

УДК 621.391

О.В. Антюхов, В.П. Лисечко, О.С. Жученко, К.А. Трубочанінова

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ПРОХОДЖЕННЯ КОРОТКИХ ВІДЕОІМПУЛЬСІВ В ПОСЛІДОВНОСТЯХ З ПОКРАЩЕНИМИ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

У статті вирішується задача визначення періодів проходження імпульсів в послідовностях відеоімпульсів з покращеними взаємокореляційними властивостями на основі функції Хевісайда та її властивостей. Був розроблений метод формування ансамблів кодових послідовностей з малою енергетичною взаємодією, що дозволяє формувати послідовності коротких відеоімпульсів. В основі методу лежить вираз, що дає можливість визначити період проходження імпульсів у кожній послідовності синтезованого ансамблю.

Ключові слова: відеоімпульс, ансамблі кодових послідовностей, імпульс.

Вступ

Постановка проблеми. Характерною рисою одночасної роботи близькорозташованих радіозасобів в одному частотному діапазоні є виникнення внутрішньосистемних завад. Тому питання електромагнітної сумісності постає гостро, особливо на сучасному етапі розвитку систем радіозв'язку багатостанційного доступу. Існуючі методи боротьби із внутрішньосистемними завадами не задовольняють вимогам за рівнем взаємних завад [1, 4 – 7]. Таким чином, існує необхідність модернізації тих, що використовуються і розробки нових методів боротьби із внутрішньосистемними завадами, що виникають при великому числі одночасно працюючих радіо засобів з метою вирішення задачі електромагнітної сумісності [2, 3].

Аналіз літератури. В літературі докладно розглядаються методи формування псевдовипадкових послідовностей, які широко застосовуються в системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. Особливістю деяких з них, а саме методу формування послідовностей коротких відеоімпульсів з покращеними взаємокореляційними властивостями, є необхідність визначення періодів проходження імпульсів. Цю задачу було розв'язано емпіричним шляхом, що підтверджено результатами експериментів, однак відсутнє теоретичне обґрунтування

рішення [2, 3]. Наявність такого розв'язання полегшить практичну побудову апаратних засобів формування та обробки послідовностей з покращеними взаємокореляційними властивостями і ансамблів складних сигналів на їх основі та забезпечить теоретичне підґрунтя для подальших процедур, пов'язаних із обробкою отриманих сигналів.

Метою статті є вирішення задачі визначення періодів проходження імпульсів в послідовностях відеоімпульсів з покращеними взаємокореляційними властивостями на основі функції Хевісайда та її властивостей.

Основний матеріал

Послідовність відеоімпульсів представимо у вигляді [6]

$$u_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_i], \quad (1)$$

де $k=1, \dots, n_i$ – кількість імпульсів в i -й послідовності, $i=1, \dots, L$; U_{k_i} – k -й елемент i -ї кодової послідовності, що приймає значення $[-1, 1]$; τ_i – тривалість імпульсу; $Q_i = T_i / \tau_i$ – шпаруватість i -ї послідовності імпульсів; T_i – період проходження імпульсів в i -й послідовності.

Функція $\text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_i]$ у виразі (1), має вигляд [7]:

$$\text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_i] = \begin{cases} 1, & \text{при } (kQ_i - 1)\tau_i \leq t \leq kQ_i\tau_i; \\ 0, & \text{при } (kQ_i - 1)\tau_i > t > kQ_i\tau_i. \end{cases} \quad (2)$$

Стикова функція взаємної кореляції (ФВК) послідовностей визначається виразом [4]:

$$R_{ij}(\tau) = \frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_{-T}^T u_i(t) u_j(t - \tau) dt, \quad (3)$$

де $u_i(t)$, $u_j(t)$ – i -а й j -а кодові послідовності відеоімпульсів, при цьому $i \neq j$; E_i і E_j – значення енергій відповідно i -ї і j -ї послідовностей; T – інтервал, на яко-

му визначені функції $u_i(t)$ і $u_j(t)$.

У [2] введено поняття мінімальної подоби двох послідовностей, яке полягає в тому, що незалежно від часового зсуву можливий збіг не більш ніж по одному імпульсі в кожній послідовності. Для виконання цієї умови ФВК i -ї і j -ї послідовностей не повинна перевищувати значення [4]:

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{n_i}, \quad (4)$$

де $n_i \leq n_j$ – кількість імпульсів у послідовностях.

