

Исследование взаимнокорреляционных свойств и помехозащищенности сигнально-кодовых конструкций в радиоканалах группового управления при реализации множественного доступа с кодовым разделением каналов

А. С. Гарагуля, В. С. Куликов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Аннотация. В статье рассмотрены основные способы реализации множественного доступа с кодовым разделением каналов, которые могут использоваться для реализации группового управления. Синтезирована сигнально-кодовая конструкция, позволяющая реализовать групповое управление объектами на основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов. Исследованы ее корреляционные свойства, осуществлено сравнение их с сигналами стандартов CDMAone и WCDMA. Рассмотрена помехозащищенность предлагаемой сигнально-кодовой конструкции при воздействии шумовых помех.

Ключевые слова: кодовое разделение сигналов, групповое управление, псевдослучайные последовательности, множественный доступ, помехозащищенность

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует достаточно широкий класс задач, в которых необходимо осуществлять управление множеством объектов с использованием ограниченного числа средств управления. Эти задачи могут быть решены с помощью методов группового управления, в которых радиоэлектронное средство (РЭС) управления осуществляет одновременную передачу информации нескольким объектам с использованием специальной сигнально-кодовой конструкции (СКК), разработанной на основе методов множественного доступа с кодовым разделением каналов. Несомненным достоинством такой (СКК) является возможность эффективного распределения ресурсов радиоканала между большим количеством потребителей [1].

При реализации группового управления с применением метода множественного доступа каждому абоненту присваивается определённый код из ансамбля ортогональных (или почти ортогональных) кодовых конструкций, что обеспечивает адресный прием управляющих воздействий соответствующим абонентом [2].

В ходе исследования был проанализирован опыт применения технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов: Наиболее широкое применение данная технология получила в сфере

мобильной связи, наиболее проработанными являются протоколы IS-95 (CDMAone) и WCDMA [2].

Множественный доступ с кодовым разделением каналов в CDMAone реализуется за счёт ортогональных последовательностей Уолша, синтезированных с частью более длинной (по сравнению с последовательностью Уолша) M -последовательности, позволяющей улучшить корреляционные свойства кодовой конструкции [2].

В протокол WCDMA для обеспечения множественного доступа с кодовым разделением каналов используется несколько видов псевдослучайных последовательностей (ПСП): коды Голда, большие и малые последовательности Касами. Статистические свойства этих ПСП рассмотрены в [3], наибольший интерес представляет ансамбль кодов Голда, при длительности $L = 63$.

В данной статье авторами предлагается кодовая конструкция, синтезированная на основе сложения по модулю два ансамбля кодов Голда длины (2^6-1) и равного им сегмента более длинной последовательности максимальной длины (M -последовательности) $(2^{30}-1)$.

Предполагается, что полученная кодовая конструкция по своим свойствам будет превосходить кодовую конструкцию, реализованную в протоколах CDMAone и WCDMA.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ВЗАИМНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ АНСАМБЛЕЙ ПСП ДЛЯ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА С КODOVЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Для уверенного разделения каналов управления необходимо чтобы каждая пара ПСП существенно отличалась друг от друга. Степень отличия последовательностей друг от друга определяется функцией взаимной корреляции, предпочтение отдается функциям, обладающим наименьшими значениями уровней боковых выбросов. Для статистической оценки функции взаимной корреляции используют следующие характеристики [3]:

- максимальное значение бокового пика R_{\max} ;

- среднее значение модулей боковых пиков:

$$m_{|R|} = \frac{1}{2L} \sum_{i=-(L-1)}^{L-1} |R_i|; \quad (1)$$

где L – длина кода, R_i – значения боковых пиков.

