

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СХЕМЫ ПРИЕМА OFDM-СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ С ПАМЯТЬЮ

Бельский К.А., Слипечук К.С.

Одним из основных путей развития и совершенствования мобильной связи является повышение спектральной эффективности. В системах сотовой связи широкое распространение получила технология ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM). Повышение помехоустойчивости классической схемы приема сигналов OFDM позволит увеличить спектральную эффективность.

Ключевые слова: спектральная эффективность, модуляция КАМ-16, технология OFDM, канал с памятью.

Введение

Спектральная эффективность системы мобильной связи, характеризующая скорость передачи информации в заданной полосе частот, является показателем качества услуг связи и использования частотного ресурса. Одним из основных путей развития и совершенствования мобильной связи является повышение спектральной эффективности.

В системах сотовой связи широкое распространение получила технология ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) для целей доступа к широкополосному каналу, это обусловлено известными положительными свойствами OFDM, возможность реализации которых подразумевает малое временное рассеяние передаваемого сигнала в канале связи. Это позволяет повысить скорость передачи на каждой поднесущей (при медленных изменениях параметров канала) в соответствии со значением отношения «сигнал/помеха», что и дает повышение спектральной эффективности системы, уменьшая сложность реализации за счет использования дискретного преобразования Фурье (ДПФ) по сравнению с другими используемыми системами обработки принимаемых сигналов.

Формирование сигналов системы OFDM

Технология ортогонального частотного мультиплексирования OFDM основана на формировании многочастотного сигнала, состоящего из множества поднесущих частот, отличающихся на величину $\Delta f = |\omega_n - \omega_{n-1}| / 2\pi$, выбранную из условия ортогональности сигналов на соседних поднесущих частотах ω_n – n -ая поднесущая частота.

Для формирования OFDM-сигнала поток последовательных информационных символов разбивается на блоки, содержащие N символов. Далее блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, в котором каждый информационный символ соответствует определенной поднесущей частоте многочастотного сигнала. При этом длительность символа увеличивается в N раз.

Преобразование сигнала из временной области в частотную происходит на основе ДПФ, реализуемого через БПФ. На рис. 1 показано частотно-временное представление OFDM-сигнала.

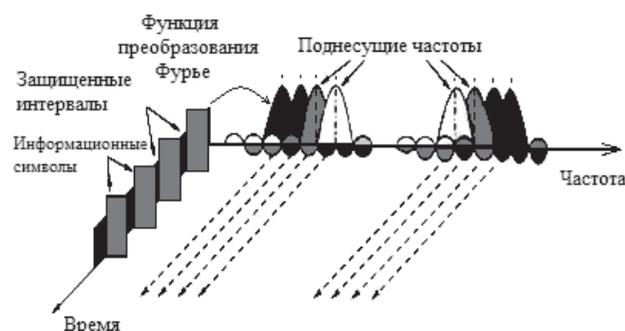


Рис. 1. Частотно-временное представление OFDM-сигнала [1]

Как следует из рис. 1, структура сигнала по оси времени на каждой поднесущей организована так, чтобы в месте приема исключить возникновение межсимвольной интерференции (МСИ), возникающей из-за временного рассеяния переданного сигнала, обусловленного многолучевым характером распространения радиоволн. Если интервал временного рассеяния соизмерим с длительностью импульса на каждой поднесущей и к тому же между импульсами предусмотрены защитные интервалы, то влиянием МСИ можно пренебречь, что и делается в существующих системах обработки OFDM-сигнала в месте приема. OFDM-сигнал представляет собой сумму поднесущих гармонических колебаний, каждая из которых модулируется своим подпотоком передаваемых символов с использованием квадратурной амплитудной модуляции КАМ и др.

Рассмотрим квадратурную амплитудную модуляцию КАМ-16, которая совместно с техноло-

гией OFDM используется в современных сетях мобильной связи.

