

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

Тиленбаев А.К.

ГАС при ПКР, Бишкек, Кыргызстан, eakr.info@gmail.com

Аннотация: В статье изложены методы повышения эффективности использования частотного спектра.

Ключевые слова: радиоспектр, модуляция, частотный спектр, сигнал-шум.

METHODS FOR IMPROVING EFFICIENCY USING THE FREQUENCY SPECTRUM

Tilenbaev A.K.

State Agency under the PKR, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation: The article describes methods for improving the efficiency of using the frequency spectrum.

Key words: radio spectrum, modulation, frequency spectrum, signal-to-noise.

Использование более совершенных радиотехнологий долгое время являлось основным способом повышения эффективности использования частотного ресурса. К основным радиотехнологическим методам повышения эффективности использования частотного спектра относятся следующие методы.

1. Модуляции высокого порядка.

В первых цифровых беспроводных системах связи передачи данных использовались простейшие методы модуляции. Как правило, это модуляция GMSK, которая позволяет передавать один бит информации за одну посылку.

В последних стандартах используются методы модуляции высокого порядка: QAM-16 или QAM-64. Адаптивная модуляция позволяет мобильной системе приспосабливать схему модуляции сигнала в зависимости от уровня отношения сигнал-шум (SNR) в радиоканале. Если радиоканал имеет высокое качество, то используется самая высокая схема модуляции, давая системе дополнительную емкость. С затуханием сигнала, система может изменить схему модуляции на более помехоустойчивую, чтобы поддержать качество обслуживания и стабильность канала. Эта особенность позволяет системе преодолевать избирательное затухание. Ключевая особенность адаптивной модуляции в том, что она увеличивает диапазон так, что может использоваться более высокая схема модуляции, т.е. система может изменять фактические условия затухания, в отличие от фиксированной схемы, которая планируется для наихудшего случая [6].

Дополнительными инструментами физического уровня для повышения эффективности использования радиоспектра служат измерение качества канала и автоматическое управление мощностью сигнала. Во многих случаях, в силу ограниченности частотного ресурса, невозможно достичь больших пропускных способностей за счет увеличения ширины полосы частот.

Применение высокоуровневых схем модуляции позволяет увеличить емкость радиоканалов, но в то же время это приводит к ухудшению энергетических характеристик радиотрактов и, следовательно, к меньшей надежности. Вместо

использования фиксированной схемы модуляции с целью предоставления гарантированной пропускной способности и необходимых показателей надежности при любых погодных условиях, индексы модуляции, а соответственно, и пропускная способность, увеличиваются, когда это позволяют сделать условия на тракте.

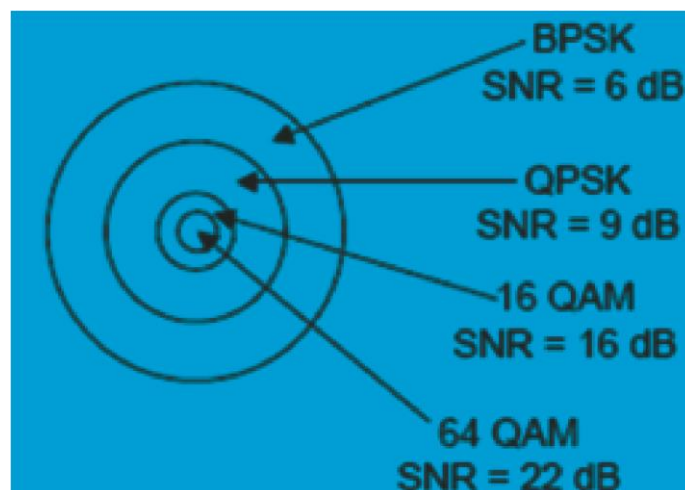


Рис.1. Предпочтительный метод модуляции в зависимости от отношения сигнал-шум

В случае типового радиоканала это означает, что будет доступна большая пропускная способность в течение 99,5% времени.

