



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **158331** (13) **U**
(51) МПК
H01Q 21/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2024 02340	(72) Винахідник(и): Пелішок Володимир Олексійович (UA), Климаш Михайло Миколайович (UA), Чайковський Ігор Борисович (UA)
(22) Дата подання заявки: 02.05.2024	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 23.01.2025	(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013 (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 22.01.2025, Бюл.№ 4	

(54) СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ СИГНАЛУ ШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДІВ УОЛША

(57) Реферат:

Спосіб оптимізації сигналу широкосмугових радіосистем з використанням кодів Уолша, за яким отримують необхідну кількість кодів з нижніх рядків запропонованої матриці, яку формують поетапно. На першому етапі використовують відому матрицю Адамара для кодів Уолша заданої довжини та розділяють її, починаючи з верхніх рядків, на чотири рівні частини. На другому етапі вибирають два перші коди з початку третьої четверті та розміщують їх перед початком другої четверті. На третьому етапі вибирають два перші коди з початку четвертої четверті та розміщують їх в кінці другої четверті. За отриманими кодами формують сигнал широкосмугових безпровідних систем.

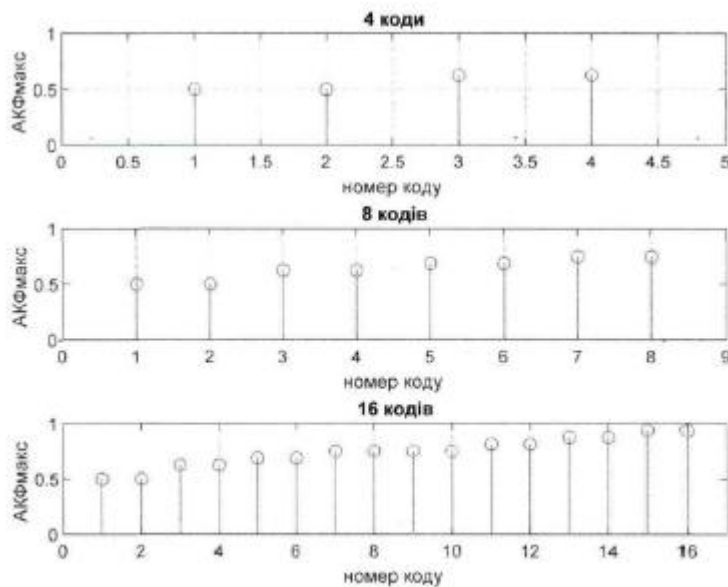


Fig. 1

UA 158331 U

Корисна модель належить до галузі телекомунікацій, а саме до широкосмугових радіосистем передачі інформації. Широкосмугові телекомунікаційні системи (ТКС) мають ряд переваг порівняно з вузькосмуговими, та знаходять все більше застосування в сучасних систем радіозв'язку, радіолокації та радіонавігації. Загальновідомим прикладом широкосмугових систем є система мобільного зв'язку стандарту CDMA. Однією з основних характеристик ТКС є велика ймовірність безпомилкового приймання корисного сигналу. Вказана характеристика в значній мірі залежить від якості кодових послідовностей, причому тільки вони забезпечують формування широкосмугових сигналів. На практиці використовуються різні види кодових послідовностей (Баркера, М-послідовності, Голда, Касамі, Уолша і т. д.). Кодові послідовності (коди) – це послідовність імпульсів (чипів) як додатної, так і від'ємної полярності.

Одним з основних показників більш якісних кодів різних видів є менше значення головної пелюстки взаємкореляційної функції (ВКФ). За даним показником кодові послідовності Уолша є взагалі неперевершеними, адже в них головна пелюстка ВКФ рівна нулю. Тому коди Уолша знайшли широке застосування в сучасних широкосмугових ТКС.

Другим важливим показником більш якісних кодів є менше значення максимальних (за абсолютною величиною) бокових пелюсток аперіодичної автокореляційної функції (АКФ). Відомо, що для кодів Уолша таке значення становить

$$A=(N-1)/N \quad (1)$$

де: N - довжина коду, тобто кількість чипів, що містить код.

Це досить велике значення, що являється їх серйозним недоліком. Але, незважаючи на це, коди Уолша продовжують знаходити широке застосування. Однією з особливостей кодів Уолша є фіксоване значення їх довжини N

$$N=2^m \quad (2)$$

де: m - ціле додатне число.

