



I. Г. Цмоць, О. Я. Різник, Б. І. Балич, Ч. З. Львовський

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

МЕТОД ТА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ БАРКЕРОПОДІБНИХ КОДОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

З'ясовано, що завадостійкість є однією з істотних характеристик сучасних систем бездротового прийому/передачі даних. Визначено, що задачі управління безпілотними апаратами та мобільними робототехнічними комплексами підвищення завадостійкості каналів передачі даних є актуальною проблемою. Досліджено, що баркероподібні кодові послідовності, на підставі ідеальних кільцевих в'язанок, забезпечують збільшення потужності отриманих послідовностей завдяки оптимізації параметрів використовуваних ідеальних кільцевих в'язанок. Визначено, що підвищення завадостійкості під час прийому та передачі даних досягається за рахунок вибору оптимальних співвідношень параметрів ідеальної кільцевої в'язанки. Показано, що такі переваги баркероподібних кодових послідовностей, як оптимальне співвідношення між довжиною послідовності та її коригувальною здатністю, можливість змінювати довжину послідовності залежно від рівня завад мають широке практичне використання в сучасних системах бездротового зв'язку та телекомунікації. Вдосконалено метод синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок, який завдяки врахуванню співвідношень параметрів ідеальних кільцевих в'язанок забезпечує вибір мінімальної розрядності кодової послідовності, яка враховує рівень завад. Розроблено, на базі вдосконаленого методу синтезу баркероподібних кодових послідовностей, імітаційну модель синтезу баркероподібних кодових послідовностей, формування завад і виправлення помилок. Використано розроблену імітаційну модель для дослідження процесів кодування, декодування, виявлення та виправлення помилок в отриманих баркероподібних кодових послідовностях. Досліджено, що використання синтезованих баркероподібних кодових послідовностей на підставі ідеальних кільцевих в'язанок забезпечує відновлення даних пошкоджених не більш, ніж 25 % розрядів кожного кодового слова, та виявляє до 50 % пошкоджених розрядів у кожному кодовому слові.

Ключові слова: баркероподібна кодова послідовність; завадостійке кодування; ідеальна кільцева в'язанка; імітаційна модель.

Вступ

У сучасному світі дедалі більшого значення набуває зв'язок між людьми на великих відстанях. Мережеві технології проникли у багато сфер нашого повсякденного життя – телефонію, відеозв'язок, листування, документообіг, телебачення, відеоігри тощо. Із поширенням популярності цих технологій, збільшується і кількість даних, які передаються, та підвищуються вимоги до надійності їх передачі.

Станом на сьогодні існує два основні типи передавання даних у мережах – це провідні та безпроводні системи. Обидва типи передавання інформації мають як спільні, так і відмінні ознаки. Зокрема спільною рисою всіх типів передавання даних є потреба усунення помилок та пошкоджень, які виникають у процесі передавання даних через середовище. На відміну від безпроводних систем передавання, у провідних системах переда-

ча даних відбувається у захищеному від зовнішніх завад середовищі. Провідники, що використовуються у провідних мережах, захищені від електромагнітних та механічних впливів зовнішньою оболонкою, що називається екраном.

У безпроводних системах типу WiFi, HiperLan чи Bluetooth поширення сигналу відбувається за допомогою електромагнітних коливань у навколишньому середовищі. Однак, на відміну від провідних систем, ці коливання є незахищеними від зовнішніх впливів. Однак якщо декілька безпроводних систем працюватимуть достатньо близько одна до одної, то існує ймовірність накладання хвиль, що призведе до пошкодження інформаційного сигналу. Чим більше пристроїв надсилають свої сигнали та чим більша їхня робоча частота, тим більша ймовірність виникнення помилок в отриманому сигналі. Завадостійкість є однією з істотних характеристик сучасних систем бездротового прийому/переда-

чі даних. Баркероподібні кодові послідовності, на підставі ідеальних кільцевих в'язанок, дають змогу збільшити потужність отриманих послідовностей завдяки оптимізації параметрів використовуваних ідеальних кільцевих в'язанок.

