

*Transactions of the ASME — Journal of Basic Engineering*, 82 (Series D): 35–45. Copyright © 1960 by ASME.

3. **Кнар, W.** *Signal Processing 3D Terahertz Imaging FMCW Radar for the NDT of material* / W. Knap, N. Kosovets, A. Drobik: сб. тез. VI Междунар. науч.-техн. симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях», ГУИКТ–КАРПАТЫ'2013.— Карпаты, Вышков, 21-25 января 2013 г. — С. 154–156.

4. **Косовець, М. А.** *Класичні непараметричні методи цифрового спектрального аналізу харак-*

*теристичних функцій 3D терагерцового ЛЧМ радіолокатора* / М. А. Косовець, О. В. Дробік // *Системи управління, навігації та зв'язку.*— 2014.— Вип. 3(31).— С. 28–31.

5. **Kosovets, M.** *3D Terahertz Imaging Radar for the NDT of material* / M. Kosovets, L. Tovstenko: сб. тез. VI Междунар. науч.-техн. симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях», ГУИКТ–КАРПАТЫ'2013, Карпаты, Вышков, 21-25 января 2013 г.— С. 172–174.

**Рецензент:** канд. техн. наук, професор **О. В. Дробік**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*Н. А. Косовец, Л. Н. Товстенко*

### КЛАССИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ 3D ТЕРАГЕРЦОВОГО ЛЧМ РАДИОЛОКАТОРА

В научной лаборатории «Квантор» были проведены исследования построенного ЛЧМ радара с ограничением во времени частоты биения от трех слоев отражения. Получено уравнение для оценивания спектральной плотности мощности с использованием классических параметрических методов цифрового спектрального анализа, таких как метод Юла–Уокера, Прони, Берга, MUSIC, Eigen, ковариационного и модифицированного ковариационного методов. Экспериментально подтверждены параметры оценки сигнала ЛЧМ радара с различными уровнями шума.

**Ключевые слова:** цифровой спектральный анализ; авторегрессионная модель; спектральная оценка; метод максимальной энтропии; спектральное оценивание; спектральная плотность.

*M. Kosovets, L. Tovstenko*

### CLASSIC PARAMETRIC METHODS DIGITAL SPECTRAL ANALYSIS OF CHARACTERISTIC FUNCTIONS OF 3D TERAGERTZ FMCW RADAR

In the science lab SPE «Quantor» was researched FMCW Radar in time-limited frequency beats from 3 layers of reflection. Obtained equation for estimating the power spectral density using classical parametric methods of digital spectral analysis, such as the Yule–Walker, Prony, Berg, MUSIC, Eigen, covariance and modified covariance method. Experimentally confirmed valuation parameters chirp radar signal with different levels of noise.

**Keywords:** digital spectral analysis; autoregression model; spectralevaluation; spectral estimation; method of maximum entropy; spectral density.

УДК 621.391.833

**В. Г. САЙКО**<sup>1</sup>, доктор техн. наук, професор;

**О. В. ДІКАРСЬ**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

**Л. М. ГРИЩЕНКО**<sup>1</sup>,

**А. В. БАЛАН**<sup>2</sup>, аспірант,

<sup>1</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ;

<sup>2</sup> НТТУ «КПІ», Київ

## УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ОСОБЛИВИХ КІЛЬЦЕВИХ КОДІВ ЗІ ЗСУВОМ ПОЧАТКОВОГО ВЕКТОРА

**Як показало дослідження, попереднє спотворення початкового вектора кільцевого коду внаслідок його зсуву на одну чи кілька позицій відносно вихідного положення завжди призводить до унікальної модифікації вектора показників зсуву. Це дає змогу створювати специфікатори, використовувані для виявлення і виправлення помилок у кодових словах.**

**Ключові слова:** кільцевий код; ідентифікатор; кодове слово; вектор, фільтр.

### Вступ

Множина *кільцевих кодів (КК)* будується за принципом блокових циклічних кодів [1].

*Стандартний КК* являє собою квадратну двійкову матрицю розміром  $N \times N$  (так звану *заготівку КК*), кожний рядок якої містить  $t$  одиниць 1, відповідно,  $N - t$  нулів.

