

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОКАНАЛІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ І ЗВ'ЯЗКУ

М.В. Пастухов, Б.В. Остроумов, І.А. Лебедева
(Харківський університет Повітряних Сил)

Розглянуто питання, пов'язані з підвищенням завадостійкості радіоканалів телекомунікаційних систем (ТС) управління і зв'язку на основі використання нелінійних сигналів із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ-сигналів). Запропоновано алгоритм формування ППРЧ-сигналів.

завадостійкість, радіоканал, телекомунікаційна система, нелінійний сигнал із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти

Вступ. Рішення проблеми забезпечення необхідної якості передачі інформації в ТС управління і зв'язку пов'язують із сигналами, що володіють необхідними кореляційними, ансамблевими і структурними властивостями. Серед відомих систем сигналів, що вже знайшли застосування, значний інтерес представляють сигнали із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти [1].

Проблема підвищення завадостійкості радіосистем управління і зв'язку на основі використання ППРЧ-сигналів складної структури останнім часом одержала великий теоретичний і практичний розвиток [2, 3]. Однак ряд питань, пов'язаних з побудовою ТС зв'язку і управління з ППРЧ-сигналами, вимагає подальшого розвитку, що і є **метою даної статті**.

Алгоритми побудови оптимальних і квазіоптимальних систем ППРЧ-сигналів, як показано в [4], базуються на теорії полів Галуа. Вибір апарата полів Галуа обумовлений тим, що елементи поля $GF(p^a)$ приймають усі значення від 1 до $p - 1$, причому

$$a_i \in \{1, 2, \dots, p-1, p^n - 1\}, \quad (1)$$

де p – розмірність поля Галуа $GF(p^a)$; n – ступінь розширення поля Галуа.

Отже, вони можуть бути використані як елементи ППРЧ-сигналу.

Однак ППРЧ-сигнали, побудовані на основі полів Галуа, не забезпечують стійкості за критеріями відновлення закону формування сигналу. Для забезпечення необхідних структурних властивостей ППРЧ-сигналів необхідно перетворити поле Галуа. Для цього використовується метод, заснований на нелінійних переходах стану поля Галуа і його індексів. Вибір індексу поля, що є адресою частотного елемента, здійснюється з використанням лінійних і нелінійних рекурентних послідовностей.

Для ППРЧ-сигналів функції кореляції залежать від числа збігів елементів сигналу в дискретних точках. Значення рівня функції кореляції m -го і n -го сигналів визначається виразом

$$R^{mn}(\mathbf{I}) = \sum_{i=1}^L Z_i^{mn}(\mathbf{I}), \quad Z_i(\mathbf{I}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_i^m = a_i^n + 1; \\ 0, & \text{якщо } \mathbf{I} \in \{0, L-1\}. \end{cases} \quad (2)$$

При $n = m$ обчислюють періодичну функцію автокореляції, а при $n \neq m$ – періодичну функцію взаємної кореляції.

Величина $Z_i(\mathbf{I}) = 1$ за умови, що

$$\Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^i + 1) \rceil} = \Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^{i+1} + 1) \rceil} \pmod{q}. \quad (3)$$

Перетворимо вираз (3) до вигляду

$$\Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^i + 1) \rceil} - \Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^{i+1} + 1) \rceil} = \Theta \pmod{q}. \quad (4)$$

Нехай

$$\Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^i + 1) \rceil} \pmod{q} \geq \Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^{i+1} + 1) \rceil} \pmod{q},$$

тоді

$$\Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^i + 1) \rceil} \left(1 - \Theta_1^{\lceil \text{ind}(\Theta_2^{i+1} + 1) \rceil} \lceil \text{ind}(\Theta_2^i + 1) \rceil \right) = 0 \pmod{q}. \quad (5)$$

Вираз (5) дорівнює нулю тільки у випадку виконання рівності

$$\text{ind}(\Theta_2^{i+1} + 1) = \text{ind}(\Theta_2^i + 1). \quad (6)$$

Отже, кореляційні властивості нелінійного ППРЧ-сигналу будуть визначатися числом дозволених частотних елементів M і числом елементів у сигналі. На практиці, для забезпечення необхідної перешкодозахищеності, величина відношення L/M не перевищує значення 0,25. У ході досліджень був проведений аналіз функцій кореляції нелінійних ППРЧ-сигналів при різних значеннях L , M і періоду задаючої послідовності. Аналіз кореляційних властивостей нелінійних ППРЧ-сигналів показує, що застосування пропонованих систем сигналів дозволяє підвищити перешкодозахищеність і скритність радіомережі управління. Останнє досягається за рахунок невизначеності використання частотних елементів і неможливості формування їх сильно корельованої структурної перешкоди.