Тобто, можна сформувати коди Уолша з конкретними фіксованими значеннями N, наприклад N=2, N=4, N=8, і т. д. Другою особливістю кодів Уолша є те, що кількість L різних варіантів кодів довжиною N, рівна їх довжині.

$$L=N \quad (3)$$

В табл.1, для прикладу, приведено приклад формування кодів Уолша, впорядкованих згідно матриці Адамара, для яких N=16.

Таблица 1

Номер коду	Номер чіпу															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1		-1	1	-1	1
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
11	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
13	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
14	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1
15	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

Як видно (табл.1) матриця Адамара для кодів довжиною N=16 містить також згідно (2) L=16 різних варіантів кодів. Інформація про всі варіанти кодів розміщена в кожному рядку матриці та пронумерована.

Варто зауважити, що кожна з трьох чвертей даної матриці (N=16) містить матрицю Адамара для кодів Уолша меншої довжини (N=8), а остання чверть (заштрихована) містить таку ж матрицю, але з інвертованою полярністю чипів. Таким чином, довільну матрицю Адамара Na для

кодів довжиною N можна представити в більш компактному виді, як сукупність чотирьох матриць $(N/2)a$ для кодів довжиною $N/2$ (табл.2)

Таблица 2

Na		$(N/2)a$	$(N/2)a$
		$(N/2)a$	$-(N/2)a$

5 Варто звернути увагу, що залежність (1) вказує верхню межу лише для декількох R ($R < L$) найменш якісних кодів, тобто кодів з найбільшим значенням (1) максимальних бокових пелюсток аперіодичної АКФ. Для інших, більш якісних кодів, вказана верхня межа становить АКФмакс, причому

$$\text{АКФмакс} < A \quad (4)$$

10 Отримані при проведенні аналізу даної моделі результати показали, що для деяких найбільш якісних кодів $\text{АКФмакс} = 0.5$, що майже в 2 рази менше значення A (1). Тому очевидно, що при використанні кодів Уолша, доцільно враховувати значення АКФмакс для різних варіантів застосованих кодів.

15 Наявні дві різні ситуації з використання кодів Уолша. В першому випадку необхідна для використання кількість кодів S менша їх максимально можливої кількості ($S < L$). Тоді обґрунтоване формування кодів за критерієм менших значень АКФмакс значно покращить якісний склад сформованих кодів, що підвищує завадостійкість широкосмугового сигналу, а значить ефективність ТКС в цілому.

20 В другому випадку коли використовують всі наявні коди Уолша ($S = L$) на перший погляд здається, що формування кодів за критерієм менших значень АКФмакс немає сенсу - адже використовують всі коди. Але це не зовсім так. Справа в тому, що в таких випадках, наприклад в ТКС типу CDMA, всі використовуванні коди Уолша можна умовно розділити на дві групи. До першої групи відносять коди, які забезпечують більш відповідальну функцію - взаємозв'язок між базовими станціями ТКС. Очевидно, що коди даної групи повинні бути більш якісними. До другої

25 групи відносять коди, які забезпечують лише взаємозв'язок між базовою станцією та окремими абонентами - тому вони можуть бути, в принципі, менш якісними. Таким чином, в даному випадку також доцільно формувати коди за критерієм АКФмакс - послідовність сформованих кодів повинна починатись з більш якісних кодів та закінчуватись менш якісними.

30 В аналогах (Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение каналов. Принципы и приложения. Москва: Техносфера, 2007. та Столингс В. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс" 2003.) з наявних варіантів L (3) кодів заданої довжини N (наприклад, $L = N = 16$ в табл. 1) довільним чином вибирається їх необхідна кількість варіантів R , яка часто менша максимальної кількості N . При цьому зовсім не звертають увагу на значення АКФмакс, за яким можна сформувати більш якісні коди. В найбільш близькому аналізі

35 (Кореляционный анализ детерминированных сигналов. Компьютеризированный курс / Э.А. Сукачев, Д.Ю. Бухан. - Одесса: Освіта України, 2014.) на ряді прикладів (для 6-ти довільних кодів при $N = 8$, та для 4-х кодів при $N = 16$) показано, що для деяких варіантів кодів Уолша значення АКФмакс значно відрізняються. Але ніяких закономірностей щодо можливості формування більш якісного складу кодів не виявлено, тому необхідна кількість кодів також

40 вибирають довільним чином.