- среднее квадратичное значение боковых пиков R_i :

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{2L} \sum_{i=-(L-1)}^{L-1} R_i^2; \quad (2)$$

- среднее квадратичное значение модулей боковых пиков:

$$\sigma_{|R|}^2 = \sigma_R^2 - m_{|R|}^2. \quad (3)$$

В табл. 1 приведены в ненормированном виде характеристики аperiodических функций взаимной корреляции исследуемых кодовых конструкций. Значения характеризуют превышение параметрами R_{\max} , σ_R , $m_{|R|}$, $\sigma_{|R|}$ уровня \sqrt{L} , равного $\sqrt{L} = 7,94$ в случаях кодов Голда и синтезированного кода; $\sqrt{L} = 8$ в протоколе CDMAone.

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

	R_{\max}/\sqrt{L}	$m_{ R }/\sqrt{L}$	σ_R/\sqrt{L}	$\sigma_{ R }/\sqrt{L}$
CDMAone	3,38	0,71	6,38	5,73
Коды Голда	2,39	0,64	5,71	5,11
Синтезированный код	3,28	0,67	6,1	5,43

Результаты, представленные в табл. 1, позволяют сделать вывод, что синтезированная кодовая конструкция имеет корреляционные свойства лучше, чем используемая в протоколе CDMAone. Так, превышение максимального значения бокового пика уровня \sqrt{L} у синтезируемого ансамбля меньше на 0,1, превышение среднего значения модулей боковых пиков меньше на 0,04, превышение среднее квадратичного значения боковых пиков меньше на 0,28, превышение среднее квадратичного значения модулей боковых пиков меньше на 0,3, чем в ансамблях CDMAone. При этом незначительный проигрыш в значении соответствующих характеристик на 0,89, 0,03, 0,39 и 0,32 уровня \sqrt{L} кодам Голда компенсируется значительно большим объемом ансамбля синтезируемых последовательностей, что позволяет организовать передачу управляющих воздействий значительно большему числу управляемых объектов.

Значения характеристик аperiodических функций взаимной корреляции в виде гистограмм представлены на рис. 1.

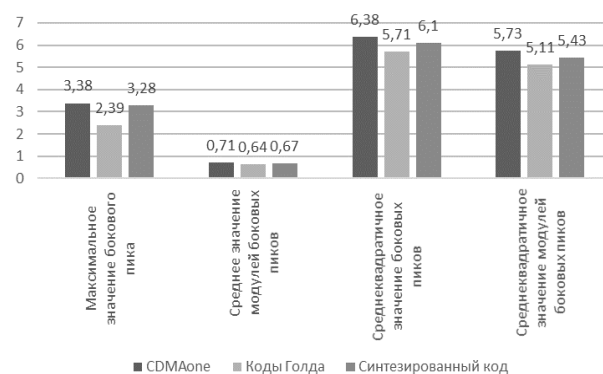


Рис. 1. Сравнительная гистограмма характеристик аperiodических функций взаимной корреляции

III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОЙ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ШУМОВОЙ ПОМЕХИ

Основным параметром, характеризующим помехозащищенность системы, является значение вероятности ошибки на бит информации. В современных радиоканалах управления широко используется двоичная фазовая манипуляция (с изменением фазы на 180°) [4, 5].

Вероятность ошибки двоичного фазоманипулированного сигнала при когерентном приеме определяется с помощью выражения [4]:

$$P_{0б} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi(\sqrt{2q}) \right], \quad (4)$$

где: q – отношение энергии одного бита к спектральной плотности средней мощности аддитивного белого гауссовского шума E_b/N_0 ,

$\Phi(x)$ – функция Крампа [5]:

$$\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du. \quad (5)$$

Для повышения помехозащищенности радиоканала группового управления предлагается использовать методы расширения спектра, а именно метод прямой последовательности, при котором сигнал модулируется умножением на расширяющий кодовый сигнал.