Підвищення завадостійкості під час прийому та передачі даних можна досягати за рахунок вибору оптимальних співвідношень параметрів ідеальної кільцевої в'язанки. Переваги баркероподібних завадостійких послідовностей, такі як оптимальне співвідношення між довжиною послідовності та її коригувальної здатності, можливість змінювати довжину послідовності залежно від рівня завад матимуть широке практичне використання в сучасних системах бездротового зв'язку та телекомунікації. Для таких випадків використовують завадостійке кодування, яке дає змогу відновити код, за умови виникнення у ньому допустимої кількості спотворень. Тому актуальною проблемою є адаптація розрядності баркероподібних кодових послідовностей на підставі ідеальних кільцевих в'язанок до величини завад.

Об'єкт дослідження – розроблення, кодування, синтезу та моделювання оптимізованих баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок.

Предмет дослідження – методи, моделі, алгоритми і засоби реалізації баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок.

Мета роботи – вдосконалення методу та розроблення імітаційної моделі синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*:

- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- вдосконалення методу синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок;
- розроблення імітаційної моделі синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вдосконалено метод синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок, який завдяки врахуванню співвідношень параметрів ідеальних кільцевих в'язанок забезпечує вибір мінімальної розрядності кодової послідовності, яка враховує рівень завад.

Практична значущість результатів дослідження – використання синтезованих баркероподібних кодових послідовностей, на підставі ідеальних кільцевих в'язанок, забезпечує відновлення даних, пошкоджених не більш, ніж 25 % розрядів кожного кодового слова, та виявляє пошкодження викликані завадами, якщо кількість таких не перевищує 50 % розрядів у кожному кодовому слові.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [1], [3], [8], [10] розглянуто методи і засоби завадостійкого кодування з використанням шумоподібних кодів на підставі баркероподібних послідовностей. Недоліком розглянутих методів і засобів є неможливість адаптувати довжину розрядності шумоподібних кодів до величини завад.

Відомо, що потужність будь-якої баркероподібної кодової послідовності, зокрема й на підставі ідеальних

кільцевих в'язанок (ІКВ), визначається кількістю її розрядів і зростає відповідно до збільшення довжини кодової послідовності [4], [5], [6], [7]. Одним з відомих методів збільшення потужності баркероподібних кодових послідовностей, на підставі ІКВ, є використання поруч з комбінаціями базової циклічної кодової послідовності, де всі символи у відповідних розрядах змінені на протилежні. При цьому потужність кодової послідовності зростає вдвічі, без зменшення її коригувальної спроможності за рахунок застосування комбінацій з інверсними символами [4], [5], [12]. Інший підхід полягає у використанні для побудови таких послідовностей на підставі ІКВ множини варіантів ІКВ, тобто таких кодових послідовностей, які мають однакові параметри n , R , але різні ваги елементів [6], [7]. Теоретичні дослідження і експериментальна комп'ютерна апробація розробленого методу підтвердили вірогідність використання такого підходу для збільшення потужності баркероподібної кодової послідовності на підставі ІКВ [2], [8].

У роботі [6] показано, що зі збільшенням кількості розрядів баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ можливість підвищення потужності цих послідовностей зростає завдяки швидкому зростанню потужності повних сімей ІКВ. Отже, із збільшенням розрядності баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ розширюються їхні практичні можливості не тільки з погляду зростання коригувальної спроможності, але й стосовно збільшення потужності, що підтверджує перспективність створення новітніх інформаційних технологій на підставі цих кодових послідовностей.

Аналіз робіт показує [4], [5], [7], [13], що серед переваг методу побудови баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ необхідно виділити спрощення алгоритму і високий рівень досконалості теорії кодових послідовностей цього класу. Однак варто враховувати обмеження, які пов'язані зі швидкістю обміну та ускладненням прийнятно-передавальної апаратури.