Недоліком вказаних способів є те, що формування необхідної кількості кодів Уолша заданої довжини здійснюють довільним чином. При цьому зовсім не враховують та не використовують наявності важливої залежності (4). В результаті можливі випадки, коли сформовані для використання менш якісні коди (з більшими значеннями АКФмакс) та не сформовані для

45 використання більш якісні коди (з меншими значеннями АКФмакс). Наприклад, нехай при $N = 16$ необхідно сформувати 2 коди. При формуванні довільним способом можна отримати 2 найменш якісні коди, для яких $\text{АКФмакс} = A = (16-1)/16 = 0.9375$ (1) та лишити поза увагою 2 найбільш якісні коди, для яких $\text{АКФмакс} = 0.5$.

50 В основу корисної моделі поставлена задача створити спосіб оптимізації сигналу широкосмугових радіосистем з використанням кодів Уолша шляхом формування для використання більш якісних кодів, забезпечити при цьому оптимізацію сигналу вказаних широкосмугових систем, що підвищує надійність безпомилкового прийому переданої інформації.

55 Поставлена задача вирішується тим, що формують необхідну кількість кодів Уолша заданої довжини. При цьому отримують необхідну кількість кодів з нижніх рядків запропонованої

матриці, яку формують поетапно: на першому етапі використовують відому матрицю Адамара для кодів Уолша заданої довжини та розділяють її, починаючи з верхніх рядків, на чотири рівні частини; на другому етапі вибирають два перші коди з початку третьої чверті та розміщують їх перед початком другої чверті, на третьому етапі вибирають два перші коди з початку четвертої чверті та розміщують їх в кінці другої чверті, а за отриманими кодами формують сигнал широкосмугових безпроводних систем.

Застосування запропонованого способу приведено на прикладі формування кодів Уолша необхідної довжини $N=16$ та трьох варіантів їх заданої кількості ($L_1=L/4=4$, $L_2=L/2=8$, $L_3=L=16$). Також бажано, щоб в кожному варіанті більш якісні коди були розміщені спочатку сформованої послідовності кодів, а менш якісні - в кінці.

Для цього на 1-му етапі використовують відому матрицю Адамара при $N=16$ (табл. 1) та поділяють її на 4 рівні частини (чверті).

Таблиця 3

№ кода	Номер чіпа																№ чверті
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-ша чверть
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	2-га чверть
6	1	-1	1	-1	-1	i	-i	i	i	-1	1	-1	-1	1	-1	1	
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	
Продовження таблиці 3																	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3-тя чверть
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
11	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	
13	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	4-та чверть
14	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	
15	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	
16	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	

На другому етапі починають побудову запропонованої матриці, для чого перший та другий рядок 3-ї чверті переносять на початок 2-ї чверті (табл. 4).

Таблиця 4

№ кода	Номер чіпа																№ чверті
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-ша чверть
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2-га чверть
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	3-тя чверть
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	

11	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
13	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
14	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
15	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
16	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

На третьому етапі закінчують побудову запропонованої матриці для чого перший та другий рядок 4-ї чверті переносять в кінець 2-ї чверті (табл.5).

Таблиця 5

№ кода	Номер чіпа																№ чверті
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-ша чверть
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
9	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2-га чверть
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	
13	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	
14	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	
11	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	
15	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	
16	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	

5

Для 1-го варіанту ($L_1=4$) кількості кодів необхідно використати 4 останні рядки, починаючи знизу, запропонованої матриці. Аналогічно для 2-го варіанту ($L_1=8$) кількості кодів необхідно використати 8 останніх рядків, починаючи знизу, запропонованої матриці. Для 3-го варіанту необхідно аналогічно використати всі рядки запропонованої матриці.

10

На фіг. 1 приведено, додатково визначені, значення АКФмакс для кожного з трьох варіантів (L_1, L_2, L_3) необхідної кількості кодів. Видно, що використовуючи запропонований спосіб, шляхом формування для використання більш якісних кодів Уолша, забезпечено при цьому оптимізацію сигналу вказаних широкосмугових систем, що підвищує надійність безпомилкового прийому переданої інформації.

15

Для порівняння на фіг. 2 приведено результати виконання цього ж завдання при довільному способі формування кодів. Видно, що в даному випадку якісний склад отриманих кодів набагато гірший, що спричинить погіршення

показників ТКС в цілому. Також отримана небажана послідовність кодів - починаючи з кодів з найбільшим значенням АКФмакс.

