Отже, вилучивши з користування ще три ПВП, можна додатково зменшити на 3 % дестабілізувальний внесок АКФа. Аналогічно можна продовжувати оптимізацію, зменшуючи дестабілізувальний внесок ВКФа до того етапу, поки залишена кількість ПВП не стане меншою від їх мінімально необхідної кількості для кожного конкретного випадку.

## 6. Урахування впливу полярності бокових пелюсток КФ

Вище наведено приклади оптимізації ПВП Голда за допомогою зниження рівня бокових пелюсток ВКФа та АКФа. Для рівня 11 наявні (рис. 3, в) додатні та від'ємні бокові пелюстки, тому на їх полярність можна не зважати. Але реально для деяких ПВП рівень додатних бокових пелюсток може переважати рівень від'ємних (рис. 3, б) та навпаки (рис. 4).

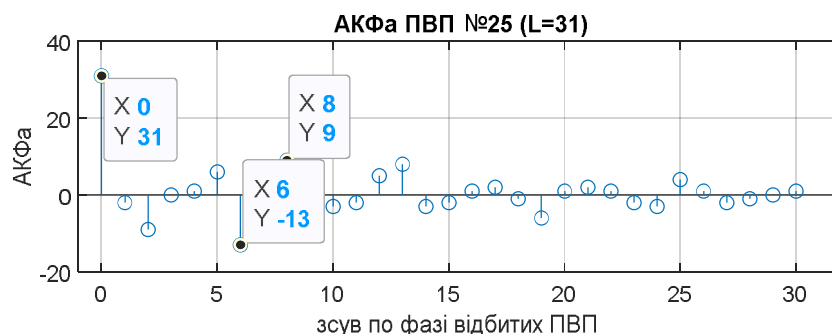


Рис. 4. Аперіодична АКФ для ПВП Голда № 25

Тому виникає логічне запитання – чи бокові пелюстки різних полярностей дають рівноцінний дестабілізуючий внесок.

Реально на вході приймача широкопasmової системи є адресована йому унікальна ПВП та інші (шкідливі) ПВП інших користувачів. Визначаючи АКФп для двох однакових ПВП (наявної у певного користувача та отриманої на вході, що адресована йому), бажано отримати максимальну головну пелюстку та мінімальні бокові пелюстки. Максимальна головна пелюстка, АКФп = 31, якщо  $L = 31$ , вказує приймачу, що саме ця ПВП підлягає подальшому обробленню у приймачі. Бокові пелюстки АКФп бажано отримати нульовими. Адже на вході приймача безпровідних систем зв'язку завжди є шум, який погіршує завадозахищеність системи. За нульових бокових пелюсток рівень шуму (в цьому випадку) повинен також дорівнювати 31, щоб система спрацювала помилково. Якщо для конкретної ПВП наявні додатні бокові пелюстки АКФп, тоді така ПВП погіршує завадозахищеність системи. Наприклад (рис. 2, а) для ПВП № 4 є бокові пелюстки із рівнем 7. Тоді достатньо меншого рівня шуму ( $31 - 7 = 24$ ), який додається до бокових пелюсток, щоб система спрацювала помилково. Якщо є від'ємні бокові пелюстки КФ, то вони не сприяють зниженню рівня шуму, достатнього для помилкової роботи.

Отже, досліджуючи вплив рівня бокових пелюсток на завадозахищеність системи, досить враховувати лише додатні складові. Саме так здійснено оптимізацію АКФа у наведеному вище прикладі.

## 7. Оптимізація на основі періодичних та інших КФ

Вище розглянуто оптимізацію на основі аперіодичних КФ. Вона можлива тому, що в цих КФ є бокові пелюстки різних рівнів. У цьому випадку оптимізація зводилась до вилучення з подальшого користування ПВП з вищим рівнем бокових пелюсток, які роблять більший дестабілізуючий внесок.

Аналізуючи періодичні КФ (рис. 2), бачим, що всі додатні бокові пелюстки одного рівня (+ 7). Всі вони спричиняють погіршення завадозахищеності системи, спричиненої неідеальністю КФ, із 100 % до 77 % ( $100 \times (31 - 7) / 31$ ). Отже, використовуючи періодичні КФ, здійснити аналогічну оптимізацію неможливо. Порівнюючи періодичні КФ, бачимо, що вони також істотно відрізняються, але по-іншому: одні містять більше додатних бокових пелюсток, а інші – менше.

У цьому випадку оптимальнішими доцільно вважати ПВП, періодичні КФ яких містять менше додатних бокових пелюсток. У разі використання оптимальніших ПВП зменшується ймовірність погіршення завадозахищеності системи. Наприклад, використовуючи ПВП (рис. 2, в),

отримано сім бокових пелюсток із рівнем +7. Отже, в цьому випадку ймовірність зниження завадозахищеності з 100 % до 77 % становить лише 23 % ( $100 \times (7/31)$ ). Натомість, коли використовували ПВП (рис. 2, г), кількість бокових пелюсток збільшилась до 16. Тоді ймовірність зниження завадозахищеності зростає аж до 52 %. У цьому полягає оптимізація на основі використання періодичних КФ.