Адаптивная модуляция означает динамическое изменение индексов модуляции с целью увеличения пропускной способности радиоканала в зависимости от условий на тракте.

За счет использования менее надежных, но более эффективных схем модуляции, доступный запас на замирание может быть преобразован в большую пропускную способность. В этом и заключается суть адаптивной модуляции, динамически подстраивающей модуляцию под условия на тракте. При использовании адаптивной модуляции совместно с функциями QoS и приоритизации трафика, имеется возможность устанавливать высокий приоритет важному трафику, передача которого тем самым будет осуществляться с максимальной надежностью при любых условиях; ухудшение условий будет сказываться только на низкоприоритетном трафике.

В стандарте IEEE 802.16-2004 используется технология множественного доступа с разделением по времени, согласно которой базовая станция выделяет абонентским станциям временные интервалы, чтобы они могли передавать данные в определенной очередности, а не случайным образом.

Для реализации дуплексного режима обмена данными используются две технологии: дуплексный режим с разделением по времени нисходящего и восходящего потоков и дуплексный режим с разделением по частотам.

На основе приведенного материала можно сформулировать основные проблемы, которые необходимо будет решить в ходе исследований, это определение наиболее подходящих типов модуляции для работы с большой скоростью пропускания, установление необходимого коэффициента дуплексной передачи для расширения полосы и нахождение наиболее удовлетворяющего размера циклического префикса для соотношения скорость-качество.

2. Помехоустойчивое кодирование.

Простейшие блочные или сверточные коды, которые использовались в первых беспроводных системах передачи данных, в более современных стандартах заменены на сложные составные помехоустойчивые коды с итеративным механизмом декодирования и использованием мягких решений в работе декодера.

В современных системах связи существует необходимость повышения пропускной способности, например, в сотовых системах связи, высокоскоростных локально-вычислительных сетях и др. Пропускная способность может быть увеличена с помощью расширения полосы частот или повышения излучаемой мощности.

Тем не менее, применимость этих методов имеет недостатки, так как из-за требований биологической защиты и электромагнитной совместимости повышение мощности и расширение полосы частот ограничено.

Поэтому, если в системах связи возможные повышения излучаемой мощности и расширение полосы частот не обеспечивают необходимую скорость передачи данных, то одним из самых эффективных способов решений этой проблемы может быть применение адаптивных антенных решёток со слабо коррелированными антенными элементами. В турбо-кодах блоки имеют длину порядка нескольких Кбит. Цель такой длины состоит в том, чтобы эффективно рандомизировать последовательность, идущую на второе кодирующее устройство. Чем длиннее размер блока, тем лучше его корреляция с сообщением первого кодера, то есть корреляция мала. Среди всех практически используемых современных методов коррекции ошибок турбо-коды и коды с низкой плотностью проверок на чётность наиболее близко подходят к границе Шеннона, теоретическому пределу максимальной пропускной способности зашумленного канала.

Турбо-коды позволяют увеличить скорость передачи информации, не требуя увеличения мощности передатчика, или они могут быть использованы для уменьшения требуемой мощности при передаче с заданной скоростью.

Важным преимуществом турбо-кодов является независимость сложности декодирования от длины информационного блока, что позволяет снизить вероятность ошибки декодирования путём увеличения его длины [9].

Основной недостаток турбо-кодов — это относительно высокая сложность декодирования и большая задержка которые делают их неудобными для некоторых применений. Но, например, для использования в спутниковых каналах этот недостаток не является определяющим, так как длина канала связи сама по себе вносит задержку, вызванную конечностью скорости света.

Ещё один важный недостаток турбо-кодов — сравнительно небольшое кодовое расстояние (то есть минимальное расстояние между двумя кодовыми словами в смысле выбранной метрики). Хотя сложность используемых алгоритмов турбо-кодирования и недостаток открытого программного обеспечения препятствуют внедрению турбо-кодов, в настоящее время многие современные системы используют турбо-коды.