20

Для більш повної оцінки ефективності запропонованого способу розглянуто ситуацію, коли для кодів довжиною $N=16$, $N=32$ та $N=64$ необхідно сформувати лише їх кількість $L < N$. В табл. 6 приведено порівняльні результати такого формування

Таблиця 6

Довжина коду	К-сть необхідних кодів	Отримана нижня та верхня межа АКФмакс для сформованої кількості кодів	
		Отриманих довільним способом	Отриманих запропонованим способом
N=16	N/4=4	0,75-0,9375	0,5-0,625
	N/2=8	0,75-0,9375	0,5-0,75
N=32	N/4=8	0,875-0,969	0,5-0,687
	N/2=16	0,78-0,969	0,5-0,75
N=64	N/4=16	0,812-0,984	0,5-0,844
	N/2=32	0,78-0,984	0,5-0,9

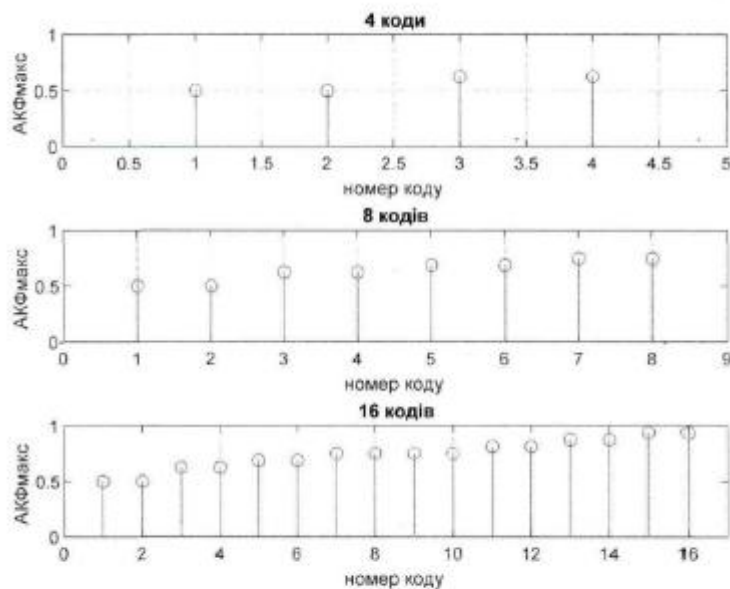
Видно, що при використанні запропонованого способу отримано більш якісні коди з суттєво меншими (до 25 %) значеннями АКФмакс. В свою чергу сформовані та використанні більш якісні коди (для кожного конкретного випадку) оптимізують сигнал широкосмугових радіосистем забезпечуючи при цьому більш високу ймовірність безпомилкового прийому переданої інформації.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

10

15

Спосіб оптимізації сигналу широкосмугових радіосистем з використанням кодів Уолша, за яким отримують необхідну кількість кодів заданої довжини, який **відрізняється** тим, що отримують необхідну кількість кодів з нижніх рядків запропонованої матриці, яку формують поетапно: на першому етапі використовують відому матрицю Адамара для кодів Уолша заданої довжини та розділяють її, починаючи з верхніх рядків, на чотири рівні частини; на другому етапі вибирають два перші коди з початку третьої четверті та розміщують їх перед початком другої четверті, на третьому етапі вибирають два перші коди з початку четвертої четверті та розміщують їх в кінці другої четверті, а за отриманими кодами формують сигнал широкосмугових безпроводних систем.



Фіг. 1

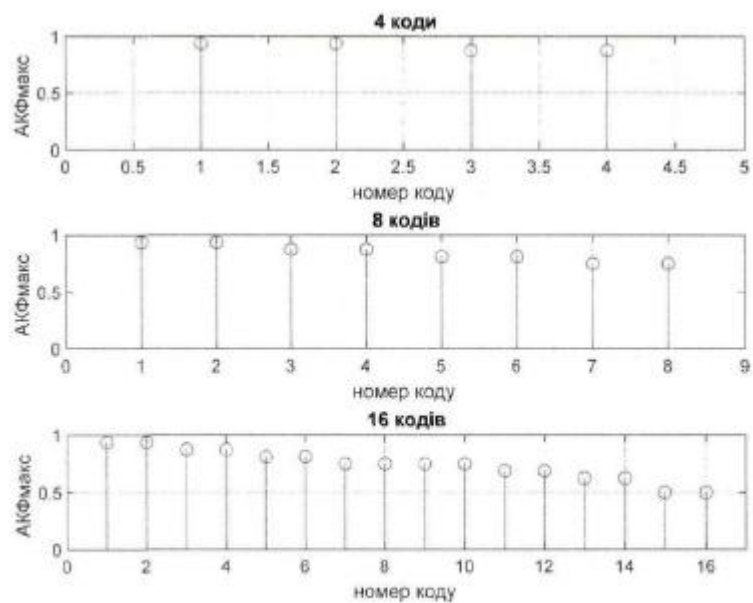


Fig. 2