

ПОБУДОВА ТА АНАЛІЗ СИГНАЛІВ,
СФОРМОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСНИХ КОДІВ

Правда В. І., к.т.н., проф.; Бичков В. Є. ст.викл.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Фазоманіпульовані сигнали, які формуються на основі кодових послідовностей, досить широко використовуються у системах зв'язку, радіолокації та радіонавігації завдяки таким перевагам як: висока роздільна здатність за часом, висока завадостійкість і більша енергія, при відносно низькій потужності випромінювання [1]. Також системи, що використовують такі сигнали, відрізняються достатньо простотою побудовою тракту формування та обробки, на відміну від систем з багатопозиційною маніпуляцією.

Подібні сигнали повинні мати низький рівень бічних викидів кореляційної функції, що обумовлено вимогами щодо розрізнення цілей з різними значеннями ефективної поверхні розсіювання, а також завад, що виникають внаслідок багатоканального поширення. Ще однією вимогою до таких сигналів є простота формування та обробки.

Індексними називають бінарні коди, які утворюються шляхом використання першотвірних коренів та індексів за модулем простого числа [2]. Ці коди в сучасних системах достатньо широко використовуються, але їх основні характеристики є мало освіченими в літературі, що саме і стало приводом написання цієї роботи.

При формуванні кодів кожному цілому числу відповідає певна остача від ділення на m ; якщо двом іншим числам n та b відповідає одна і та ж остача r , то ці числа називають порівняльними за модулем m . Порівняльність чисел за модулем m записується:

$$a \cong b(\text{mod } m)$$

і читається: a порівняльне b за модулем m .

Числа, порівняльні за модулем m , утворюють клас чисел. Всім числам класу відповідає одна і та ж остача r ; тому всі числа класу можна подати у формі: $bt + r$, де числом b може бути будь-яке число. Відповідно, m різним значенням r відповідає m класів чисел за модулем m .

Будь-яке число класу називається лишком за модулем m по відношенню до всіх чисел цього ж класу. Лишок, одержаний при $b = 0$, дорівнює самому r і називається найменшим невід'ємним лишком.

Якщо наприклад взяти від кожного класу по одному лишку, одержимо повну систему лишків за модулем m . Як повну систему лишків використовують найменші невід'ємні — $0, 1, 2, \dots, m - 1$.

Цікавими є класи, для яких найбільший спільний подільник чисел кла-

су та модуля дорівнює одиниці. Якщо взяти від кожного такого числа по одному лишку, то одержуємо приведену систему лишків за модулем m . Звичайно приведену систему лишків виділяють з системи найменших невід'ємних значень: $0, 1, 2, \dots, m - 1$.

Якщо порівняння проводиться за модулем простого числа p (тобто m є простим числом і a некрратно p), то справедлива теорема Ферма:

$$a^{p-1} \cong 1 \pmod{m}.$$

Першотвірний корінь q за модулем простого числа p визначається наступним чином:

$$q^{p-1} \cong 1 \pmod{m}; \\ q^v \not\equiv 1 \pmod{p}, 1 \leq v \leq p-2.$$

Із визначення першотвірного кореня виходить, що коли v пробігає числа $0, 1, 2, \dots, p-1$, то q^v перебігає приведену систему лишків за модулем p , тобто $q^v \cong 1, 2, \dots, p-1 \pmod{p}$.

Для чисел a взаємно простих з p вводиться поняття індексу, аналогічного поняттю логарифма; при цьому першотвірний корінь грає роль, аналогічну до основи логарифма.

Якщо $n \cong q^v \pmod{p}$, $v \geq 0$, $(n, p) = 1$, то v називається індексом числа n за модулем p при основі q та позначається символом $v = \text{ind}_q n$ або просто $v = \text{ind } n$.

Будь-яке число n , взаємно просте з p має індекс v серед чисел ряду $0, 1, 2, \dots, p-2$.

Існують таблиці першотвірних коренів для простих чисел ≤ 4057 .

Формування біфазних сигналів на основі індексних кодів здійснюється в два етапи. На першому етапі будується кодова послідовність за допомогою таблиці індексів:

$$a_n = 1, \text{ якщо } \text{ind}_q n \text{ парне, або} \\ a_n = -1, \text{ якщо } \text{ind}_q n \text{ непарне.}$$

Через a_n позначається символ, який знаходиться на n -й позиції p -позиційного коду, $n = 0, 1, 2, \dots, p-1$.