Пусть на входе КАМ-модулятора наблюдается последовательность кодовых символов b_i . Затем четыре кодовых символа преобразуются в \dot{d}_i -комплексное число, характеризующее одну из 16 сигнальных точек, где амплитуда $|\dot{d}_i|$ и фаза $\arg(\dot{d}_i)$ i -го поднесущего колебания. Таким образом, если число ортогональных поднесущих равно N , то значения отсчетов комплексной огибающей OFDM-символа длительности T запишутся в виде [1]:

$$\dot{u}_k(t_l) = \sum_{i=0}^{N-1} \dot{d}_i \exp\left\{j \frac{2\pi i}{T} (t_l - t_k)\right\}, i=0;1;2 \dots N-1; \quad (1)$$

$$t_l = t_k + l\Delta t, \Delta t = \frac{T}{N-1},$$

где N – число ортогональных поднесущих. Данная последовательность отсчетов получается с помощью ОДПФ. Совокупность отсчетов $\dot{u}_k(t_l)$ последовательно во времени передается по каналу связи. При отсутствии временного рассеяния в месте приема для решения задачи оценки символа \hat{d}_i достаточно было бы совершить прямое ДПФ совокупности отсчетов $\dot{u}_k(t_l)$.

Каналы с МСИ характеризуются памятью канала M – длительностью импульсной реакции канала, выраженной числом тактовых интервалов. При наличии явно выраженного временного рассеяния τ и памяти канала $M = \frac{\tau}{\Delta t}$ можно утверждать, что на любой отсчет $\dot{u}_k(t_l)$ на приеме будет оказывать воздействие каждый из $(M-1)$ предшествующих отсчетов.

Если импульсная характеристика канала отлична от единичной функции и определяется отсчетами g_0, g_1, \dots, g_{M-1} , то на приемной стороне

вектор отсчетов принимаемых сигналов запишется в виде

$$\mathbf{U}' = \mathbf{G}\mathbf{U} + \mathbf{W}, \quad (2)$$

где $\mathbf{U} = [\dot{u}_0, \dot{u}_1, \dots, \dot{u}_{N-1}]^T$; $\mathbf{W} = [w_0, w_1, \dots, w_{N+M-1}]^T$ – вектор шумовых отсчетов;

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} [g] & & & 0 \\ & [g] & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & [g] \end{bmatrix}; g = [g_0, g_1, \dots, g_{M-1}]^T.$$

Если отсчеты и шумы достаточно велики, импульсная характеристика канала связи отлична от единицы, то применение классической схемы приема OFDM-сигнала, основанной на использовании процедуры вычисления ДПФ, нецелесообразно вследствие увеличения вероятности ошибок принимаемых сигналов.

Помехоустойчивость схемы приема OFDM-сигналов в канале с памятью

Одним из привлекательных свойств классической схемы приема OFDM является нечувствительность к расширению задержки многолучевого сигнала [1]. Данное свойство обеспечивается за счет введения в структуру сигнала защитного временного интервала, но стоит заметить, что это приводит к снижению скорости передачи и уменьшению спектральной эффективности.

При моделировании исследованию подвергается помехоустойчивость классической схемы приема OFDM-сигналов в канале с рассеянием. Проводилось исследование статистическим моделированием структурной схемы обработки сигнала OFDM с помощью Matlab. На рис. 2 изображена структурная схема моделируемой системы обработки сигналов OFDM в канале с памятью.

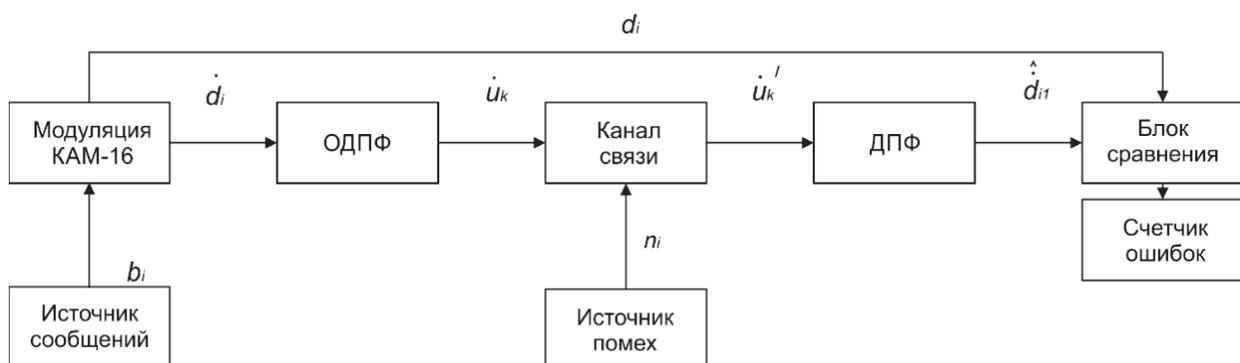


Рис. 2. Структурная схема моделирования обработки сигнала OFDM в канале с памятью