Перший рядок КК називають його *початковим вектором*, або *початковою послідовністю*.

Кожний наступний рядок КК містить ті самі елементи, що й попередній, але розміщення їх змінюється внаслідок послідовного колового зсуву на один розряд праворуч або ліворуч.

Будь-який рядок КК може виступати кодовим словом при передаванні дискретної інформації.

Приклад стандартного КК із параметрами  $N = 13$  і  $m = 5$  наведено в табл. 1

Головна характеристика будь-якого КК — це його *вектор показників зсуву (ВПЗ)*, який дістаємо за допомогою одного з двійкових перетворень XOR, OR, AND (із запереченням Not або без нього) початкової послідовності (першого рядка) КК і решти його рядків. Отже, з однієї «заготівки» кільцевого коду загалом може утворитись шість різновидів вектора показників зсуву, що дуже важливо для ідентифікації і виправлення помилок окремих рядків (кодових слів). Властивості векторів показників зсуву розглянуто в [2; 3]. При цьому необхідно зазначити, що вектор показників зсуву є груповим інтегральним показником всього кільцевого коду, а не окремого його рядка.

### Основна частина

#### 1. Огляд найважливіших властивостей стандартних кільцевих кодів

Нагадаємо характерні ознаки ВПЗ стандартних КК [4; 5].

- Наявність центральної симетрії елементів ВПЗ.
- Сума на однакових місцях значень елементів XOR- і AND-ВПЗ дає результат, що дорівнює значенню елемента OR-ВПЗ на тому самому місці.
- Вектори показників зсуву кільцевого коду можуть бути отримані як за рядками, так і за стовпцями матриці КК.
- Сума елементів ВПЗ для всіх КК з однаковими  $m$  постійна.
- Вектори показників зсуву для розподілу одиниць по довжині початкового вектора, якщо цей розподіл повернено на  $180^\circ$ , лишаються незмінні. Приклади таких двох КК подано в табл. 1 і 2. Вектори показників зсуву цих двох КК лишаються однакові.
- Вигляд XOR-вектора показників зсуву лишається незмінний, якщо значення символів матриці КК змінюються на протилежні. AND- і OR-вектори показників зсуву цієї властивості не мають. Приклад такого КК наведено в табл. 3. Порівнюючи табл. 1 і 3, бачимо, що в інвертованому КК XOR-вектори показників зсуву збігаються, а AND- і OR-ВПЗ не однакові. Це є наслідком різної кількості одиниць у початковому векторі:  $m = 5$  в першому випадку і  $m = 7$  у другому.
- Єдиного функціонального зв'язку між розподілом одиниць у початковому векторі (а отже, і в усьому КК) і видом його ВПЗ не існує, за винятком КК особливого вигляду.

Відомі також інші характерні властивості стандартних КК, які описано в [4; 5]. Головний недолік стандартного КК полягає в тому, що його ВПЗ малоприсадибний для ідентифікації окремих рядків цього КК. Для усунення зазначеного недоліку застосовуються особливі КК з попереднім спотворенням.

Об'єктами попереднього спотворення особливих КК можуть бути:

- початковий вектор КК, в якому один або кілька символів змінюють своє значення на протилежне;
- будь-який рядок КК, спотворення якого здійснюються за тим самим принципом, що й спотворення початкового вектора;
- початковий вектор і будь-який рядок КК, спотворювані одночасно.
- початковий вектор і будь-який рядок КК, що попередньо зсуваються на один чи кілька розрядів ліворуч або праворуч. При цьому інші рядки КК попереднього спотворення не зазнають.