На другому етапі, шляхом циклічної перестановки коду, сформованого на першому етапі, визначаються коди з найкращими кореляційними властивостями за мінімакним критерієм в класі всіх кодів, які утворюються циклічною перестановкою.

Також індексні коди можна формувати ще двома способами: за допомогою реєстрів зсуву з внутрішнім зворотнім зв'язком (так як і M -послідовності [3], але логічна функція зворотного зв'язку повинна ще включати і операцію множення за модулем два) і за допомогою реєстрів зсуву із зовнішньою логікою.

Автокореляційні функції даних сигналів представлені на рис. 1 (а) для $p = 53$ та на рис. 1 (б) для $p = 353$.

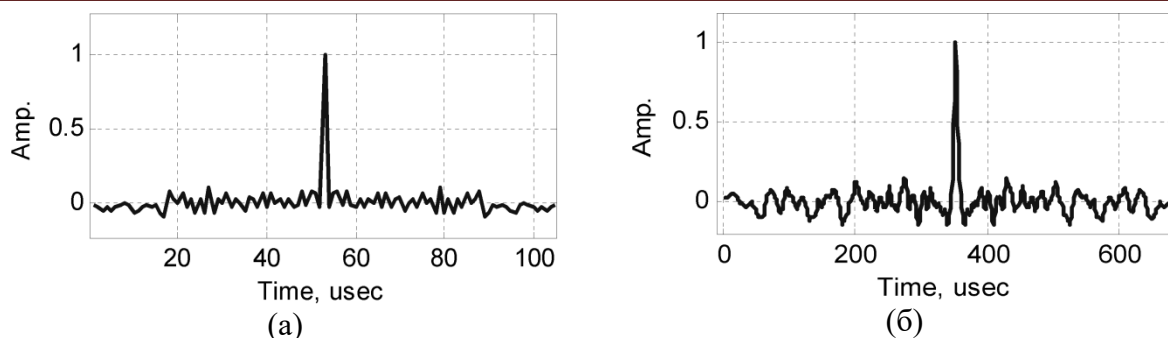


Рисунок 1. Автокореляційні функції даних сигналів: а — для $p = 53$, б — для $p = 353$.

Висновки

Виходячи з аналізу кореляційних функцій можна сказати, що індексні коди належать до класу мінімаксних послідовностей. Для великих значень p сформовані таким чином сигнали за мінімаксним критерієм є не гіршими від всіх відомих сигналів, що загалом дозволяє розширити загальний клас кодових послідовностей. Перевагою індексних кодів також є прості методи їх побудови. Максимальний рівень бічних викидів кореляційної функції обмеженої одним періодом послідовності не перевищує величини $\frac{1}{\sqrt{M}}$, де M — число символів в одному періоді послідовності.

Перелік посилань

1. Taylor J. D. Ultra-wideband radar technology / Taylor J. D. — Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. — p. 102 – 125.
2. Сумик М. М. Теорія сигналів / Сумик М. М., Прудіус І. Н., Сумик Р. М. — Львів, 2005. — с. 110 – 121.
3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. — М.: Радио и связь, 1985. — с. 49.

Анотація

Розглянуто основний спосіб формування фазоманіпульованих сигналів на основі індексних кодів, а також їх кореляційні властивості. В результаті дослідження було зроблено відповідні висновки щодо доцільності використання індексних кодів.

Ключові слова: бічні пелюстки, широкосмугові сигнали, індексні коди, кореляційна функція.

Аннотация

Рассмотрен основной способ формирования фазоманипулированных сигналов на основе индексных кодов, а также их корреляционные свойства. На основании проведенных исследований были сделаны соответствующие выводы о целесообразности использования индексных кодов.

Ключевые слова: боковые лепестки, широкополосные сигналы, индексные коды, корреляционная функция.

Annotation

The main way of generation of signals based on index codes and their correlation properties are examined. Relevant conclusions on the feasibility and features of using index codes were made on the basis of the research.

Keywords: sidelobes, spread spectrum signals, index code, correlation function.