Результати дослідження та їх обговорення

Вдосконалення методу синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок. Баркероподібну кодову послідовність будують, використовуючи унікальні властивості "ідеальних кільцевих в'язанок" (ІКВ) – впорядкованість цілочислових послідовностей з кільцевою структурою, всі n чисел яких разом з усіма сумами поруч розміщених чисел R разів вичерпують натуральний ряд. Таку багатопозиційну завадостійку кодову послідовність будемо називати баркероподібною кодовою послідовністю. Для побудови баркероподібної циклічної кодової послідовності з довжиною кодових комбінацій S_n , яка дорівнює сумі чисел ІКВ, за допомогою ІКВ достатньо виділити рядок із S_n пронумерованих позицій одиниць-мірного масиву та заповнити одиницями ті позиції коду, номери яких збігаються з числом x_j , а інші заповнити нулями. Позиції коду, номери яких збігаються з числом x_j , знаходять в такий спосіб:

$$x_j - 1 \equiv \sum_{i=1}^j k_i \pmod{S_n}, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

$$S_n = n(n-1)/R + 1, \quad (2)$$

де: k_i – i -й елемент обраного ІКВ; n , R – параметри ІКВ.

Утворена послідовність двійкових символів є твірною комбінацією кодової послідовності, циклічним зсувом якої можна отримати решту S_{n-1} кодових послідовностей.

Для цієї кодової послідовності мінімальну кодову відстань визначають за такою формулою:

$$d_{\min} = 2(n - R). \quad (3)$$

Кількість помилок, які можна виявити за допомогою цієї кодової послідовності, залежить від параметрів n і R :

$$t_1 \leq 2(n - R) - 1. \quad (4)$$

Кількість помилок, які можна виправити за допомогою цієї кодової послідовності, залежить від параметрів n і R :

$$t_2 \leq n - R - 1. \quad (5)$$

Одним із показників якості завадостійкого кодування є співвідношення мінімальної кодової відстані (3) та довжини (2) дозволених кодових комбінацій, який характеризує ефективність коригувальної здатності коду:

$$K_e = d_{\min}/S_n. \quad (6)$$

Отже, за умови, коли $n \gg R$, співвідношення (6) прямує до величини $2/n$, і при $n \rightarrow \infty$ наближається до нуля. Це означає, що для багатопозиційних циклічних кодів ІКВ з параметрами $n \gg R$ ефективність коригувальної здатності коду зменшується обернено пропорційно до розрядності цього коду, а коригувальна здатність зростає прямо пропорційно, що впливає із залежності (3), що дає суттєві переваги порівняно з відомими баркероподібними послідовностями [2], [11], [9]. Графік залежності коригувальної здатності баркероподібної циклічної кодової послідовності на підставі ІКВ d_{\min} та його ефективності K_e від кількості розрядів n для випадку $n \gg R$ наведено на рис. 1.

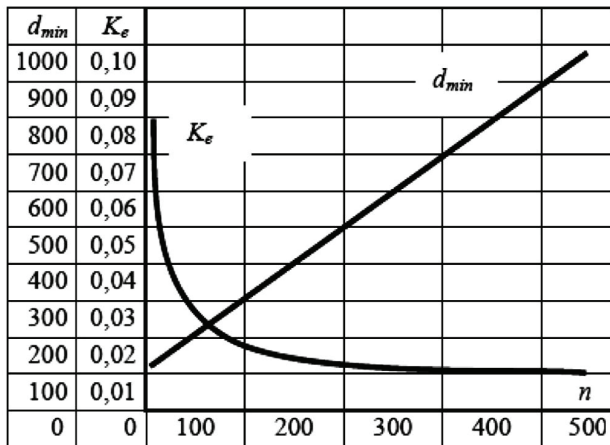


Рис. 1. Графіки залежності коригувальної здатності баркероподібної циклічної кодової послідовності на підставі ІКВ та її ефективності від кількості розрядів n для випадку $n \gg R$

З графіків (рис. 1) видно, що баркероподібна циклічна кодова послідовність на підставі ІКВ з параметрами $n \gg R$ у принципі спроможний виправляти як завгодно багато помилок за умови збільшення кількості розрядів. Однак ефективність його коригувальної здатності різко знижується на початковій ділянці зростання розрядності коду в межах декількох перших десятків – від 0,2 до 0,02 з поступовим наближенням до нульового значення із подальшим збільшенням кількості n розрядів. Із рис. 1 з'ясували, що підвищення ефективності коду можна досягнути шляхом збільшення параметра R . За умови коли $n \approx 2R$ досягається оптимальне співвідно-

шення між кількістю виправлених помилок та довжиною кодових комбінацій циклічного ІКВ коду. Особливістю такого коду є можливість виправляти максимальну кількість помилок за обмеженої довжини сформованої комбінацій.

