

## **ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ, РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ**

УДК 621.396.96: 621.396.62

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ D-КОДІВ ВЕЛТІ**

*Мрачковський О.Д., Бичков В.Є., Турко С.І.*

D-коди Велті запропоновані в [1], згадані в [2,3], але в літературі не приводяться тіло функції невизначеності, частотна кореляційна функція, ізокореляти в області сильної та слабкої кореляції сигналів, що формуються шляхом фазової маніпуляції з використанням цих кодів, тому одним із завдань даної статті є наведення таких даних, які, зокрема, можуть зацікавити спеціалістів у галузі радіолокації. Відомо [1], що двійкові коди Велті є різновидом доповнюючих послідовностей. В [4] показано, що можна використовувати доповнюючі послідовності для розв'язання задач виявлення цілі з низьким значенням ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) у випадку присутності близько розташованої цілі з високим значенням ЕПР. В зв'язку з належністю D-кодів до доповнюючих послідовностей заслуговує уваги дослідження особливостей їх застосування при розв'язанні подібних задач.

#### **Теоретичні викладки**

Послідовності, що утворюють D-код, формуються за правилом приєднання. При дослідженні кореляційних властивостей D-коду стає помітно, що при будь-якому порядку  $k$  парні послідовності є доповнюючими (послідовності  $\{d_i^k\}, \{d_j^k\}$  називаються парними, якщо  $|i - j| = 2^{k-1}$ ). Також доповнюючими є послідовності  $\{d_i^k\}, \{d_j^k\}$  для яких виконується умова  $|i - j| = 1$ , а  $\max(i, j)$  приймає парні значення [5]. Бічні пелюстки доповнюючих послідовностей однакові за модулем, але протилежні за знаком, тому сума АКФ доповнюючих послідовностей дає один центральний викид і нульові бічні, що детально розглянуто в [5], [6]. Звісно, для цього сигнали мусять бути ідеально синхронізовані. Оскільки для реального радіолокатора невідомим є час приходу і фаза відбитого від цілі сигналу, то досягти необхідної синхронізації в радіолокації дуже складно. В [4] запропонований спосіб вирішення проблеми з синхронізацією і представлена структурна схема кореляційного тракту виявлення для доповнюючих послідовностей. Оскільки D-коди Велті належать до класу доповнюючих послідовностей, то для них може бути застосований приведений в [4] алгоритм обробки. В якості формуючих пар для алгоритму необхідно використовувати або парні послідовності, або послідовності  $\{d_i^k\}, \{d_j^k\}$  для яких виконується

$|i - j| = 1$  за умови, що  $\max(i, j)$  приймає парні значення. Результати, приведені у даній статті, розраховані в середовищі Matlab для послідовностей тривалістю 10 мкс і базою  $2^8$  при частоті носійної 8,8 ГГц.

Задача виявлення слабкої цілі на фоні сильної вирішується лише для нерухомих або малорухомих цілей. Про це свідчить розрахована для парних доповнюючих D-кодів  $\{d_7^8\}$  і  $\{d_{135}^8\}$  функція невизначеності (ФН), тіло якої зображено на рис. 2.

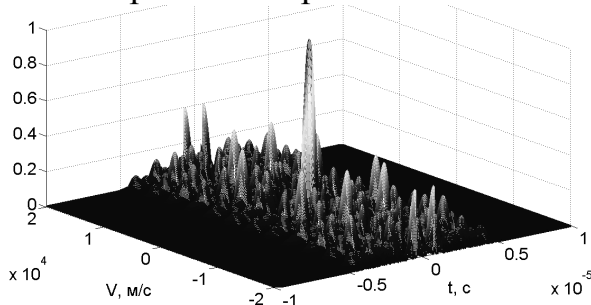


Рис. 2. ФН парних доповнюючих D-кодів

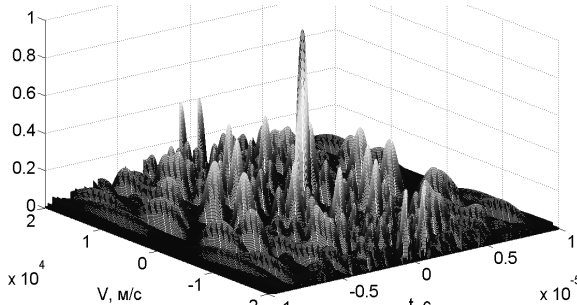


Рис. 3. ФН непарних доповнюючих D-кодів

Тіло ФН для непарних доповнюючих послідовностей D-коду (кодів  $\{d_{135}^8\}$  і  $\{d_{136}^8\}$ ) приведено на рис. 3. Частотно-кореляційна функція для парних послідовностей D-коду  $\{d_7^8\}$  і  $\{d_{135}^8\}$  зображена на рис. 4

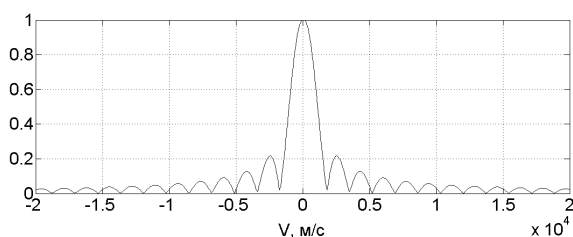


Рис. 4. ЧКФ D-кодів

Перерізи тіла ФН по осі часу для послідовностей  $\{d_7^8\}$  і  $\{d_{135}^8\}$  по рівню 1 0,9, 0,707 і 0,5 зображені на рис. 5, 6, 7, і 8 відповідно.