Таблиця 1

Стандартний КК із параметрами  $N = 13$ ,  $m = 5$

1	Вихідний вектор КК	0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0
2	XOR-ВПЗ	8 8 4 6 8 6 6 8 6 4 8 8
3	AND-ВПЗ	1 1 3 2 1 2 2 1 2 3 1 1
4	OR-ВПЗ	9 9 7 8 9 8 8 9 8 7 9 9

Таблиця 2

Стандартний КК із параметрами  $N = 13$ ,  $m = 4$  та поворотом розподілу одиниць на  $180^\circ$

1	Вихідний вектор КК	0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0
2	XOR-ВПЗ	6 6 4 8 6 6 6 6 8 4 6 6
3	AND-ВПЗ	1 1 2 0 1 1 1 1 0 2 1 1
4	OR-ВПЗ	7 7 6 8 7 7 7 7 8 6 7 7

Таблиця 3

Стандартний КК із параметрами  $N = 13, m = 7$  та інвертованими символами

1	Вихідний вектор КК	1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0
2	XOR-ВПЗ	8 6 6 6 10 6 6 10 6 6 6 8
3	AND-ВПЗ	3 4 4 4 2 4 4 2 4 4 4 3
4	OR-ВПЗ	11 10 10 10 12 10 10 12 10 10 11

**2. Особливі кільцеві коди зі зсувом початкового вектора**

Попередній зсув початкового вектора на один чи кілька розрядів праворуч або ліворуч відносно його нормального положення в стандартному КК є дещо незвичний спосіб попереднього спотворення КК. Такий спосіб зручний тим, що зберігає в незмінному вигляді всі рядки КК, окрім першого, тоді як ВПЗ може набирати будь-якого вигляду, починаючи з  $N-1$  рядків цього КК. Напрошується думка, що ВПЗ стандартного КК може використовуватись лише для ідентифікації його першого рядка. Для другого рядка як ідентифікатор можна взяти ВПЗ стандартного КК зі зсувом початкового вектора на один розряд, для третього — на два розряди, і так далі аж до останнього рядка. Відповідно, із кожного отриманого в такий спосіб ВПЗ синтезуються свої специфікатори, які відрізняються один від одного. Наприклад, у табл. 4 і 5 наведено особливі КК із параметрами  $N = 11, m = 4$  і зсувом початкового вектора відповідно на один і два розряди праворуч. Відразу простежуються деякі закономірності.

- Кожний із трьох різновидів ВПЗ (XOR-, AND- і OR-ВПЗ) складається з однакових за значенням елементів, що різняться кількістю та місцем розташування у ВПЗ.
  - Як і в стандартному КК, порозрядна сума елементів XOR- і AND-ВПЗ дає значення елемента OR-ВПЗ.
  - Усі елементи XOR-ВПЗ являють собою парні числа в інтервалі  $[0, 2m]$ , тоді як елементи AND і OR-ВПЗ можуть бути довільними цілими числами в цьому самому інтервалі.
  - В особливих КК елементи ВПЗ втрачають свою центральну симетрію (табл. 4, 5 і 6).
- Для порівняння в 6-му рядку табл. 4, 5 і 6 подано ВПЗ стандартного КК.

Таблиця 4

Особливий КК із параметрами  $N = 11, m = 4$  після зсуву вихідного вектора на один розряд праворуч

1	Вихідний вектор КК до зсуву	0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1
2	Вихідний вектор КК після зсуву на один розряд	1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0
3	XOR-ВПЗ	4 6 4 6 6 4 6 4 8 0
4	AND-ВПЗ	2 1 2 1 1 2 1 2 0 4
5	OR-ВПЗ	6 7 6 7 7 6 7 6 8 4
6	ВПЗ стандартного КК	8 4 6 4 6 6 4 6 4 8

**3. Винятки щодо особливих кільцевих кодів зі зсувом початкового вектора**

Розглянуті в п. 2 властивості особливих КК зі зсувом початкового вектора дають підстави стверджувати, що деякі види особливих КК не підпадають під загальну закономірність. Так, для випадку  $N = \text{varia}, m = 1$ , коли всі значення елементів ВПЗ містяться в інтервалі  $[0, 2]$ , унаслідок зсуву початкового вектора на будь-яку кількість  $N$  розрядів, починаючи з  $N = 1$  і закінчуючи  $N-1$ , у XOR-ВПЗ неодмінно входить один елемент зі значенням, що дорівнює нулю, а решта елементів має дорівнювати  $2m$ , охоплюючи цей нульовий елемент. Помістивши його в центр ВПЗ, побачимо, що ВПЗ має центральну симетрію, характерну для звичайних стандартних КК. Результати здійснення попереднього зсуву початкового вектора на шість символів для частинного випадку особливого КК із параметрами  $N = 12, m = 1$  (табл. 7) повністю підтверджують це припущення. Різновиди AND-ВПЗ і OR-ВПЗ для цього випадку також мають центральну симетрію. І, більш того, порозрядна сума елементів XOR- і AND-ВПЗ спеціального КК дає значення елемента OR-ВПЗ на тому самому місці, що також характерно для стандартних КК. Отже, особливі КК зі зсувом початкового вектора на будь-яку кількість розрядів являє собою виняток із загального правила стосовно поводження ВПЗ при зсувах початкового вектора.