Для оцінювання завадостійкості оптимізованих баркероподібних циклічних кодових послідовностей на підставі ІКВ з параметрами

$$n = \begin{cases} 2R, & \text{для } n \equiv 0 \pmod{2}; \\ 2R + 1, & \text{для } n \equiv 1 \pmod{2} \end{cases} \quad (7)$$

необхідно визначити числові показники. На підставі рівнянь (1)–(6) отримуємо формули для обчислення таких показників:

$$\begin{aligned} R &= \text{ent}(n/2); \\ S_n &= \begin{cases} 2n - 1 & \text{для } n \equiv 0 \pmod{2}; \\ 2n + 1 & \text{для } n \equiv 1 \pmod{2}; \end{cases} \\ t_2 &= (S_n - 3)/4, \quad P = 2S_n, \end{aligned} \quad (8)$$

де P – потужність баркероподібної циклічної кодової послідовності на підставі ІКВ.

Обчислені показники завадостійкості вдосконалених баркероподібних циклічних кодових послідовностей на підставі ІКВ наведено у табл. 1.

Табл. 1. Показники завадостійкості оптимізованих баркероподібних циклічних кодових послідовностей на підставі ІКВ

n	R	S_n	t_2	P	d_{\min}	K_e
20	10	39	9	78	20	0.513
62	31	123	30	246	62	0.504
63	31	127	31	247	64	0.504
64	32	127	31	254	64	0.504
65	32	131	32	262	66	0.504
.....
126	63	251	62	502	126	0.502
127	63	255	63	510	128	0.502
.....
254	127	507	126	1014	254	0.501
255	127	511	127	1022	256	0.501
.....
510	255	1019	254	2038	510	0.5005
511	255	1023	255	2046	512	0.5005
.....
1022	511	2043	510	4086	1022	0.5002
1023	511	2047	511	4094	1024	0.5002

З табл. 1 видно, що, на відміну від попередньо розглянутої кодової послідовності, оптимізована циклічна кодова послідовність, побудована на підставі багатоеlementних ІКВ з параметрами, що пов'язані між собою залежністю (7), має вищу коригувальну ефективність кодової послідовності. У разі зростання кількості розрядів від 20 до 62 коригувальна ефективність кодової послідовності спочатку знижується від 0,513 до 0,504 і прямує до величини 0,5 у випадку збільшення кількості розрядів кодових послідовностей. У цьому випадку максимально можлива кількість помилок, що виправляється, становить 25 % від загальної кількості розрядів кодової послідовності, побудованої на підставі ІКВ з відповідно обраними параметрами.

На підставі показників з табл. 1 будують графіки залежності коригувальної здатності баркероподібних циклічних кодових послідовностей на підставі ІКВ та їх ефективності від кількості розрядів n для випадку $n \approx 2R$.

Графіки коригувальної здатності та їх ефективності залежно від кількості розрядів n для випадку $n \approx 2R$ наведено на рис. 2.

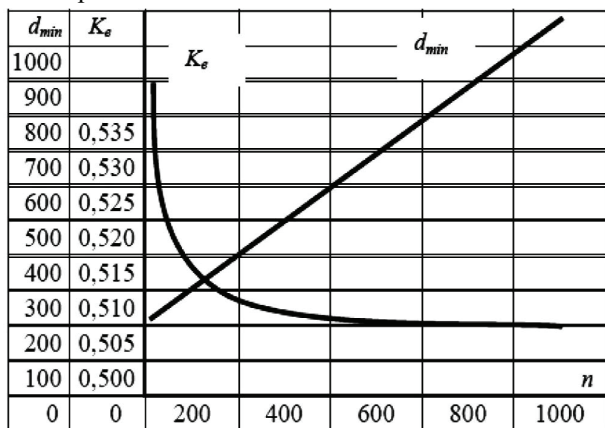


Рис. 2. Графіки коригувальної здатності та їх ефективності залежно від кількості розрядів n для випадку $n \approx 2R$

Порівнюючи між собою відповідні графічні залежності, наведені на рис. 1 і рис. 2, можна побачити, що баркероподібні кодові послідовності, на підставі ІКВ з оптимізованими параметрами (рис. 2), мають покращені показники від кодових послідовностей, наведених на рис. 1. Отримані результати порівняння характеристик обох баркероподібних кодових послідовностей наведено в табл. 2.

