

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ФОРМУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ КВАЗІОРТОГОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

А.М. Носик¹, О.М. Носик¹, В.В. Калачова²

(¹Науковий метрологічний центр військових еталонів, Харків,

²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

Проводиться аналіз алгоритмів синтезу сигналів на основі псевдовипадкових генераторів для завдання вимог щодо синтезу квазіортогональних систем сигналів із заданими кореляційними, структурними та ансамблевими характеристиками.

нелінійні квазіортогональні системи, сигнали, задані властивості

Постановка проблеми. Функціонування радіомережі управління залежить від характеристик ансамблів переданих повідомлень, виду перешкод і характеру взаємодії завад з переданими корисними сигналами, тому необхідно синтезувати ансамблі сигналів з низькою імовірністю помилки та можливістю нав'язування хибних сигналів (повідомлень) при фіксованих частотних і часових ресурсах каналу.

Аналіз публікацій. Аналіз публікацій щодо можливостей функціонування радіомереж управління, показав, що якість функціонування радіомережі управління залежить від кореляційних, структурних та ансамблевих властивостей використовуваних сигналів. Разом з тим, відомі системи сигналів не забезпечують необхідні значення імітостійкості та перешкодозахищеності радіомережі управління так, як вони мають незадовільні кореляційні, структурні й ансамблеві властивості. У [1 – 5] розглядається задача синтезу складних сигналів з заданими властивостями, проте у цих роботах розглядається задача синтезу сигналів тільки одного з необхідних показників з наступною оптимізацією по кількох параметрів [2].

У [4] запропонована процедура синтезу дискретних сигналів асимптотичними методами у спектральній області по періодичній функції кореляції, що дозволяє одержати непогані наближення до необхідних значень. Проте ці методи дозволяють синтезувати окремі сигнали, що мають необхідні періодичні функції кореляції. У [2, 6] запропоновані методи синтезу дискретних сигналів по функції невизначеності. Використання цих методів дозволяє одержати, двійкові сигнали східчастої форми, як у випадку синтезу дискретних сигналів по періодичній функції автокореляції.

Метод синтезу сигналів з необхідними спектральними властивостями, викладений у [6], дозволяє одержати сигнали з малим рівнем бокових пелюстків функції кореляції складового амплітудного спектра. Проте у [6] не враховуються ансамблеві і кореляційні властивості сигналів.

Ціль статті. У даній статті розглядається задача синтезу квазіортогональних систем сигналів з заданими кореляційними, структурними та ансамблевими характеристиками. На основі проведеного аналізу алгоритмів синтезу сигналів на основі псевдовипадкових генераторів, зроблені висновки щодо їх застосування при формуванні таких систем сигналів.

Основна частина. Проведені дослідження показали, що для перешкодозахищеної широкосмужної радіомережі управління найбільш небезпечною є структурна перешкода.

При впливі такої перешкоди у режимі розходження сигналів, як виходе з виразу для середньої ймовірності помилки $P_{\text{помсер}}$ [1]

$$P_{\text{помсер}} = 1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{E_c}{N_0} (1 - |R_{d\max}|)} \right), \quad (1)$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл імовірності, знижується якість різниці сигналів та зворотення їх параметрів. Ймовірність нав'язування сигналів, як виходить з (1), у свою чергу залежить від енергетичних співвідношень між корисним сигналом та нав'язаним сигналом, а також від систем кореляції та розмірності ансамблю використовуємих сигналів.

З огляду на ці факти, задача синтезу сигналів для радіомережі управління зводиться до синтезу великого ансамблю слабкорельованих між собою сигналів. Відзначимо, що зараз існують різноманітні напрямки синтезу дискретних сигналів для радіомережі управління.

Розглянемо основні алгоритми синтезу сигналів на основі псевдовипадкових генераторів.

1. Алгоритм середини квадрата і попереднього елемента сигналу.