Согласно структурной схеме последовательность двоичных кодовых символов b_i преобразуется с помощью квадратурной амплитудной модуляции КАМ-16.

КАМ-символ в системах радиосвязи переносит несколько кодовых бит, в данном случае 4, которым соответствует комплексное число, представляющее амплитуду и начальную фазу. Дальнейшее формирование OFDM-символа основано на использовании обратного преобразования Фурье совокупности КАМ-символов. Таким образом, формируется комплексная огибающая OFDM – символа $\dot{u}_k(t_i)$.

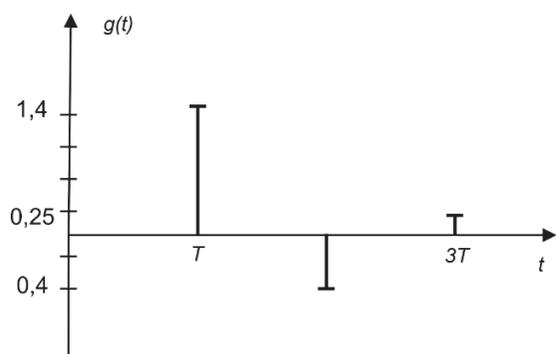


Рис. 3. Отсчеты импульсной характеристики моделируемого канала связи

Свойства канала связи характеризуются импульсной характеристикой $g(t)$ (см. рис. 3), которая предполагается известной в месте приема благодаря тестовым комбинациям в структуре группового сигнала.

Результаты моделирования приведены на рис. 4. Кривая 1 соответствует исследованию зависимости частоты ошибок от отношения «сигнал/шум» для модели канала с аддитивным гауссовским шумом без МСИ, кривая 2 – при наличии МСИ. Для получения достоверных результатов моделирования число испытаний для каждой точки на кривых рис. 4 выбиралось согласно закону больших чисел.

Анализ результатов моделирования, проведенного для различных типов каналов, позволяет сделать выводы:

- при отношении мощности сигнала к мощности ошибки $P_c/P_{ош} = 20$ дБ энергетический проигрыш частоты ошибок составляет $4,45 \cdot 10^{-2}$;
- при частоте ошибок на символ равной 10^{-3} энергетический проигрыш отношения «сигнал/шум» составляет 6 дБ.

Преодолеть влияние интерференционных искажений, обусловленных памятью канала, можно вводя дополнительную обработку сигнала [2] в месте приема, уменьшающую действия МСИ. Таким образом, данная обработка позволит повысить помехоустойчивость процесса демодуляции и сохранить спектральную эффективность системы OFDM.

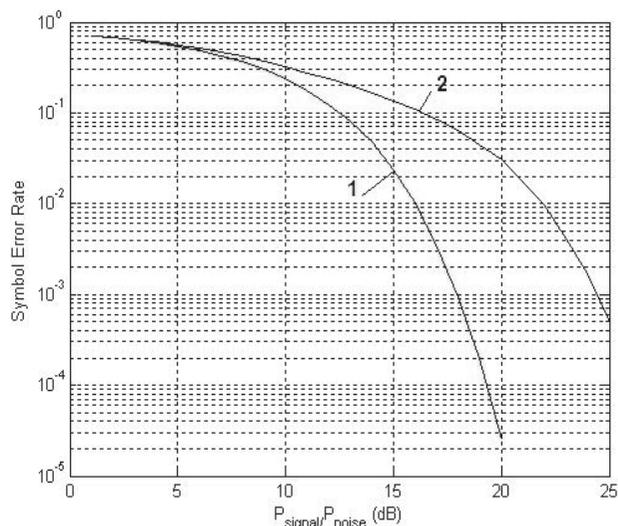


Рис. 4. Помехоустойчивость классической схемы приема OFDM в канале с памятью (кривая 1 – канал без памяти, кривая 2 – канал с памятью)