Табл. 2. Результати порівняння характеристик баркероподібних кодових послідовностей, побудованих на підставі ІКВ

d_{min}	S_n	$S_{n(om)}$	$S_n/S_{n(om)}$	K_e	$K_{e(om)}$	$K_{e(om)}/K_e$
18	91	35	2.6	0.198	0.514	2.59
62	993	123	8.073	0.062	0.504	8.12
126	4033	251	16.068	0.031	0.502	16.19
254	16257	507	32.065	0.016	0.501	31.31
510	65281	1019	64.064	0.008	0.500	62.5
1022	261632	2043	128.062	0.004	0.500	125

З табл. 2 видно, що баркероподібні кодові послідовності зі заданою коригувальною здатністю ($d_{min}=const$), побудовані на підставі ІКВ з оптимізованими параметрами, характеризуються меншою кількістю розрядів кодової послідовності й вищим коефіцієнтом ефективності. На підставі даних із табл. 2 побудовано графіки (рис. 3) порівняння характеристик баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$).

Із графіків, наведених на рис. 1, 2 і 3, видно, що коригувальна здатність обох кодових послідовностей зростає прямо пропорційно до кількості розрядів. Однак вдосконалені баркероподібні кодові послідовності на підставі ІКВ дають змогу виправляти більшу кількість помилок за однакової кількості розрядів, однак не перевищуючи рівня 25 % від загальної кількості розрядів кодових послідовностей. Варто зазначити, що співвідношення між довжинами кодових послідовностей і показниками ефективності баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$), зростає прямо пропорційно коригувальній спроможності кодових послідовностей (рис. 3). Основною перевагою вдосконаленої баркероподібної кодової послідовності на підставі ІКВ з оптимізованими параметрами порівняно з відомими послі-

довностями [2], [9], [11] є можливість виправлення до 25 % помилок.

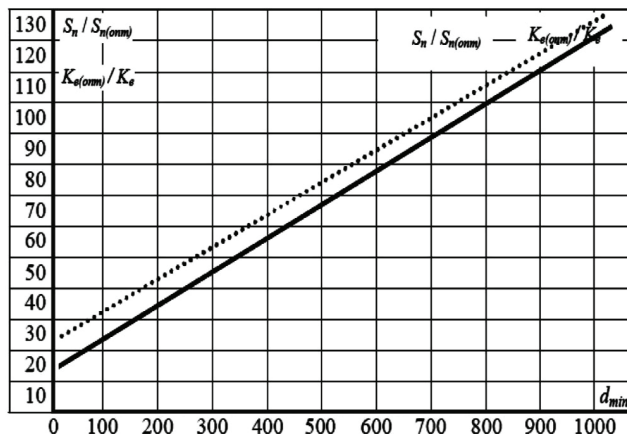


Рис. 3. Графіки порівняння характеристик баркероподібних кодових послідовностей на підставі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$)

Імітаційна модель синтезу вдосконалених баркероподібних кодових послідовностей на підставі ідеальних кільцевих в'язанок для формування завад і виправлення помилок. На базі вдосконаленого методу синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок розроблено імітаційну модель синтезу баркероподібної послідовності, формування завад і виправлення помилок. Блок-схему алгоритму роботи цієї імітаційної моделі наведено на рис. 4.