Ще один випадок винятку маємо в результаті зсуву початкового вектора довжиною  $N$  на кількість символів, що дорівнює  $N/2$ , де  $N$  — парне число. Цей випадок ілюструє табл. 8 для КК із параметрами  $N = 8, m = 4$ . Усі варіанти XOR-, AND- і OR-ВПЗ мають усі властивості стандартного КК, але вже не того, який було б отримано з незміщеним початковим вектором, про що свідчить останній рядок табл. 8, де показано XOR-ВПЗ стандартного КК без спотворення початкового вектора.

У загальному випадку винятки щодо особливих КК зі зсувом початкового вектора закінчуються вже при  $N = \text{varia}$  і  $m > 1$ , про що свідчать дані табл. 9–11. Зокрема, із табл. 9 для особливого КК з параме-

трами  $N = 12$  і  $m = 2$  впливає, що стандартний КК має XOR-ВПЗ, який складається з одних четвірок, тоді як особливий КК зі зсувом початкового вектора на шість символів додатково має один нульовий і два елементи зі значенням 2. При цьому, їх розташування не відповідає центральній симетрії елементів ВПЗ, притаманній стандартним КК. Усе сказане стосується й решти AND- і OR-ВПЗ зазначеного особливого КК.

Наступним предметом дослідження мають стати особливі КК, що мають жорсткий функціональний зв'язок між розподілом одиниць на символах початкового вектора і структурою ВПЗ. До них належать, наприклад, стандартний КК з одним масивом одиниць, що йдуть підряд [5]. Приклад такого особливого КК наведено в табл. 10. Суцільний масив трикратних одиниць у ВПЗ стандартного КК дає ВПЗ з двома двійками, двома четвірками і рештою елементів зі значенням 6. При цьому особливі КК мають елементи зі значеннями 0, 2 і 4, а кожний із решти елементів дорівнює 6. І тут повною мірою виявляються відмінності особливих КК від стандартних.

Таблиця 7

Особливий КК із параметрами  $N = 12, m = 1$ 

1	Вихідний вектор КК	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
2	Вхідний вектор особливого КК	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3	XOR-ВПЗ особливого КК	2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2
4	OR- ВПЗ особливого КК	2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2
5	AND-ВПЗ особливого КК	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
6	ВПЗ стандартного КК	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

Таблиця 8

Особливий КК із параметрами  $N = 8, m = 4$  та зсувом вихідного вектора на чотири розряди праворуч

1	Другий рядок КК	0 0 1 0 1 0 0 1
2	Вхідний вектор особливого КК	1 0 0 1 0 0 1 0
3	XOR-ВПЗ особливого КК	2 4 6 0 6 4 2
4	OR- ВПЗ особливого КК	4 5 6 3 6 5 4
5	AND-ВПЗ особливого КК	2 1 0 3 0 1 2
6	ВПЗ стандартного КК	6 4 2 6 2 4 6

Таблиця 9

Особливий КК із параметрами  $N = 12, m = 2$ 

1	Другий рядок КК	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0
2	Вхідний вектор особливого КК	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1
3	XOR-ВПЗ особливого КК	2 4 4 4 4 4 2 4 4 0 4
4	OR- ВПЗ особливого КК	3 4 4 4 4 4 3 4 4 2 4
5	AND-ВПЗ особливого КК	1 0 0 0 0 0 1 0 0 2 0
6	ВПЗ стандартного КК	4 4 2 4 4 4 4 4 2 4 4

Таблиця 10

Особливий КК із параметрами  $N = 12, m = 3$ 

1	Другий рядок КК	0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0
2	Вхідний вектор особливого КК	0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0
3	XOR-ВПЗ особливого КК	4 6 6 6 6 6 6 6 4 2 0
4	OR- ВПЗ особливого КК	5 6 6 6 6 6 6 6 5 4 3
5	AND-ВПЗ особливого КК	1 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3
6	ВПЗ стандартного КК	2 4 6 6 6 6 6 6 6 4 2

### Висновки

1. Стандартні КК і головний їхній критерій — вектор показників зсуву — мають свої відмітні властивості, за якими їх завжди можна визначити.