Ще вагоміші результати можна отримати, здійснивши оптимізацію на основі КФ (рис. 1). Видно, що лише дві АКФ (рис. 1, в, г) містять додатні бокові пелюстки. Під час оптимізації доцільно вилучити з подальшого користування одну ПВП (№ 33, рис. 2, г), яка містить найбільше додатних бокових пелюсток. Тоді взагалі зникнуть додатні бокові пелюстки для всіх решти 32 ПВП Голда. Отже, в цьому випадку отримано КФ, які не знижують завадозахищеність системи, зберігаючи її на рівні 100 %.

## Висновки

У роботі детально проаналізовано структуру кореляційних функцій псевдовипадкових послідовностей Голда. Особливу увагу приділено аналізу аперіодичних кореляційних функцій, які досліджені мало. Виявлено, що для окремих послідовностей вказані структури істотно відрізняються, як рівнем бокових пелюсток, так і їх кількістю. За вказаними відмінностями наявний масив послідовностей певної довжини поділено на більш оптимальні та менш оптимальні, які бажано вилучити з подальшого користування. Цим можна істотно покращити показники широко-смужкової системи, в якій використано послідовності Голда.

Показано, що в деяких випадках є певна кількість надлишкових послідовностей, які необхідно вилучити. Поділ послідовностей дає змогу здійснити обґрунтований вибір послідовностей, що підлягають вилученню, з метою оптимізації.

На конкретних прикладах наведено кількісну оцінку підвищення завадозахищеності системи та зменшення ймовірності її погіршення, отриману в результаті запропонованої оптимізації.

## Список використаних джерел

- [1] Бокла Н. І. Дослідження кореляційних властивостей властивостей ПВП за кодом Голда з використанням системи MATLAB. Вісник ДУІКТ, Т. 9, № 4, 2011.
- [2] Максимов В. В., Носков В. І., Храповицький І. А. Нові композитні коди Баркера і коди Голда в системі синхронізації широкосмужкових сигналів. The scientific heritage, No. 94 (2002).
- [3] Мрачковський О. Д., Часник А. А., Ганзенко В. А. Формування та властивості послідовностей Голда. Вісник національного технічного університету України "КПІ". Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2011, № 45.
- [4] Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. Москва: Радио и связь, 1985. 384 с.
- [5] Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учеб. пособ. / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. Москва: Еко-Трендз, 2005. 392 с.
- [6] Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособ. [3-е изд.]. СПб: БВХ-Петербург, 2011. 768 с.
- [7] Пестряков В. Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Москва: Советское радио, 1973. 424 с.
- [8] Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Москва: Мир связи, 2007. 488 с.
- [9] Баринов В. П., Лебедев М. В., Кузнецов В. С. Анализ корреляционных характеристик расширяющих ансамблей. Электросвязь. 2006. № 3. С. 38–39.
- [10] Семенко А. И., Бокла Н. И. Создание модифицированных псевдослучайных последовательностей Голда для телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2014. № 3.
- [11] Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети. Москва, Санкт-Петербург: Киев; Вильямс, 2003. 639 с.
- [12] Скляр Б. Цифровая связь. Москва, Санкт-Петербург: Киев; Вильямс, 2004. 1104 с.
- [13] Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. Москва: Техносфера, 2006.
- [14] Гепко И. А., Олейник В. Ф., Чайка Ю. Д., Бондаренко А. В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. Киев: ЕКМО, 2009. 672 с.
- [15] Сукачов Э. А., Бухан Д. Ю. Корреляционный анализ детерминированных сигналов. Одесса: Освіта України, 2014.



## OPTIMIZATION OF GOLD'S PSEUDO-RANDOM SEQUENCES IN COMMUNICATION SYSTEMS

**Volodymyr Pelishok, Yulia Purih, Roman Burachok**

*Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine*

The article considers the method of optimization of Gold's pseudo-random sequences for communication systems. At the same time, the peculiarity of the generation of the specified sequences is taken into account, namely that they can be generated only with a specific maximum number  $N$  (for example, 9, 33, 65, etc.). But in practice, there are often cases when a much smaller number of them is needed, i.e. there are excess PVPs. The problem arises, which sequences are more appropriate to choose as redundant, if they are not equivalent. The analysis of the structure of correlation functions, both periodic and aperiodic, showed that their structures differ significantly, both in terms of the number of side petals and their level. As a result, among the existing array of sequences, less effective ones were found, which should be used as redundant ones. An algorithm was developed for optimization based on data on the correlation functions of individual sequences. It is shown that the performed optimization leads to an increase in the immunity of broadband systems in which sequence data is used, and a decrease in the probability of deterioration of the immunity. Based on the proposed criteria, a quantitative assessment of the effectiveness of the performed optimization was carried out.

**Key words:** *broadband signals; pseudorandom sequences; correlation functions.*