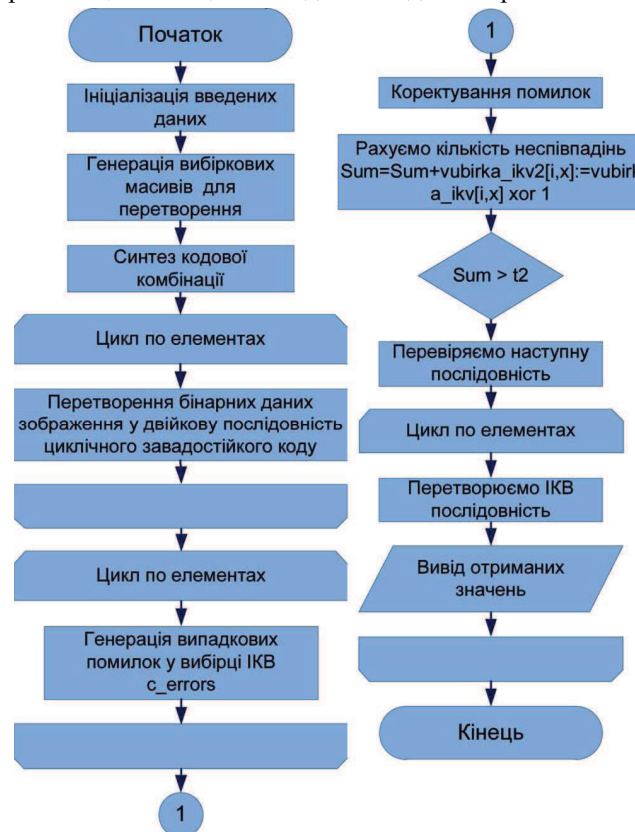


Рис. 4. Блок-схема алгоритму роботи імітаційної моделі синтезу баркероподібної послідовності, формування завад і виправлення помилок

Для перевірки працездатності імітаційної моделі формування завад і виправлення помилок використаємо вхідний двовимірний масив даних, який передається з використанням бездротових інтерфейсів. Визначаємо

кількість розрядів баркероподібної послідовності за формулою (9)

$$e_{bit} = \text{Trunc}(\log_2(S_n)) , \quad (9)$$

де S_n – сума ІКВ, на підставі якої будується баркероподібна циклічна кодова послідовність.

У кожному циклі роботи програми послідовно відбувається перетворення вхідних даних у двійкову баркероподібну кодову послідовність. Вибираємо на підставі формули (9) ІКВ з відповідними параметрами. Наступним етапом є генерація випадкового шуму (помилки) у баркероподібній послідовності. На останньому етапі роботи імітаційної моделі виконується декодування закодованих даних і виправляються помилки.

У програмі є дві вибірки, перша – це зашумлення, а друга – виправлена. У програмі порівнюється порозрядно блоки вибірок і рахується кількість не співпадінь між двома вибірками. Цим можемо показати скільки помилок програма здатна виправити. Якщо кількість помилок відповідає формулі (5), тоді програма перевіряє наступну послідовність вибірок.

Після запуску програмного продукту перед користувачем з'являється вікно, як це зображено на рис. 5. У програмному продукті задається послідовність ІКВ для синтезу баркероподібної послідовності, і задається кількість помилок, які необхідно виправити (рис. 5).

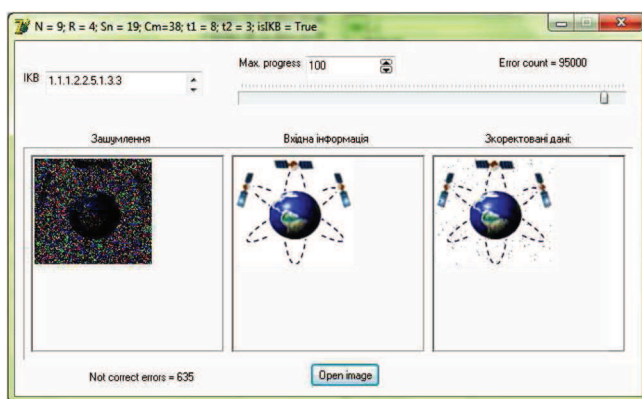


Рис. 5. Інтерфейс імітаційної моделі синтезу баркероподібної послідовності, формування завад і виправлення помилок

Наступним кроком є синтез баркероподібної послідовності, генерація випадкових шумів (помилки) у вибірці баркероподібної послідовності (рис. 5). Користувачський інтерфейс може змінити кількість помилок. Після цього здійснюється декодування і відбувається виправлення помилок. Проведено дослідження з метою визначення кількості помилок, яку може виправити баркероподібна послідовність. Результати дослідження показали, що під час декодування масиву даних з 95000 помилками баркероподібна послідовність змогла виправити 94365 помилок.