2. Вектор показників зсуву є загальним інтегральним показником КК і мало підходить для ідентифікації його окремих рядків.

3. Ідентифікацію окремих рядків КК повною мірою забезпечують попередньо спотворені особливі КК, які можна отримати, здійснивши попереднє спотворення або рядка стандартного КК, або його початкового вектора, або і того і іншого.

4. Нестандартний спосіб попереднього спотворення стандартних КК — це зсув початкового вектора на задану кількість розрядів від 1 до  $N$ . У такому разі OR-, XOR- і AND-ВПЗ щоразу будуть різні. Ця властивість дуже зручна при створенні специфікаторів окремих рядків КК.

5. Установлено існування двох винятків із загального правила отримання ВПЗ особливих попередньо спотворених КК.

6. Як з'ясувалося, винятки лише в одному випадку при  $N = 1$  не дозволяють отримати унікальних специфікаторів окремих рядків КК.

### Література

1. Мак Вільямс, Ф. Дж. Теорія кодів, исправляющих ошибки / Ф. Дж. Мак Вільямс, Н. Дж. А. Слоэн. — М.: Связь, 1979.

2. Дикарев, А. В. Коды на основе двоичных колец / А. В. Дикарев // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2014. — Вип. 1 (29). — С. 50–53.

3. Дикарев, А. В. Постулаты кольцевых кодов / А. В. Дикарев // Зв'язок. — 2013. — №5 (105). — С. 53–56.

4. Дикарев, А. В. Некоторые закономерности кольцевых кодов / А. В. Дикарев // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2014. — Вип. 3 (31). — С. 51–55.

5. Дикарев, А. В. Семейства цепочечных кольцевых кодов / А. В. Дикарев // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2014. — Вип. 1 (29). — С. 36–40.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор **Б. Ю. Жураковський**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*В. Г. Сайко, А. В. Дикарев, Л. Н. Грищенко, А. В. Балан*

### УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ КОДОВ СО СДВИГОМ ИСХОДНОГО ВЕКТОРА

Как показало исследование, предыскажение первоначального вектора кольцевого кода вследствие его сдвига на одну или несколько позиций относительно исходного положения всегда приводит к уникальной модификации вектора показателей сдвига. Это позволяет создавать спецификаторы, используемые для выявления и исправления ошибок в кодовых словах.

**Ключевые слова:** кольцевой код, идентификатор, кодовое слово, вектор, фильтр.

*V. H. Sayko, O. V. Dikarev, L. M. Hryshchenko, A. V. Balan*

### THE UNIQUE PROPERTIES OF THE RING CODES WITH A SHIFT OF THE INITIAL VECTOR

The study shows that the initial pre-distortion of the ring code origin vector, shifted by one or several positions with respect to the initial one, always forms a unique modification of the shift indexes vector. This allows us to create the specifiers that can be used to detect and correct errors in the code words.

**Keywords:** ring code; identifier; code word; vector; filter.

## ЗВ'ЯЗОК

Наукове видання

Редакційна обробка та коректура  
О. П. Бондаренко, Т. В. Ількевич

Комп'ютерна верстка да дизайн  
Г. С. Тимченко, О. Ю. Апухтіна

Підписано до друку 25.04.2016 р.  
Формат 60×84/8. Папір друкарський.  
Гарнітура SchoolBookC, EuropeCond. Наклад 100 прим.

Редакційно-видавничий центр  
Державного університету телекомунікацій  
03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7  
Тел. 249-25-75  
E-mail: [zviaz-ok@ukr.net](mailto:zviaz-ok@ukr.net)