Правило формування: $x_i = \begin{matrix} k \\ 1 \end{matrix} \lfloor x_{i-1} \rfloor_{3k+1}^{4k}$, де x_{i-1} – число розрядністю $2k$; $\begin{matrix} k \\ 1 \end{matrix} \lfloor \cdot \rfloor_{3k+1}^{4k}$ – операція виділення $2k$ елементів з числа розрядністю $4k$, при цьому розряди $1 \div k$ і $3k + 1 \div 4k$ відкидається.

Перевага – простота реалізації, **недоліки**: тенденція перетворення в короткі цикли повторюваних елементів і виродження; не забезпечується необхідна величина періоду сигналів; у сигналах спостерігається міжелементна залежність, що часом носить лінійний характер.

2. Алгоритм усікання.

Правило формування $x_i = \begin{matrix} k \\ 1 \end{matrix} \lfloor x_{i-1} x_{i-2} \rfloor_{3k+1}^{4k}$, де x_{i-1} , x_{i-2} – числа розрядніс-

ттю $2k; \frac{k}{1} \dots \frac{4k}{3k+1}$ – операція виділення $2k$ елементів із числа розрядністю $4k$, причому розряди $1 \div k$ і $3k + 1 \div 4k$ відкидаються.

Перевага – простота реалізації; **недоліки**: тенденція перетворення в короткі цикли повторюваних елементів і виродження; не забезпечується необхідна величина періоду сигналів; у сигналах спостерігається міжелементна залежність, що часом носить лінійний характер.

3. Алгоритм когерентного датчика.

Правило формування: $x_i = (ax_{i-1} + c) \pmod{M}$; $c = (\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\sqrt{3})M$, тобто

$$x_i = \begin{cases} ax_{i-1} \pmod{M}, & \text{при } c = 0; \\ (x_{i-1} + x_{i-2}) \pmod{M}, & \text{при } c \neq 0, \end{cases}$$

де $x_i - 1$ – початковий стан датчика; a_i – множник, $a_i > 0$; c – збільшення.

Переваги: статистичні властивості формованих сигналів добре вивчені і задовольняють більшості статистичних критеріїв; теорія перетворень дозволяє одержати поліпшення визначених характеристик сигналів; простота програмної реалізації; **недоліки**: низька структурна скритність сформованих сигналів; на параметри сигналу накладаються обмеження за величиною, що пов'язано з реалізацією методу на ЕОМ.

4. Рекурентний алгоритм.

Правило формування: $x_i = g(x_{i-1}) = (\beta + 1)(1 + \frac{1}{\beta}) \times \beta x_{i-1} (1 - x_{i-1})^\beta$, $1 \leq \beta \leq 4$.

Переваги: достатньо складні системи сигналів визначаються простими рівняннями; забезпечується достатньо висока складність сигналів, що генеруються; **недоліки**: на сьогодні не існує теоретично обґрунтованого періоду формованих сигналів; при деяких значеннях x_i є тенденція до виродження; програмна реалізація потребує великих обчислювальних витрат.

5. Алгоритм квадратів

Правило формування: $x_i = x_{i-1}^2 \pmod{N}$; $x_i'' = x_i \pmod{M}$, де N – добуток двох великих чисел.

Переваги (великий період і висока стійкість формованих сигналів виконується при виконанні таких умов): прості числа повинні задовольняти порівнянням виду:

$$P = 3 \pmod{4}; \quad Q = 3 \pmod{4};$$

прості числа повинні бути спеціального виду:

$$P = 2P_1 + 1; \quad P_1 = 2P_2 + 1; \quad Q = 2Q_1 + 1; \quad Q_1 = 2Q_2 + 1,$$

де P_1, P_2, Q_1, Q_2 – прості числа;

недоліки: відсутнє теоретичне обґрунтування залежності довжин формованих сигналів від P, Q, x_0 ; потрібну довжину сигналу можна забезпечити шляхом спеціального добору x_0 ; значні обчислювальні витрати на одержання одного сигналу.

6. Алгоритм перемішування.