Обговорення результатів дослідження. Однією з важливих характеристик бортових систем передачі даних є завадостійкість, яка характеризує здатність системи працювати в умовах природних і організованих завад. Для кодування та декодування даних у таких системах використовуються баркероподібні послідовності, особливістю яких є висока завадостійкість відповідно до вузькосмугових перешкод великої потужності, можливість розділення абонентів за кодовою ознакою, скритність передачі та висока стійкість до багатопроменевого поширення. Підвищення завадостійкості при пе-

редачі закодованих баркероподібними послідовностями даних досягається завдяки збільшенню довжини та потужності кодової послідовності. Залежно від величини завад у каналі передачі та співвідношення сигнал/шум доцільно вибрати довжину кодової баркероподібної послідовності, яка впливає на момент передачі даних. Перевагами баркероподібних послідовностей є висока завадостійкість відповідно до вузькосмугових завад великої потужності, можливість поділу абонентів за кодовою ознакою, скритність передачі та висока стійкість до багатопроменевого поширення.

Висновок

Вдосконалено метод синтезу баркероподібних кодових послідовностей з використанням ідеальних кільцевих в'язанок, який завдяки врахуванню співвідношень параметрів ідеальних кільцевих в'язанок забезпечує вибір мінімальної розрядності кодової послідовності, яка враховує рівень завад.

Розроблено, на базі вдосконаленого методу синтезу баркероподібних кодових послідовностей, імітаційну модель, яка забезпечує синтез баркероподібних послідовностей з можливістю зміни розрядності кодової послідовності, визначення кількості розрядів із помилками та виправлення помилок.

Досліджено, що під час передачі даних із використанням синтезованих баркероподібних кодових послідовностей, на підставі ідеальних кільцевих в'язанок, забезпечується відновлення до 25% розрядів у кожному пошкодженому закодованому слові.

References

- [1] Ahmad, J., Akula, A., Mulaveesala, R., & Sardana, H. K. (2019). Barker-Coded Thermal Wave Imaging for Non-Destructive Testing and Evaluation of Steel Material. *IEEE Sensors Journal*, 19(2), 735–742, 15 Jan.15, 2019. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2877726>
- [2] Banket, V. & Manakov, S. (2018). Composite Walsh-Barker Sequences, 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Odessa, 343–347. <https://doi.org/10.1109/UWBUSIS.2018.8520220>
- [3] Fu, J., & Ning, G. (2018). Barker coded excitation using pseudo chirp carrier with pulse compression filter for ultrasound imaging, BIBE 2018; International Conference on Biological Information and Biomedical Engineering, Shanghai, China, 1–5.
- [4] Riznyk, O., Kynash, Yu., Povshuk, O., & Balych, B. (2017). Information technologies of optimization of structures of the systems are on the basis of combinatorics methods, 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 232–235. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2017.8098776>
- [5] Riznyk, O., Kynash, Yu., Povshuk, O., & Noga, Y. (2018). The Method of Encoding Information in the Images Using Numerical Line Bundles, "2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 80–83. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526751>
- [6] Riznyk, O., Povshuk, O., Kynash, Y., & Yurchak, I. (2017). Composing method of anti-interference codes based on non-equidistant structures, 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 15–17. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2017.7937522>
- [7] Riznyk, O., Povshuk, O., Noga, Y., & Kynash, Yu. (2018). Transformation of Information Based on Noisy Codes, 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mi-