У запропонованому алгоритмі побудови ППРЧ-сигналів використовується нелінійна операція обчислення індексу в полі Галуа $GF(p^a)$, що робить безуспішною будь-яку спробу відновлення закону формування сигналу. Отже, стратегія придушення або імітації сигналу буде зводитися до випробування всіх можливих варіантів. Слід зазначити, що завадостійкість радіомережі управління буде істотно залежати від обраної

стратегії і пошуку. У випадку, якщо протилежна сторона аналізує структуру застосовуваних сигналів, важливе значення має розподіл частотних елементів за дозволим діпазоном [5].

Ввести нелінійність в алгоритм формування поля Галуа можна трьома різними способами:

- 1) поставити нелінійну функцію F на виході алгоритму одержання елементів поля Галуа;
- 2) об'єднати кілька полів Галуа $GF(p^a)$, $GF(p_1^a)$, $GF(p_2^a)$, ... за законом якоїсь нелінійної функції F ;
- 3) ввести нелінійну функцію F в алгоритми одержання елементів поля Галуа.

Аналіз запропонованих способів показує, що елемент Z_1 є відображенням елементів поля $GF(p_1^a)$ через нелінійну функцію F :

$$Z_1 = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_1, a_1, a_2, a_3, \dots, a_{p-1}) \quad (7)$$

У [5] показано, що алгоритм формування нелінійних сигналів із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти повинний базуватися на нелінійних переходах ind і елементів поля Галуа. Даний принцип побудови ППРЧ-сигналів представлений виразом

$$r_k = \Theta_1^{i + [\text{ind}\Theta_2^j + 1]} \pmod{p, q}, \quad (8)$$

де r_k – елемент ППРЧ-сигналу; Θ_1, Θ_2 – первісні елементи поля Галуа; p, q – модулі перетворення.

У ході досліджень був розроблений алгоритм побудови нелінійних сигналів із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти, що реалізує правило (8).

Суть алгоритму формування ППРЧ-сигналу полягає в наступному.

1. Формування полів Галуа $GF(p^a)$ і $GF(p_1^a)$
2. Генерування лінійної управляючої послідовності (УП).
3. Перетворення поля $GF(p^a)$ за модулем q .
4. Перетворення нелінійної УП у q -ічну послідовність.
5. Перетворення поля Галуа $GF(p_1^a)$.

5.1. Для порушення лінійної залежності між індексами та елементами поля робимо зсув за правилом

$$b_j = b_i + 1 \pmod{p_i}. \quad (9)$$

5.2. Операція обчислення індексів поля Галуа згідно виразу

$$d_j = \text{ind} b_i \pmod{p_1}. \quad (10)$$

5.3. Перетворення масиву індексів за модулем q .

6. Здійснення вибору індексу з масиву індексів за значенням нелінійної управляючої послідовності.
7. Визначення значення елемента r_k ППРЧ-сигналу.
8. Об'єднання елементів ППРЧ-сигналу.

Даний алгоритм дозволяє при виборі елементів полів $GF(p^a)$ і $GF(p_1^a)$ здійснити зсув з кроком n . При цьому здійснюється формування ППРЧ-сигналу необхідного періоду і необхідна кількість таких сигналів.

У процесі досліджень був проведений аналіз середніх значень частот нелінійних ППРЧ-сигналів. Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середнє значення частот нелінійних ППРЧ-сигналів

M	1024				4096			
L	8	16	32	128	8	16	32	128
m	499,7	521,7	517,4	510,0	2067,7	2061,3	2036,5	2054,4
M	16384				32768			
L	8	16	32	128	8	16	32	128
m	8167,2	8211,2	8209,2	8196,5	16121,3	16429,6	16481,1	16306,3

Дані табл. 1 свідчать, що запропоновані нелінійні ППРЧ-сигнали мають поліпшені структурні властивості і забезпечують необхідну базу сигналу.

Висновок. Таким чином, нелінійні ППРЧ-сигнали, які можна побудувати за запропонованим алгоритмом, мають поліпшені кореляційні і структурні властивості в порівнянні з відомими сигналами і дозволяють підвищити завадостійкість радіомережі ТС управління і зв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М. Сов. радио, 1978. – 304 с.
2. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1993. – 384 с.
3. Багульник А.Р., Мусаллян С.С. Построение нелинейных двоичных последовательностей // Радиотехника. – 1983. – Т. 26, № 4. – С. 19 – 27.
4. Стасев Ю.В., Пастухов Н.В., Ботюх Н.Г. Алгоритм построения нелинейных сигналов с ППРЧ // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1995. – С. 76 – 80.
5. Пастухов Н.В. Алгоритм формирования нелинейных сигналов с ППРЧ // Управление и связь. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1997. – С. 34 – 37.

Надійшла 25.02.2005

Рецензент: доктор технічних наук професор Ю.В. Стасєв,
Харківський університет Повітряних Сил.