В связи с непрерывным ростом количества мобильных абонентов, беспроводных сетей передачи данных и требований пользователей к высокой скорости доступа в Интернет растёт потребность в частотных ресурсах.

Повышение спектральной эффективности за счет внедрения передовых радиотехнологий имеет большую стоимость, необходима замена оборудования на

стороне оператора связи и всех мобильных терминалов. Переход к каждому следующему стандарту сотовой связи вынуждает операторов связи строить новую сеть, а абонентов – покупать новые мобильные устройства.

3. Доступ к физической среде.

Методы доступа к физической среде определяют эффективность, с которой абонентам выдается определенный физический ресурс сети. Если сначала использовались простейшие механизмы распределения ресурсов (FDD или TDD), которые выделяли абоненту фиксированный частотный или временной ресурс, то теперь используется более гибкие методы выделения ресурсов.

Они позволяют динамически в процессе сессии выделять абонентам определенный ресурс и забирать его после освобождения.

В системах с ЧРК используются каналные сигналы, частотные спектры которых располагаются в неперекрывающихся частотных полосах. Формирование каналных сигналов осуществляется при помощи АМ, ЧМ или ФМ так, чтобы средние частоты спектров каналных сигналов соответствовали средним частотам отведенных полос каждого канала.

В приемной части разделение каналов осуществляется набором частотных фильтров, каждый из которых пропускает спектр частот, принадлежащий только данному каналному сигналу. Достоинства ЧРК – это максимальная плотность каналов в занимаемой полосе частот.

Такие системы можно применять для любых видов систем связи. Недостатки ЧРК – это использование аналогового сигнала при передаче сообщения, низкая помехоустойчивость при передаче на дальние расстояния, сложная конструктивная реализация систем, слабая защита от несанкционированного доступа к информации.

Метод резервирования времени, основанный на резервировании времени, принадлежит к числу наиболее ранних и простых. Любая рабочая станция осуществляет передачу только в течение временных интервалов (слотов), заранее для нее зарезервированных. Все слоты распределяются между станциями либо поровну (в неприоритетных системах), либо с учетом приоритетов, когда некоторые рабочие станции за фиксированный интервал времени получают большее число слотов. Станция, владеющая слотом, получает канал в свое полное распоряжение.

Такие методы целесообразно применять в сетях с малым числом абонентских систем, так как канал используется неэффективно.

Метод множественного доступа с временным разделением широко используется в спутниковых сетях связи. Главная (эталонная) станция принимает запросы от вторичных (подчиненных) станций на предоставление канала связи и, реализуя ту или иную дисциплину обслуживания запросов, определяет, какие именно станции и когда могут использовать канал в течение заданного промежутка времени, т.е. предоставляет каждой станции слот. Получив слот, вторичная станция осуществляет временную подстройку, чтобы произвести передачу данных за заданный слот. Мультиплексная передача с временным разделением использует жесткое расписание работы абонентов: каждой станции выделяется интервал времени (слот) использования канала связи, и все интервалы распределяются поровну между станциями. Во время слота станция получает канал в свое полное распоряжение. Этот способ отличается простотой в реализации и широко применяется в глобальных и локальных сетях. К недостаткам метода можно отнести: - возможность неполного использования канала, когда станция, получив слот, не

может загрузить канал полностью из-за отсутствия необходимого объема данных для передачи;

- нежелательные задержки в передаче данных, когда станция, имеющая важную и срочную информацию, вынуждена ждать своего слота или когда выделенного слота недостаточно для передачи подготовленных данных и необходимо ждать следующего слота.

Метод передачи маркера широко используется в сетях с магистральной (шинной), звездообразной и кольцевой топологией.

Право на передачу данных станции получают в определенном порядке, задаваемом с помощью маркера, который представляет собой уникальную последовательность бит информации (уникальный кадр).

