УДК 621.3.01

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Цей Кай, А.Б. Сорокин, к.т.н. А.Ю. Стрюк
(представил проф. А.В. Королев)

Предложен способ обнаружения сигнала при синхронизации систем связи с расширенным спектром частот, основанный на вейвлет-преобразовании.

Введение. Техника расширения спектра частот широко используется в современных системах связи, в том числе и военного назначения. При приеме сигналов с расширенным спектром одной из основных проблем является синхронизация. Процесс синхронизации включает два основных этапа: поиск синхронизирующей последовательности и процесс слежения.

Поиск синхронизирующей псевдослучайной последовательности (ПСП), в свою очередь, включает в себя обнаружение сигнала и поиск фазы. Эффективность алгоритма обнаружения оказывает значительное влияние на эффективность системы синхронизации в целом.

Современное состояние проблемы. На сегодняшний день для обнаружения сигналов синхронизации наиболее широко используется метод корреляционного обнаружения, при котором производится операция свертки принимаемого сигнала с эталонным сигналом на заданном интервале времени. Накапливаемая при этом на выходе коррелятора энергия должна превысить определенный уровень. Обнаружение сигналов синхронизации в канале с помехами требует увеличения интервала времени свертки для уменьшения ошибки обнаружения сигнала, что увеличивает общее время вхождения в синхронизм [1, 2].

Цель статьи и постановка задачи. Цель данной статьи – предложить и обосновать способ обнаружения сигнала при синхронизации систем связи с расширенным спектром частот, основанный на вейвлет-преобразовании (wavelet) [3 – 5]. Предлагаемый способ позволит сократить время обнаружения сигнала синхронизации и тем самым повысить эффективность системы синхронизации по сравнению с традиционными методами.

Функция автокорреляции ПСП, используемая для расширения спектра частот, определяется на периоде ее повторения. Но для последовательностей большой длины корреляционную оценку часто необходимо определять на части периода. Такую корреляционную оценку функции автокорреляции называют функцией автокорреляции в частных производных [1].

Математическое решение задачи обнаружения. Рассмотрим применение вейвлет-преобразования для определения функции автокорреляции ПСП. Предположим, что c(t) – код, расширяющий спектр частот. Функция автокорреляции такой последовательности в частных производных представляется в виде

$$R_C(\tau, t, T_\omega) = \frac{1}{T_\omega} \int_{t_0}^{t_0+T_\omega} c\,(t)\, c\,(t+\tau)\, dt\,, \qquad (1)$$

где T_ω – длительность периода корреляции; t_0 – время начала корреляции; c(t) – ПСП, используемая для расширения спектра; τ – рассогласование между принимаемой и эталонной ПСП.

Псевдослучайная последовательность c(t) может быть представлена как

$$u\,(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n p\left(t - nT_C\right), \qquad (2)$$

где $\{a_n\}$ – псевдослучайная последовательность; $p(t-nT_C)$ – импульс с единичной амплитудой и длительностью T_C.

Введем параметр $\gamma = t - t_0$, с учетом (2) выражение (1) примет вид

$$R_C(\tau, t, T_\omega) = \frac{1}{T_\omega} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m a_n \int_0^{T_\omega} p\left(\gamma + t_0 - mT_C\right) p\left(\gamma + t_0 + \tau - nT_C\right) d\gamma\,. \quad (3)$$

Выразим временные параметры выражения (1) через длительность импульсов ПСП, получим:

$$\tau = kT_C + \tau_\varepsilon;\ \ T_\omega = \omega T_C;\ \ t_0 = k'T_C\,.$$

При $n = m + k$ или $n = m + 1 + k$, и положив

$$\int_0^{T_\omega} p\left(\gamma + t - mT_C\right) p\left(\gamma + t + \tau - nT_C\right) d\gamma \neq 0\,,$$

выражение (3) может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} R_C(\tau_\varepsilon, k, k', \omega) = {} & \frac{1}{\omega T_C} \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m a_{m+k} \int_0^{\omega T_C} p\left(\gamma - (m-k')T_C\right) p\left(\gamma - (m-k')T_C + \tau_\varepsilon\right) d\gamma + \\ & + \frac{1}{\omega T_C} \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m a_{m+k+1} \int_0^{\omega T_C} p\,(\gamma - (m-k')\,T_C) p(\gamma - (m-k'+1)\,T_C + \tau_\varepsilon)\, d\gamma\,. \end{aligned} \qquad (4)$$

Для произвольного значения m:

– при $(m-k')\,T_C = \gamma = (m-k'+1)\,T_C - \tau_\varepsilon$)

$$\frac{1}{\omega T_C}\sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m a_{m+k}\int_0^{\omega T_c} p\,(\gamma-(m-k')\,T_C)\,p\,(\gamma-(m-k')\,T_C+\tau_\varepsilon)\,d\gamma\neq 0\,; \quad (5)$$

– при $(m+1-k')\,T_C-\tau_\varepsilon=\gamma=(m-k'+1)\,T_C$)

$$\frac{1}{\omega T_C}\sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m a_{m+k+1}\int_0^{\omega T_c} p(\gamma-(m-k')\,T_C)\,p(\gamma-(m-k'+1)\,T_C+\tau_\varepsilon)\,d\gamma\neq 0. \quad (6)$$

С учетом (5) и (6) выражение (4) примет вид:

$$R_C(\tau_\varepsilon,k,k',\omega)=\frac{1}{\omega T_C}\sum_{m=k'}^{\omega+k'-1} a_m a_{m+k}\int_{(m-k')T_C}^{(m+1-k')T_C} p(\gamma-(m-k')T_C)p(\gamma-(m-k')T_C+\tau_\varepsilon)d\gamma+$$

$$+\frac{1}{\omega T_C}\sum_{m=k'}^{\omega+k'-1} a_m a_{m+k+1}\int_{(m+1-k')T_C-\tau_\varepsilon}^{(m+1-k')T_C} p(\gamma-(m-k')T_C)p(\gamma-(m-k'+1)T_C+\tau_\varepsilon)d\gamma=$$

$$=\frac{1}{\omega}\sum_{m=k'}^{\omega+k'-1} a_m a_{m+k}\left(1-\frac{\tau_\varepsilon}{T_C}\right)+\frac{1}{\omega T_C}\sum_{m=k'}^{\omega+k'-1} a_m a_{m+k+1}\frac{\tau_\varepsilon}{T_C},$$

а при $\Theta\,(k,k',\omega)=\frac{1}{\omega}\sum_{m=k'}^{\omega+k'-1} a_m a_{m+k}$ получим

$$R_C(\tau_\varepsilon,k,k',\omega)=\left(1-\frac{\tau_\varepsilon}{T_C}\right)\Theta\,(k,k',\omega)+\frac{\tau_\varepsilon}{T_C}\Theta\,(k,k',\omega)\,.$$

Данное выражение показывает, что функция автокорреляции связана с оконной функцией Θ. Следовательно, функция автокорреляции определена в области пространство-время. Вейвлет-преобразование связывает пространственно-временную и частотную области [3], что позволяет использовать его для обнаружения сигнала при синхронизации ПСП [6].

Разработка структурной схемы обнаружителя. Система корреляционного обнаружения на основе вейвлет-преобразования показана на рис. 1.

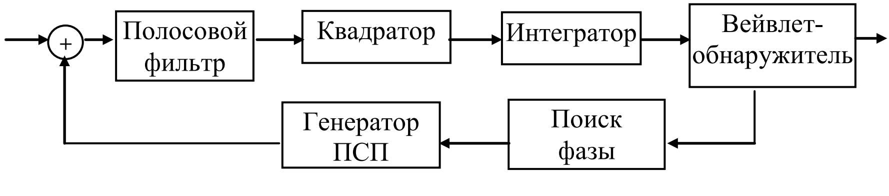

Рис. 1. Структурная схема вейвлет-обнаружителя

Для обнаружения автокорреляционного пика сигнала выбираем первую производную гладкой функции. Эта производная является функцией вейвлет-преобразования и записывается в виде [4]:

$$\Theta(\omega) = i\omega \left(\sin \frac{\omega}{4} \Big/ \frac{\omega}{4} \right)^4 .$$

Коэффициент передачи вейвлет-фильтра записывается в виде

$$G(\omega) = 4i\omega \, e^{\frac{i\omega}{2}} \left(\frac{\sin \omega}{2} \right)^3 ,$$

а его z-преобразование как

$$G(Z) = -2 + 8Z .$$

На первом этапе проводится оценка значений автокорреляции сигналов и накапливаются данные. Затем производится дискретное вейвлет-преобразование, вычисляется $|W|_{2j} f$ и сравнивается с заданным порогом $W_{пор}$. Выполнение условия $|W|_{2j} f > W_{пор}$ означает, что обнаружение состоялось.

Заключение. Таким образом, вейвлет-преобразование может быть эффективно использовано для решения задачи синхронизации в системах связи, использующих для расширения спектра псевдослучайные последовательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука, 1989. – 496 с.*
2. *Прокис Дж. Цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.*
3. *Воробьёв В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – С.-Пб.: Военный университет связи, 1999. – 204 с.*
4. *Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.:СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.*
5. *Vetterli M., Kovacevic Jel. Wavelets and subband coding. – New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995. – 437 p.*
6. *Dicaylo D.M., Weber C.L. Multiple dwell serial search performance and application to diets sequin code acquisition // IEEE Trans communication. – 1983. – 14. – P. 236 – 242.*

Поступила 31.03.2003

ЦЕЙ КАЙ, *преподаватель Чум-Чинского военного института связи (КНР). В настоящее время проходит обучение в Полтавском военном институте связи. Область научных интересов – системы и средства радиосвязи.*

СОРОКИН Андрей Борисович, *старший преподаватель Полтавского военного института связи. Область научных интересов – системы и средства радиосвязи.*

СТРЮК Алексей Юрьевич, *канд. техн. наук, доцент Полтавского военного института связи. Области научных интересов – методы и средства сжатия данных, приложения вейвлет-преобразования.*