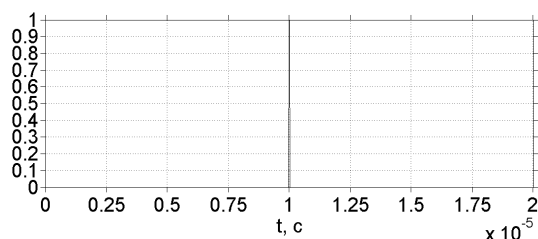


Рис. 5. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 0$  м/с (на рівні 1)

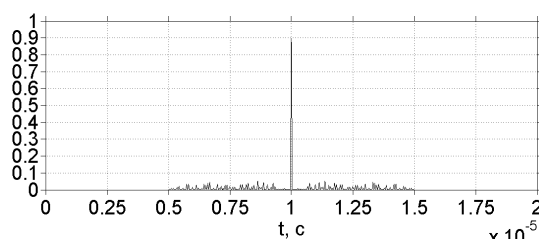


Рис. 6а. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 434$  м/с (на рівні 0,9)

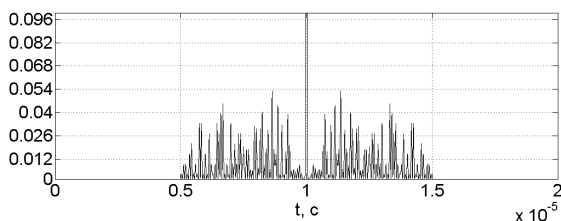


Рис. 6б. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 434$  м/с (на рівні 0,9, збільшений масштаб)

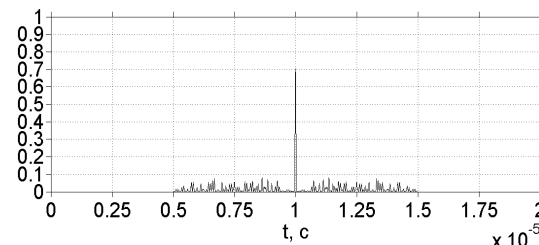


Рис. 7а. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 760$  м/с (на рівні 0,707)

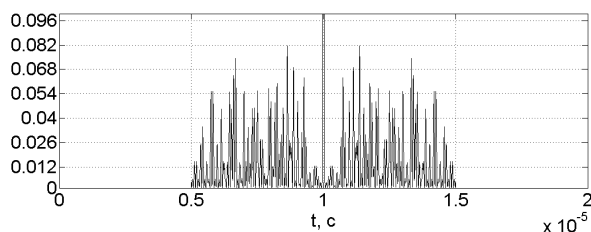


Рис. 76. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 760$  м/с (на рівні 0,707, збільшений масштаб)

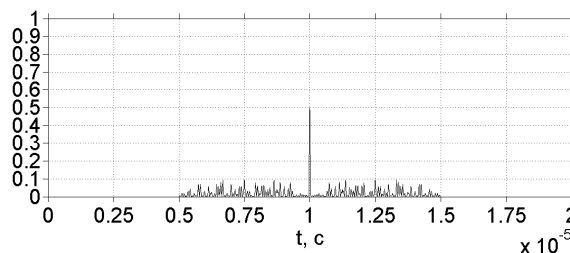


Рис. 8а. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 1030$  м/с (на рівні 0,5)

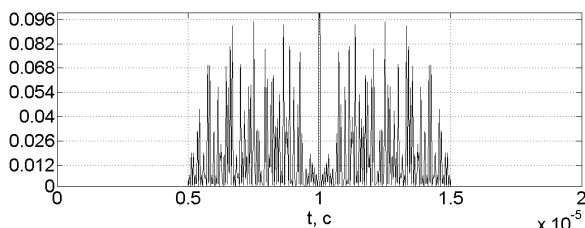


Рис. 8б. Переріз тіла ФН по осі часу при  $V = 1030$  м/с (на рівні 0,5, збільшений масштаб)

Як видно з рис. 5, бічні пелюстки АКФ (переріз ФН по осі часу по рівню 1, частота Доплера дорівнює нулю) практично відсутні, що обумовлено властивостями доповнюючих послідовностей. Максимальний рівень бічних пелюсток по рівню 0,9, 0,707 і 0,5 складає 0,054 (-24,7 дБ), 0,082 (-18,7 дБ) і 0,096 (-14,3 дБ) відповідно. Це означає, що зі зростанням частоти Доплера бічні пелюстки різко зростають.

На рис. 9 зображені ізокореляти функції невизначеності, або діаграми невизначеності на рівнях -1 дБ (0,9), -3 дБ (0,707), -6 дБ (0,5), тобто в області сильної кореляції.