В настоящее время частотный диапазон перегружен источниками радиоизлучения. На вход приемного устройства управляемого объекта попадает значительное количество мешающих радиосигналов, оказывающих негативное влияние на прием. Наибольший практический интерес представляет воздействие широкополосных шумовых помех. В этом случае помехозащищенность системы описывается следующим выражением [5]:

$$P_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{2q}{1+(q(J/S)/K)}}\right) \right], \quad (6)$$

где K – коэффициент расширения спектра сигнала, J/S – отношение мощности помехи к мощности полезного сигнала.

На рис. 2 представлены зависимости вероятности ошибки от отношения энергии бита к спектральной плотности средней мощности шума при воздействии широкополосной шумовой помехи. Отношение мощности помехи к мощности сигнала J/S составляет 10 дБ. Используется расширение спектра прямой последовательностью длительностью 31, 63, 127 элементов.

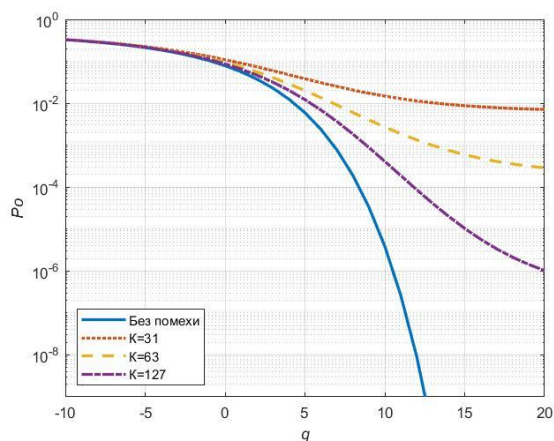


Рис. 2. Вероятности ошибки на бит от отношения энергии бита к спектральной плотности средней мощности шума при воздействии широкополосной шумовой помехи

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что чем больше коэффициент расширения спектра K (длиннее расширяющая последовательность) используется в СКК, тем большую помехозащищенность в условиях воздействия широкополосных шумовых помех обеспечивается.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ возможности использования множественного доступа на основе кодового разделения каналов для синтеза СКК группового управления. Предложена кодовая конструкция, синтезированная с помощью ансамбля

кодов Голда длины 2^6-1 и равных им сегментов M -последовательности длины $2^{30}-1$. Исследованы ее корреляционные свойства, произведен их сравнительный анализ с используемыми в настоящее время в протоколах CDMAone и WCDMA. Установлено, что предлагаемая кодовая конструкция имеет корреляционные свойства лучше, чем используемая в протоколе CDMAone, но незначительно хуже, чем в протоколе WCDMA. Несомненным ее достоинством, по сравнению с используемыми в протоколе WCDMA кодами Голда, является значительно больший возможный объем ансамбля синтезируемых последовательностей, что позволяет реализовать управление значительно большим числом объектов.

В ходе исследования помехозащищенности предлагаемой сигнально-кодовой конструкции были получены результаты, позволяющие сделать вывод о целесообразности использования расширения спектра методом прямой последовательности, что существенно снижает вероятность ошибки при воздействии широкополосной шумовой помехи. Применение последовательности с коэффициентом расширения спектра 127, при значении $J/S = 10$ дБ и $q=15$ дБ, снижает вероятность ошибки в 1000 раз, по сравнению с сигналом расширенным 31 элементом. Таким образом, предлагаемая СКК кодовая конструкция может применяться в радиоканалах группового управления на основе множественного доступа с кодовым разделением каналов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кузнецов В.С. Генерация ансамблей кодов Голда для систем прямого расширения спектра // Труды МАИ. 2017.
- [2] Никитин Г.И. Применение функций Уолша в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов. СПб.: СПбГУАП, 2003. 86 с.
- [3] Ряховский Е.П. Шумоподобные сигналы в каналах управления космическими аппаратами. Часть 1. Свойства и принципы формирования. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. 146 с.
- [4] Ряховский Е.П. Шумоподобные сигналы в каналах управления космическими аппаратами. Часть 2. Принципы применения. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. 223 с.
- [5] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Вильямс, 2007. 1104 с.