В окремому випадку, для послідовностей з однаковою тривалістю, але з різною кількістю елементів ($n_i \neq n_j$), для визначення ФВК будемо використовувати вираження [4, 5]

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \quad (5)$$

Кодові послідовності коротких відеоімпульсів, що задовольняють умові мінімальної подоби будемо називати послідовностями з покращеними взаємореляційними властивостями.

Для виконання умов (4), (5) пропонується використовувати послідовності відеоімпульсів, які задовольняють таким вимогам [2]:

- кількість коротких імпульсів (n_i, n_j) у послідовностях $u_i(t)$ повинне бути неоднаковим ($n_i < n_j$);
- тривалості імпульсів у кожній послідовності рівні ($\tau_i = \tau_j$);
- періоди проходження імпульсів (T_i, T_j) у кожній послідовності підібрані таким чином, що $n_i T_i \approx n_j T_j \approx T$, причому шпаруватості кожної послідовності $Q_i > Q_j \gg 1$, при $n_i < n_j$.

На підставі зазначених обмежень було складено їх систему (6), до складу якої ввійшли вираження (1, 3, 5) при нульовому зсуві двох сигналів у часі відносно один одного ($R_{ij}(0)$, тобто $\tau=0$).

$$\left\{ \begin{array}{l} u_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \text{rect}[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_{ii}]; \\ u_j(t) = \sum_{k=1}^{n_j} U_{k_j} \text{rect}[t - (k \cdot Q_j - 1) \cdot \tau_{jj}]; \\ Q_i = \frac{T_i}{\tau_{ii}}; \\ Q_j = \frac{T_j}{\tau_{jj}}; \\ R_{ij}(0) = \frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_{-T}^T u_i(t) u_j(t) dt; \\ R_{ij}(0) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \end{array} \right. \quad (6)$$

З обмежень та системи рівнянь (6) впливає необхідність визначення періодів проходження імпульсів (T_i, T_j) у кожній послідовності, при цьому повинні виконуватися зазначені вимоги (3), (4), (5).

Для рішення даної системи (6) необхідно провести детальне дослідження кожного рівняння системи й тим самим установити оптимальний період (T) при рішенні всієї системи.

У сформованій системі рівнянь (6) використовується спрощена функція Хевісайда, значення якої дорівнює нулю для негативних аргументів і одиниці

для позитивних аргументів (7) [7, 8], так само її називають сходинкою положення. Функція представлена на рис. 1.

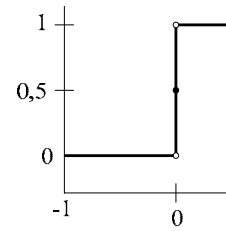


Рис. 1. Одинична функція Хевісайда

Функцію широко використовують у математичному апараті теорії обробки сигналів для представлення сигналів, що включаються в певний момент і залишаються включеними постійно. Найчастіше, значенням функції в 0 зневажають [9]:

$$f_{\text{hev}}(x) = \text{rect}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0; \\ 1, & \text{при } x \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Важливо відзначити наступні властивості функції Хевісайда. При нормованій прямокутній функції отримано наступне розв'язання [7]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}(x) dx = 1. \quad (8)$$

При множенні функцій саму на себе отримуємо трикутну функцію [8]:

$$\text{tri}(x) = \text{rect}(x) \cdot \text{rect}(x). \quad (9)$$

Функція (9) знайшла широке застосування, у теорії складних сигналів являючи собою ідеалізований сигнал трикутної форми.

У функцію rect можна апроксимувати за допомогою безперервної функції [8]:

$$\text{rect}(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh(yx) = \frac{1}{1 + e^{-2yx}}, \quad (10)$$

де більше значення y відповідає більш крутому підйому функції в точку $x = 0$.

У нашом випадку ми використовуємо спрощену функцію, де функція в нульовій точці дорівнює одиниці і якщо врахувати що в $\text{rect}(0) = 0,5$, одержуємо наступне рішення [8]:

$$\text{rect}(x) = \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{1}{2} (1 + \tanh yx) = \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{1}{2 + e^{-2yx}}. \quad (11)$$

Дослідження рішення (11) дає можливість застосувати дане рішення до рівняння (2), а, отже, і властивості, наведені вище справедливі для рішення системи рівнянь (6).

Сформульовані дані (6), спрощують рішення системи, тому що використовується нормована прямокутна функція. При цій умові на підставі (1) і (7) у i і j послідовностях максимальне значення приймається рівним одиниці, а мінімальне нулю, і при цьому вираз (1) зводиться залежності U_k , у певний

момент часу для кожної послідовності імпульсів.