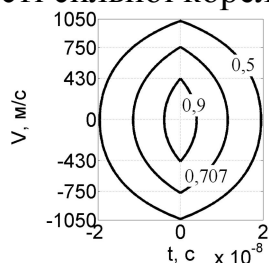


Рис. 9.

Роздільна здатність по дальності ( $\Delta\tau$ ) та по швидкості ( $\Delta F_D$ ) в області сильної кореляції сигналів, що формуються шляхом фазової маніпуляції по закону D-кодів Велті, приведена в таблиці 1 для рівнів -1 дБ (0,9), -3 дБ (0,707) та -6 дБ (0,5). В таблиці 1  $T$  – тривалість послідовності, що визначається за формулою  $T = 2^k \cdot \tau$ , де  $\tau$  – тривалість парціального імпульсу,  $k$  – порядок коду;  $F$  – ефективна ширина спектру сигнала, що визна-

чається за формулою  $F = \frac{1}{\tau}$ .

Таблиця 1

Рівні	0,9 (-1 дБ)	0,707 (-3 дБ)	0,5 (-6 дБ)
Потенційна роздільна здатність по дальності $\Delta\tau$	$0,205 \frac{1}{F}$	$0,589 \frac{1}{F}$	$1,014 \frac{1}{F}$
Потенційна роздільна здатність по швидкості $\Delta F_D$	$0,509 \frac{1}{T}$	$0,891 \frac{1}{T}$	$1,225 \frac{1}{T}$

Діаграма невизначеності в області слабкої кореляції (по рівню 0,1) зображена на рис. 10.

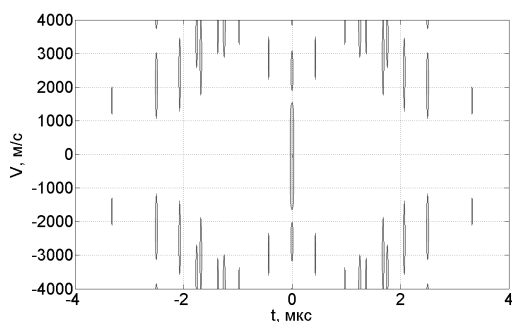


Рис. 10. Ізокореляти ФН в області слабкої кореляції

D-коди, як і коди Голея, можуть бути використані в радіолокації для виявлення цілі з низьким значенням ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) у випадку присутності близько розташованої цілі з високим значенням ЕПР, оскільки D-коди належать до класу доповнюючих послідовностей, але дана задача вирішується лише для цілей з малими швидкостями, про що

свідчить функція невизначеності D-кодів. Вимогам максимального зменшення бічних пелюстків автокореляційної функції задовольняють ті пари послідовностей D-коду  $\{d_i^k\}, \{d_j^k\}$ , які є доповнючими між собою, для яких виконується умова  $|i - j| = 2^{k-1}$  або для яких  $|i - j| = 1$ , та  $\max(i, j)$  приймає парні значення, про що свідчить переріз функції невизначеності по осі часу при нульовому зсуві по частоті Доплера.

#### Література

1. Welti G. R. Quaternary Codes for Pulsed Radar. IRE Transaction, Information Theory, vol IT-6, 1960 № 3, p. 400-408
2. Варакин Л. Е.. Теория сложных сигналов. - М. «Советское радио», 1970.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М. Радио и связь, 1985.
4. Бычков В. Е., Мрачковский О. Д., Правда В. И. Особенности применения кодов Голея в радиолокации. «Радиоэлектроника», 2008, № 4.
5. Мрачковський О.Д., Бичков В.Є., Турко С.І. Кореляційні властивості D-кодів Велті. Вісник НТУУ «КПІ» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування.-2010.-№40
6. Бичков В.Є. Мрачковський О.Д. Правда В.І. Кореляційні властивості кодових послідовностей Голея. Вісник НТУУ «КПІ» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування.-2008.-№37.

*Мрачковський О.Д., Бичков В.Є., Турко С.І. Дослідження функції невизначеності D-кодів велті. Розглянута функція невизначеності сигналів, що формуються шляхом фазової маніпуляції по закону D-кодів Велті. Показані особливості застосування сигналів даного типу в радіолокації.*

*Ключові слова:* функція невизначеності, кодові послідовності, фазова маніпуляція, кореляційні функції, D-коди Велті.

*Мрачковский О.Д., Бычков В.Е., Турко С.И. Исследование функции неопределенности D-кодов Велти. Рассмотрена функция неопределённости сигналов, которые формируются путём фазовой манипуляции по закону D-кодов Велти. Показаны особенности применения сигналов даного типа в радиолокации.*

*Ключевые слова:* функция неопределённости, кодовые последовательности, фазовая манипуляция, корреляционные функции, D-коды Велти.

*Mrachkovsky O.D. Vyshkov V.E. Turko S.I. Research of ambiguity function of D-codes of Welti The ambiguity function of binary phase D-codes of Welti is considered. Features of application this signals for radar systems are showed.*

*Key words:* ambiguity function, codes sequences, correlation functions, D-codes of Welti.