Магистральные сети, использующие этот метод, называются сетями типа "маркерная шина", а кольцевые сети – сетями типа "маркерное кольцо". В сетях типа "маркерная шина" доступ к каналу обеспечивается таким образом, как если бы канал был физическим кольцом, причем допускается использование канала не кольцевого типа (шинного, звездообразного).

Право пользования каналом передается организованным путем.

Маркер (управляющий кадр) содержит адресное поле, где записывается адрес станции, которой предоставляется право доступа в канал. Станция, получив маркер со своим адресом, имеет исключительное право на передачу данных (кадра) по физическому каналу. После передачи кадра станция отправляет маркер другой станции, которая является очередной по установленному порядку владения правом на передачу. Каждой станции известен идентификатор следующей станции.

Станции получают маркер в циклической последовательности, при этом в физической шине формируется так называемое логическое кольцо.

Все станции "слушают" канал, но захватить канал для передачи данных может только та станция, которая указана в адресном поле маркера. Работая в режиме прослушивания канала, принять переданный кадр может только та станция, адрес которой указан в поле адреса получателя этого кадра.

В сетях типа "маркерная шина", помимо передачи маркера, решается проблема потери маркера из-за повреждения одного из узлов сети и реконфигурации логического кольца, когда в кольцо добавляется или из него удаляется один из узлов.

Преимущества такого метода доступа:

- не требуется физического упорядочения подключенных к шине станций, т.к. с помощью механизма логической конфигурации может быть обеспечен любой порядок передачи маркера станции, т.е. с помощью этого механизма осуществляется упорядочение использования канала станциями;

- имеется возможность использования в загруженных сетях;

- возможна передача кадров произвольной длины.

Это схема модуляции, использующая множество несущих. Канал делится на несколько субканалов или subcarrier (русский аналог «поднесущая»). В OFDM высокоскоростной поток данных конвертируется в несколько параллельных битовых потоков меньшей скорости, каждый из которых модулируется своей отдельной несущей. Все это множество несущих передается одновременно.

Главное преимущество OFDM заключается в том, что продолжительность символа во вспомогательной несущей значительно больше в сравнении с задержкой распространения, чем в традиционных схемах модуляции. Это делает OFDM гораздо устойчивее к межсимвольной интерференции.

4. Антенные системы.

В первых системах использовались традиционные антенные системы, когда одна антенна работала на передачу и одна на прием. В последних стандартах нашли свое применение многоантенные системы, когда передача или прием могут осуществляться несколькими антенными системами.

В современных системах связи существует необходимость повышения пропускной способности, например, в сотовых системах связи, высокоскоростных локально-вычислительных сетях и др. Пропускная способность может быть увеличена с помощью расширения полосы частот или повышения излучаемой мощности. Тем не менее, применимость этих методов имеет недостатки, так как из-за требований биологической защиты и электромагнитной совместимости повышение мощности и расширение полосы частот ограничено.