З іншої сторони необхідно забезпечити дотримання умови (5). Для чого зіставимо (5) і (3):

$$\frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_{-T}^T u_i(t) u_j(t-\tau) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \quad (12)$$

У виразі (2) для безперервних функцій $\tau=0$, і для нормованих прямокутних імпульсів (ідеальний прямокутний імпульс), відповідно до виразів (8) і (9) інтеграл $\int_{-T}^T u_i(t) u_j(t)$ приймаємо рівним одиниці, отже (2) приймає вигляд:

$$\frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}; \quad (13)$$

$$2\sqrt{E_i E_j} \geq \sqrt{n_i n_j}.$$

Для подальшого обчислення необхідно ввести поняття енергії, що для коротких імпульсів одиначної амплітуди дорівнює:

$$E_i = U_i n_i \tau_u, \quad (14)$$

$$E_j = U_j n_j \tau_u.$$

З урахуванням енергії здійснимо розрахунки:

$$n_i n_j \leq 4 n_i \tau_u n_j \tau_u$$

$$1 \leq \frac{4 T_i T_j}{Q_i Q_j}$$

Отримаємо необхідний період проходження імпульсів j -ї послідовності:

$$T_j = \frac{n_i \tau_u Q_{\max}}{T}, \quad (15)$$

де T – тривалість послідовностей ансамблю; n_i – кількість елементів у послідовності $i=1 \dots L, (n_i \neq n_j, i \neq j)$;

$Q_{\max} = \frac{T}{\tau_u \cdot n_{\min}}$, де Q_{\max} – шпаруватість імпульсів у послідовності з мінімальною кількістю елементів n_{\min} [1, 3].

ВИСНОВОК

Таким чином, було розроблено метод формування ансамблів кодових послідовностей з малою енергетичною взаємодією, що дозволяє формувати послідовності коротких відеоімпульсів. В основі методу лежить вираз (5), що дає можливість визначити період проходження імпульсів у кожній послідовності синтезованого ансамблю. Всі послідовності з таких ансамблів мають низький рівень внутрішньосистемних завад, що визначається значеннями максимальних викидів бічних пелюстків взаємодіючих функцій сигналів, що взаємодіють [2].

Список літератури

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
2. Лысечко В.П. Метод определения параметров сложных сигналов / В.П. Лысечко // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 7. – С. 131-136.
3. Лысечко В.П. Метод борьбы с внутрисистемными радиопомехами / В.П. Лысечко, В.Н. Харченко // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 2. – С. 232-237.
4. Оганов Т.А. Помехоустойчивость инвариантного приема импульсных сигналов / Т.А. Оганов. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
6. Скляр Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Бернанд Скляр. – М. Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
7. Болотовский Б.М. Оливер Хевисайд / Б.М. Болотовский. – М. Наука, 1985. – 123 с.
8. Glover, I.; Grant, P. (2004). Digital Communications (2nd ed.). Pearson Education Ltd.

Надійшла до редколегії 12.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДА ПРОХОЖДЕНИЯ КОРОТКИХ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ С УЛУЧШЕННЫМИ ВЗАИМОКОРРЕЛЯЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

О.В. Антюхов, В.П. Лисечко, О.С. Жученко, К.А. Трубочанинова

В статье решается задача определения периодов прохождения импульсов в последовательностях видеоимпульсов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами на основе функции Хевисайда и ее свойств. Был разработан метод формирования ансамблей кодовых последовательностей с малым энергетическим взаимодействием, что позволяет формировать последовательности коротких видеоимпульсов. В основе метода лежит выражение, которое дает возможность определить период прохождения импульсов в каждой последовательности синтезированного ансамбля.

Ключевые слова: видеоимпульс, ансамбли кодовых последовательностей, импульс.

METHOD OF DETERMINATION OF PERIOD OF PASSING OF THE SHORT VIDEOPULSES IN SEQUENCES WITH THE IMPROVED INTER-CORRELATED PROPERTIES

O.V. Antyukhov, V.P. Lisechko, O.S. Zhuchenko, K.A. Trubchaninova

In the article the task of determination of periods of passing of impulses decides in the sequences of videopulses with the improved inter-correlated properties on the basis of function of Khevisayda and its properties. The method of forming of bands of code sequences was developed with small power co-operation, that allows to form the sequences of short videopulses. Method expression which enables to define the period of passing of impulses in every sequence of the synthesized band is underlaid.

Keywords: videopulse, bands of code sequences, impulse.