- ning & Processing (DSMP), Lviv, 162–165. <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478509>
- [8] Tsmots, I., Rabyk, V., Riznyk, O., & Kynash, Y. (2019). Method of Synthesis and Practical Realization of Quasi-Barker Codes. 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 2019, 76–79. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2019.8929882>
- [9] Vienneau, E., & Byram, B. (2020). Compound barker-coded excitation for increased signal-to-noise ratio and penetration depth in transcranial ultrasound imaging, 2020 *IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, 2020, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IUS46767.2020.9251650>
- [10] Wang, M., Cong, S., & Zhang, S. (2018). Pseudo Chirp-Barker-Golay coded excitation in ultrasound imaging, 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Shenyang, 2018, 4035–4039. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2018.8407824>
- [11] Wang, M., Cong, S., & Zhang, S. (2018). Pseudo Chirp-Barker-Golay coded excitation in ultrasound imaging, 2018 *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, Shenyang, 2018, 4035–4039. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2018.8407824>
- [12] Wang, S., & He, P. (2018). Research on Low Intercepting Radar Waveform Based on LFM and Barker Code Composite Modulation, 2018 International Conference on Sensor Networks and Signal Processing (SNSP), Xian, China, 297–301. <https://doi.org/10.1109/SNSP.2018.00064>
- [13] Xia, S., Li, Z., Jiang, C., Wang, S. & Wang, K. (2018). Application of Pulse Compression Technology in Electromagnetic Ultrasonic Thickness Measurement, 2018 IEEE Far East NDT New Technology & Application Forum (FENDT), Xiamen, China, 37–41. <https://doi.org/10.1109/FENDT.2018.8681975>

I. G. Tsmots, O. Ya. Riznyk, B. I. Balych, Ch. Z. Lvovskij

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

THE METHOD AND SIMULATION MODEL FOR THE SYNTHESIS OF BARKER-LIKE CODE SEQUENCES

Noise immunity is one of the essential characteristics of modern wireless data reception/transmission systems. In wireless systems such as Wi-Fi, HiperLan, or Bluetooth, the signal is propagated by electromagnetic oscillations in the environment. However, unlike wiring systems, these oscillations are unprotected from external influences. Noise immunity is one of the essential characteristics of modern wireless data reception/transmission systems. Moreover, if several wireless systems work close enough to each other, there is a possibility of overlapping waves, which will damage the information signal. It is determined that for the tasks of control of unmanned aerial vehicles and mobile robotic complexes increasing the noise immunity of data transmission channels is an urgent problem. It has been investigated that Barker-like code sequences based on ideal ring bundles provide an increase in the power of the obtained sequences by optimizing the parameters of the ideal ring bundles used. It is determined that the increase of noise immunity during data reception and transmission is achieved by choosing the optimal ratios of the parameters of the ideal ring bundle. It is shown that the advantages of Barker-like code sequences such as the optimal ratio between the length of the sequence and its correcting ability, the ability to change the length of the sequence depending on the level of interference are widely used in modern wireless communication and telecommunications systems. The method of synthesis of Barker-like code sequences with the use of ideal ring bundles has been improved, which, by taking into account the ratios of the parameters of ideal ring bundles, provides the choice of the minimum bit code sequence that takes into account the level of interference. A simulation model of synthesis of Barker-like code sequences, noise generation, and error correction has been developed on the basis of the improved method of synthesis of Barker-like code sequences. The developed simulation model is used to study the processes of coding, decoding, detection, and correction of errors in the obtained Barker-like code sequences. It has been investigated that the use of synthesized Barker-like code sequences based on ideal ring bundles provides data recovery of damaged no more than 25 % of the bits of each codeword, and detects up to 50 % of damaged bits in each codeword.

Keywords: Barker-like code sequence; ideal ring bundle; noise-tolerant coding; simulation model.

Інформація про авторів:

Цмоць Іван Григорович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** ivan.tsmots@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>

Різник Олег Яремович, канд. техн. наук, доцент, кафедра інформаційних технологій видавничої справи. **Email:** oleh.y.riznyk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-3815-043X>

Балич Богдан Іванович, ст. викладач, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** bohdan.i.balych@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3610-7355>

Львовський Чеслав Збігневич, ст. викладач, кафедра дизайну та основ архітектури. **Email:** ivan.tsmots@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5881-5120>

Цитування за ДСТУ: Цмоць І. Г., Різник О. Я., Балич Б. І., Львовський Ч. З. Метод та імітаційна модель синтезу баркероподібних кодових послідовностей. *Український журнал інформаційних технологій*. 2021, т. 3, № 2. С. 45–50.

Citation APA: Tsmots, I. G., Riznyk, O. Ya., Balych, B. I., & Lvovskij, Ch. Z. (2021). The method and simulation model for the synthesis of barker-like code sequences. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(2), 45–50. <https://doi.org/10.23939/ujit2021.02.045>