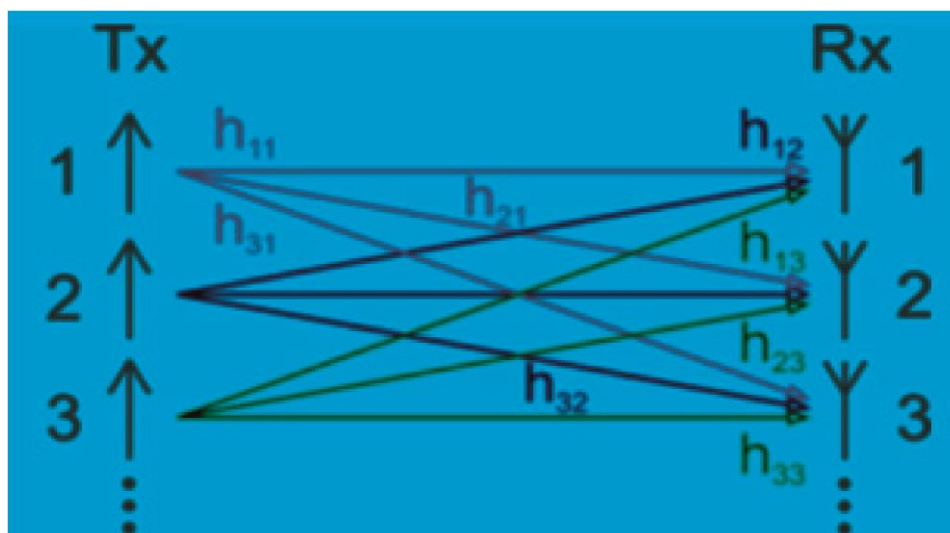


Рис.2. Модель канала MIMO

Таблица 1

Характеристики беспроводных сетей передачи данных

Стандарт системы связи	Спектральная эффективность	Методы модуляции	Помехоустойчивое кодирование	Метод доступа к физической среде	Антенные системы	Максимальная скорость передачи данных
2.5G (GPRS)	0.17	GMSK	Сверточный код	TDMA	SISO	171,2 кбит/с
2.75G (EDGE)	0.33	GMSK, 8-PSK	Сверточный код	TDMA	SISO	474 кбит/с
UMTS Rel.99	0.4	QPSK	Сверточный и турбокод	CDMA	SISO	2 Мбит/с
LTE Rel.8	DL-5, UL-2,5	QPSK, 64-QAM, 16QAM	Турбокод	OFDMA S-OFDMA	MIMO	326/4 Мбит/с : (DL)

Поэтому если в системах связи возможные повышения излучаемой мощности и расширение полосы частот не обеспечивают необходимую скорость передачи данных, то одним из самых эффективных способов решений этой проблемы может быть применение адаптивных антенных решёток со слабо коррелированными антенными элементами. На рисунке 2 показана модель канала ММО.

Использование более совершенных радиотехнологий позволило значительно увеличить спектральную эффективность в системах связи: от 0.45 бит/с/Гц до 5 бит/с/Гц (для максимального случая – ММО 4x4,20МГц).

Но повышение спектральной эффективности за счет внедрения передовых радиотехнологий имеет большую стоимость.

В настоящее время необходимо учитывать, что некоторые параметры, за счет которых достигались значительные улучшения спектральной эффективности, уже достигли своего физического предела. Например, использование нескольких антенн для систем ММО часто бывает невозможным в силу физического ограничения размера телефона, использование методов модуляции выше QAM-64 пока не нашло практического применения в стандартах сотовой связи, так как требуется хорошее отношение сигнал-шум и большая чувствительность приемника.

Использованная литература

1. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 384 с.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Инновационный анализ технологий беспроводного широкополосного доступа//Телеком/Сети и средства связи. – Специальный выпуск. Сети доступа. – №1. 2007, – С.86-93.
3. Fantacci, R., Marabissi, D., Tarchi, D., Habib, I., Dept. of Electron. &Telecommun., Univ. of Florence, Firenze, Italy «Adaptive modulation and coding techniques for OFDMA systems»; IEEE Transactions on Wireless Communications, September 2009, vol.8,iss. 9, pp. 4876. – 4883с.
4. Марченко С. Источники уязвимостей в сетях беспроводной связи // АДЭ. 2004. № 13.
5. Тихвинский В., Нургожин Б., Управление качеством услуг в сетях WiMAX// Информационные Телекоммуникационные Сети. 2008. - № 10. – С. 26-32.
6. Чегринцев В.А. Wi-Fi, WiMAX –реалии эффективногоQoS/Материалы международной конференции WirelessBroadband 2007, www.wirelessbroadband.ru.
7. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 400 с.
8. Техническая документация стандарта IEEE 802.16d на WiMAXForum: <http://wimaxforum.ru/technology/technical/>
9. Выбор оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах радиосвязи // Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2008. –52с.