Правило формування:

$$Z_i = (Z_{i-1})^2 - 2, \text{ для } Z_n \in [-2; 2];$$

$$x_i = (4/\pi) \arccos(Z_i/2) - 2 \text{ або } x_i = Z_i, \text{ без } n \text{ старших біт.}$$

Переваги: задовільні статистичні властивості; формовані сигнали мають великий період; **недоліки:** опора на арифметику з плаваючою точкою і на конкретний тип ЕОМ; відсутній теоретичний механізм винятку появи визначених значень Z_n ; низька структурна скритність.

7. Рекурентний алгоритм.

Правило формування:

$$b(t) = \sum_{s=0}^{P_3-1} C_s(t) V_s(t), \quad t = 0, 1, 2, \dots,$$

$$\text{де } C_s(t) = \begin{cases} 1, & t - s = 0 \pmod{P_3}; \\ 0, & t - s \neq 0 \pmod{P_3}, \end{cases} \quad s = 0, 1, \dots, P_3 - 1;$$

$$V_s(t) = a(t - \Phi(xt)), \quad t = 0, 1, 2, \dots, \quad s = 0, 1, \dots, P_3 - 1.$$

Перевага – простота апаратної реалізації; недолік – сигнали, що формуються, мають незадовільну структурну скритність.

8. Алгоритми теорії кліткових автоматів.

Правило формування:

$$A_i^{k+1} = a_{i-1} A_{i-1}^k \oplus a_i A_i^k \oplus a_{i+1} A_{i+1}^k,$$

де i – номер розряду автомата; k – номер такту функціонування автомата; A_i^k – стан i -го розряду автомата в k -й момент часу; a_j – коефіцієнт впливу j -го розряду автомата на наступний стан i -го розряду автомата ($a_j \in \{0,1\}$, $j \in \{i-1, i+1\}$); " \oplus " – булева операція.

Переваги: високий ступінь складності формованих сигналів; достатньо висока структурна скритність формованих сигналів; **недоліки:** не існує теоретичного обґрунтування залежності між параметрами автомата і довжиною періоду формованих сигналів; сигнали формуються з різними періодами, що залежать від початкового стану приладу; при збільшенні конструктивних параметрів автомата зменшується його продуктивність і ускладнюється його реалізація, особливо програмна.

Аналіз алгоритмів синтезу сигналів на основі псевдовипадкових генераторів показує, що при використанні даних алгоритмів можна одержати окремі сигнали, при цьому кореляційні, ансамблеві й структурні властивості таких сигналів до закінчення процедури синтезу визначити неможливо.

Висновки. Виходячи з проведеного аналізу алгоритмів синтезу сигналів на основі псевдовипадкових генераторів можливо зробити висновок про те, що серед відомих методів синтезу найбільше практичне застосування знайшли методи, що базуються на рекурентних поліноміальних співвідношеннях, що зумовлено простотою реалізації таких пристроїв, а також одержанням у ряді випадків сигналів з потрібними автокореляційними властивостями. Проте, слід відзначити низку недоліків:

– методи синтезу сигналів із заданими властивостями орієнтовані на алгоритми перебору всієї структури сигналу, що спричиняє значні часові витрати;

– методи синтезу не враховують структурні властивості синтезованих систем сигналів;

– розроблені методи синтезу сигналів, дозволяють одержувати тільки двійкові дискретні сигнали;

– ансамбль сигналу, взаємкореляційні, стикові і структурні властивості сигналів не можна визначити заздалегідь, до закінчення процедури синтезу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку необхідні та достатні умови існування дискретних сигналів із заданими кореляційними, ансамблевими та структурними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Стасев Ю.В. Основы теории построения сигналов. – Х.: МОУ, ХВУ, 1999. – 88 с.
3. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
4. Дядюнов Н.Г., Сенин А.И. Ортогональные и квазиортогональные сигналы. – М.: Связь, 1977. – 224 с.
5. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 375 с.
6. Тузов Г.И., Урядников Ю.Ф., Прытков В.И. и др. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации. / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1993. – 384 с.
7. Вакман Д.Е., Седелецкий Р.М. Вопросы синтеза радиолокационных сигналов. – М.: Сов. радио, 1973. – 312 с.

Надійшла 27.02.2006

Рецензент: доктор технічних наук, професор Ю.В. Стасев,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба.