

УДК 621.391.82

МОСКАЛЕНКО А.А., к.т.н. доцент кафедри комп'ютерної інженерії,
СОКОЛ Г.В., к.т.н. доцент кафедри комп'ютерної інженерії
(Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

Метод синтеза сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации

В работе представлен метод синтеза сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации; приведено порядок цифровой корреляционной обработки сигналов, синтезированных предложенным методом.

Ключевые слова: модуляция циклическим сдвигом кода, адаптивная модуляция, корреляционная обработка сигналов, быстрое преобразование Фурье.

Введение

Перспективными методами широкополосной модуляции являются МВОК (M-ary Biorthogonal Keying - M-ичная двоортогональная модуляция), СССК (Cyclic Code Shift Keying - модуляция циклическим сдвигом кода), ОСДМ (Orthogonal Code Division Multiplex - мультиплексирование сигналов с ортогональным кодовым уплотнением), ОФДМ (Orthogonal Frequency Division Multiplex - мультиплексирование сигналов с ортогональным частотным уплотнением). По результатам анализа данных методов модуляции установлено, что наилучшим методом является МВОК благодаря высокой устойчивости к помехам и многолучевого распространения радиоволн [1,2]. Другим перспективным методом есть СССК [3], она уступает МВОК за счет использования неортогонального алфавита сигналов и уязвимости к многолучевому распространению радиоволн. Изменяя методы формирования алфавита сигналов СССК-модуляции возможно исключить указанные недостатки [4,5]. В результате чего, модуляция циклическим сдвигом кода, в сравнении с МВОК, получает преимущество за счет обеспечения более высокой скорости передачи информации и простоты корреляционной обработки сигналов.

Но для удовлетворения требований к высокоскоростной передаче данных перспективные радиоинтерфейсы должны использовать частотный диапазон более эффективно, нежели известные радиотехнологии. А это предусматривает возможность использования многоуровневых форматов модуляции с высокой стойкостью к частотно-селективным замираниям, которые наблюдаются в широкополосном радиоканале. Поэтому, желательным свойством

методов модуляции сигналов, которые являются кандидатами на использование в перспективных радиоинтерфейсах, является возможность адаптации к условиям распространения радиоволн.

Постановка задачи исследования

Задача исследования заключается в адаптации к условиям распространения радиоволн путем использования сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода.

Основная часть

Метод модуляции циклическим сдвигом кода

При модуляции циклическим сдвигом алфавит сигналов образуется циклическими сдвигами единственной кодовой последовательности c_0, c_1, \dots, c_{L-1} (она же – опорный сигнал в корреляторе). Установив синхронизацию, приемник находит взаимокорреляционную функцию (ВКФ) зашумленного сигнала на входе с его опорной копией, определяет положение корреляционного максимума и номер сдвига, соответствующий тому или иному сигналу M-ичного алфавита.

Цифровая реализация СССК-демодулятора требует вычисления преобразования Фурье входного сигнала, его произведения с комплексно-сопряженным спектром опорного сигнала, а затем обратного преобразования Фурье полученного результата. Все основные операции такой обработки выполняются БПФ-процессором и имеют порядок сложности $O(L \cdot \log_2 L)$, что дает существенную экономию вычислительных ресурсов приемника (рис. 1).

© А.А. Москаленко, Г.В. Сокол, 2013

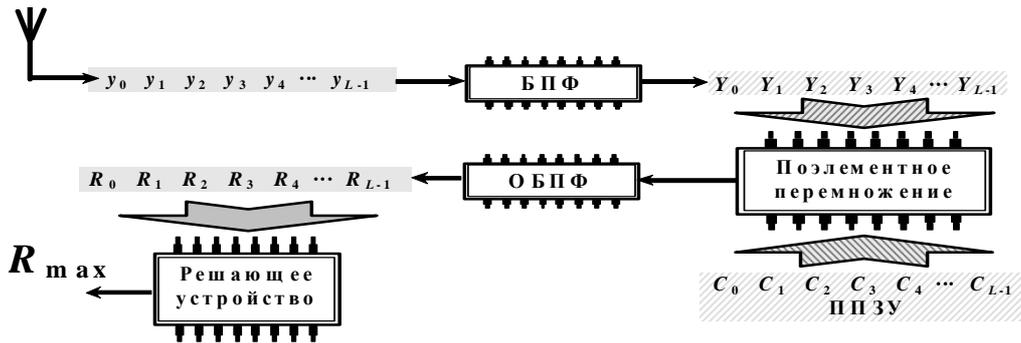


Рис. 1. Алгоритм демодуляции CCSK в цифровом сигнальном процессоре

Здесь $y_i = x_i + n_i$ – отсчеты смеси “сигнал + шум”, Y_i , C_i и R_i – отсчеты ДПФ входного колебания, опорного сигнала и их ВКФ, соответственно, $i=0, \dots, L-1$.

Очевидно, что метод CCSK не налагает каких-либо ограничений на структуру обрабатываемых сигнальных последовательностей. Единственным рекомендуемым свойством является малость боковых лепестков периодической автокорреляционной функции (ПАКФ); при больших L число таких последовательностей очень велико.

Метод адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации

При формировании сигналов адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации учитываются параметры среды распространения радиоволн в следствии чего изменяется скорость передачи информационных бит. Это происходит путем

оценивания основных параметров среды распространения и выдачи управляющих сигналов на изменения скорости передачи информации передатчику и приемнику.

При использовании предложенного метода модуляции скорость передачи информации может находиться в пределах:

$$\frac{1}{\tau \cdot N} \leq V \leq \frac{\log_2 N}{\tau \cdot N},$$

где τ – длительность чипа; N – длина последовательности расширения спектра сигналов; V – скорость передачи информации.

Пример правил формирования сигналов адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации для кодовой последовательности длиной 8 бит приведен на рис. 2.

№ сдвига	Кодовая последовательность	Для скорости $\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$	Для скорости $\frac{(\log_2 N - 1)}{\tau \cdot N}$	Для скорости $\frac{(\log_2 N - 2)}{\tau \cdot N}$
0-сдвиг	$c_0c_1c_2c_3c_4c_5c_6c_7$	000	00	0
1-сдвиг	$c_1c_2c_3c_4c_5c_6c_7c_0$	001		
2-сдвиг	$c_2c_3c_4c_5c_6c_7c_0c_1$	010		
3-сдвиг	$c_3c_4c_5c_6c_7c_0c_1c_2$	011	01	1
4-сдвиг	$c_4c_5c_6c_7c_0c_1c_2c_3$	100		
5-сдвиг	$c_5c_6c_7c_0c_1c_2c_3c_4$	101	10	1
6-сдвиг	$c_6c_7c_0c_1c_2c_3c_4c_5$	110		
7-сдвиг	$c_7c_0c_1c_2c_3c_4c_5c_6$	111	11	

Рис. 2. Правила формирования сигналов адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации

При формировании сигналов на максимальной скорости передачи информации ($\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$) каждая

тройка информационных бит заменяется одним из восьми сдвигов кодовой последовательности расширения спектра сигналов, как и при классической схеме CSSK-модуляции.

Рассмотрим пример, когда поступила команда на изменение скорости передачи информации до $\frac{\log_2 N - 1}{\tau \cdot N}$. В этом случае, сигнал формируется

следующим образом. Каждая двойка информационных бит заменяется только 1, 3, 5 и 7 сдвигами в соответствии с рис. 2. Сигналы при других скоростях передачи информации формируются аналогично.

Корреляционная обработка сигналов адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации

Корреляционная обработка предложенных сигналов предусматривает вычисление преобразования Фурье входного сигнала, а также его произведение с комплексно-сопряженным спектром опорного сигнала, и обратного преобразования Фурье полученного результата, что практически аналогично обработке сигналов с модуляцией циклическим сдвигом кода. Разница заключается в принципе работы решающего устройства.

Пример правил функционирования решающего устройства цифрового корреляционного приемника сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации приведено на рис. 3.

№ сдвига	Корреляционная матрица	Для скорости $\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$	Для скорости $\frac{\log_2 N - 1}{\tau \cdot N}$	Для скорости $\frac{\log_2 N - 2}{\tau \cdot N}$
0-сдвиг	8 0 0 0 0 0 0 0	000	00	0
1-сдвиг	0 8 0 0 0 0 0 0	001		
2-сдвиг	0 0 8 0 0 0 0 0	010		
3-сдвиг	0 0 0 8 0 0 0 0	011	10	1
4-сдвиг	0 0 0 0 8 0 0 0	100		
5-сдвиг	0 0 0 0 0 8 0 0	101		
6-сдвиг	0 0 0 0 0 0 8 0	110	11	
7-сдвиг	0 0 0 0 0 0 0 8	111		

Рис. 3. Правила функционирования решающего устройства цифрового корреляционного приемника сигналов адаптивной CSSK-модуляции

В данном случае, при максимальной скорости передачи информации ($\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$) корреляционная

обработка предложенных сигналов аналогична обработке сигналов с модуляцией циклическим сдвигом кода. Каждой тройке информационных бит соответствует одно состояние корреляционной матрицы.

При скорости передачи информации $V = \frac{\log_2 N - 1}{\tau \cdot N}$ каждой двойке информационных бит соответствует два состояния корреляционной матрицы.

При скорости передачи информации $V = \frac{\log_2 N - 2}{\tau \cdot N}$ каждому информационному биту соответствует четыре состояния корреляционной матрицы.

Корреляционная обработка сигналов при других скоростях передачи информации выполняется аналогично.

Заключение

В работе предложен метод синтеза сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации, а также способ обработки сигналов, синтезированных с использованием предложенного метода. Их использование позволит гибко адаптировать параметры перспективных радиоинтерфейсов к условиям распространения радиоволн, сохраняя максимальные скорости передачи данных и минимальную сложность цифровой корреляционной обработки на приеме.

Направлением дальнейших исследований является получение характеристик помехоустойчивости, структурной и энергетической скрытности

усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации.

Литература

1. M. Webster et al., "Proposal for a high speed PHY for the 2.4 GHz band," IEEE P802.11-98/47, Jan. 1998.
2. Fisher et al., "DS-UWB physical layer submission to 802.15 task group 3a," IEEE P802.15-04/01373r3, July 2004.
3. G.M. Dillard et al., Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems., vol. AES-39, July 2003, pp. 786 -798.
4. Гепко И.А. Новый класс ортогональных кодов для телекоммуникационных систем CDMA и метод их корреляционного приема, минимизирующий вычислительную сложность цифрового сигнального процессора /И.А. Гепко, А.А. Москаленко// Зв'язок. – 2007. - № 6. – С. 33-39.
5. Гепко И.А. Свойства ортогональных сигналов с прямым расширением спектра на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма их корреляционной обработки /И.А. Гепко, А.А. Москаленко// Радиоэлектроника (Изв. вузов). – 2008. – № 1-2. – С. 49-60.

Москаленко А.О., Сокол Г.В. Метод синтеза сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации. В роботі представлено метод синтезу сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації; приведено порядок цифрової кореляційної обробки сигналів, синтезованих запропонованим методом.

Ключові слова: модуляція циклічним зсувом коду, адаптивна модуляція, кореляційна обробка сигналів, швидке перетворення Фур'є.

Moskalenko A.A., Sokol G.V. Method of improved modulation signal synthesis by means of cyclic code phase with information transfer rate adaptation. The method of improved modulation signal synthesis by means of cyclic code phase with information transfer rate adaptation is presented in the article. The order of digital correlation processing of signals, synthesized by the offered method, has been given.

Keywords: modulation by means of cyclic code phase, adaptive modulation, correlation processing of signals, fast Fourier transform.

Рецензент д.т.н., профессор Приходько С.И. (УкрГАЗТ)

Поступила 06.06.2013г.