Заключение

Исследование классической схемы приема сигналов OFDM в канале с памятью позволяет оценить помехоустойчивость и нецелесообразность ее применения при условии существования МСИ. При отношении «сигнал/шум», равном 20 дБ, изменение вероятности ошибки происходит от уровня 10^{-5} в канале без памяти до уровня $42 \cdot 10^{-2}$ в канале с памятью.

Литература

1. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. М.: Экотрендз, 2005. – 392 с.
2. Карташевский В.Г. Обработка пространственно-временных сигналов в каналах с памятью. М.: Радио и связь, 2000. – 272 с.
3. Карташевский В.Г., Мишин Д.В. Прием кодированных сигналов в каналах с памятью. М.: Радио и связь, 2004. – 239 с.

Belsky K.A., Slipenchuk K.S.

The technology of orthogonal frequency OFDM multiplexing is hosed on for motion of multi frequency signal. The block of consistent information symbols converts in block of parallel symbols; in which every information symbol satisfy certain frequency of the multi frequency signal. Increasing the spectral efficiency of the OFDM system will facilitate the development of advanced mobile networks.

Keywords: the spectral efficiency, the OFDM modulation, the QAM modulation, the memory channel.

Бельский Кирилл Александрович, магистрант Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности (МСИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-927-201-92-79. E-mail: masterjeedi@gmail.com

Слипенчук Кристина Сергеевна, аспирант Кафедры МСИБ ПГУТИ. Тел. (8-846) 333-32-04. Email: slipenchuk-ks@psuti.ru

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.396.67

ПОСТРОЕНИЕ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТРАФИКА

Линец Г.И., Фомин Л.А., Говорова С.В., Меденец В.В.

Для построения мультисервисных сетей предлагается использование модели СМО типа $M/M/n/m$ и достижение инвариантности сети к структуре обрабатываемого трафика за счет его преобразования и использования свойства инвариантности формы дифференциала вероятности и независимости переменных.

Ключевые слова: управление, случайный процесс, самоподобный поток пакетов, функциональные преобразования, мультисервисная сеть, преобразование трафика.

Введение

Основу конкурентоспособности сетей связи составляет стабильное качество обслуживания пользователей. Под качеством услуг связи понимается суммарный эффект от параметров обслуживания, который определяет степень удовлетворения пользователей услугами связи (рекомендация E.800 МСЭ). В связи с созданием сетей нового поколения (NGN) на первое место выходит принцип отделения функций образования служб/услуг от транспортных функций. По сути, речь идет об интегрированных мультисервисных широкополосных услугах и методологий предоставления гарантированного качества услуг (SLA). Здесь под широкополосностью понимается возможность гибкого и динамического изменения скорости передачи информации в

широком диапазоне в зависимости от текущих потребностей пользователя, а мультисервисность означает независимость технологий предоставления услуг от транспортных технологий. Все сказанное относится не к сети, а к службе, сеть же может обеспечить только услугу транспортировки сообщений.

Мультисервисная сеть (МСС) – это инфраструктура, использующая единый канал для передачи данных разных типов трафика. Она позволяет уменьшить разнообразие типов оборудования, применять единые стандарты и единую кабельную систему, централизованно управлять коммуникационной средой для предоставления наиболее полного спектра услуг.

Постановка задачи

На основании вышеизложенного сформулируем ряд требований, которым должна отвечать идеальная МСС. Такая сеть должна:

- эффективно использовать сетевые ресурсы;
- обеспечивать высокое качество обслуживания мультимедийного трафика;
- быть инвариантной к структуре трафика.

Наиболее полно такая сеть может быть реализована на основе использования системы массового обслуживания (СМО) общего вида $M/M/n/m$. Эта модель СМО достаточно хорошо разработана и позволяет решить задачу эффективного ис-