

УДК 004.733

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА АДАПТИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ

**В. В. КОВАЛЕВСКИЙ**

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Д. А. ДОВГЯЛО)

*Рассмотрена адаптивная модуляция для предоставления пользователям Республиканского унитарного предприятия электросвязи «Белтелеком» качественных мультимедийных услуг: передача голоса, передача данных и IPTV.*

**Введение.** Адаптивная модуляция – это технология в беспроводной связи, которая динамически изменяет параметры модуляции и кодирования сигнала в зависимости от текущих условий радиоканала, чтобы обеспечить наилучшее соотношение между скоростью передачи данных и надежностью связи.

Актуальной задачей является установление параметров модуляции, при которых сохранится требуемая скорость передачи данных и качество предоставляемых услуг абонентам.

**Основная часть.** Для предоставления пользователям качественных мультимедийных услуг с высокой скоростью, в стандарте IEEE 802.16d реализована технология адаптивной модуляции.

При реализации услуги tripleplay в системе WiMAX необходимо в одном физическом канале передать три информационных сигнала: передачу голоса, передачу данных и IPTV. Такой канал должен обладать высокой пропускной способностью, что обеспечивает необходимую скорость передачи. Скорость передачи, в свою очередь, зависит от показателя отношения сигнал/шум присутствующего в системе. Перечисленные показатели определяют тот или иной тип модуляции. Для предоставления абоненту определенного вида услуг, необходима соответствующая полоса пропускания, чтобы услуга передавалась без задержек и с требуемым качеством. Следовательно, задачей адаптивной модуляции будет являться способность определять и использовать оптимальную, с точки зрения предоставления качественных услуг, схему модуляции, которая будет определяться показателем отношения сигнал/шум в радиоканале.

Радиоканал с высоким качеством позволяет использовать наивысшую схему модуляции, что может дать системе дополнительную емкость. Если же сигнал подвержен затуханию, то для поддержания стабильности канала система WiMAX изменяет схему модуляции на более помехоустойчивую. В этой связи, чтобы сохранить емкость базовой станции и увеличить количество абонентов необходимо добиваться высоких показателей отношения сигнал/шум. Оптимальный тип модуляции будет определен после анализа условий распространения радиосигнала в радиоканале.

Для оценки эффективности применения оптимального, с точки зрения, предоставления услуги tripleplay, вида модуляции, проведен эксперимент, позволяющий исследовать статистический характер адаптивной модуляции.

При проведении эксперимента задействовано действующее оборудование базовой станции Aperto PacketMax-5000, и программное обеспечение «HarrisStratexWiMAXNetworkManagement», предназначенное для управления, сбора и регистрации статистических данных.

В качестве цели эксперимента ставится исследование различных видов модуляции, на частоте 3,3 ГГц при полосе пропускания 7 МГц и скорости передачи 7 Мбит/с. Различные модуляции радиосигнала могут применяться в системе WiMAX в тот или иной момент времени, чтобы показатели канала при передаче услуги tripleplay не выходили за пределы допустимых.

Секторная антенна базовой станции, J33015V01-90N компании LairdTechnologies, имеет вертикальную поляризацию, диаграмму направленности 90° и предназначена для работы в диапазоне 3,3-3,8 ГГц.

В качестве абонентской используется станция StarMAX 2160 производства Aviatnetworks. Диаграмма направленности абонентской станции в горизонтальной плоскости 15°, коэффициент усиления антенны 15 дБ, максимальная выходная мощность на антенном разъеме 24 дБм.

На рисунке 1 представлена схема подключения абонентов, с основными элементами базовой станции (БС) WiMAX, а также необходимым абонентским оборудованием для приема услуги tripleplay.

Из рисунка 1 видно, что в конструкции БС WiMAX применяется принцип модульности, т.е. БС разделена на блок внутреннего исполнения и блок внешнего исполнения.

Блок внутреннего исполнения предназначен для разделения функций БС между различными блоками, а также лучшей масштабируемости сети, оборудован слотами для установки модуля PMP (Point-to-multipoint).

В состав оборудования БС включен модуль GPS. Данный модуль предназначен для синхронизации при использовании системой WiMAX временного дуплекса. Синхронизация является важным

моментом, который необходимо учитывать при построении сети, поскольку время приёма/передачи должно быть синхронизировано как для разных секторов одной БС, так и для других базовых станций, являющихся соседними для рассматриваемой.

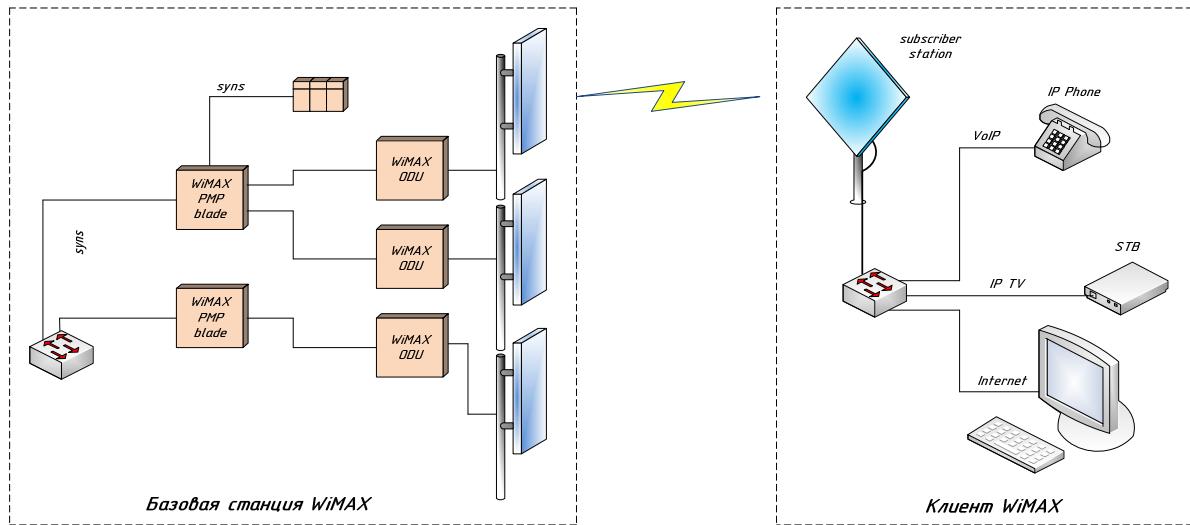


Рисунок 1. – Схема подключения клиентов

На абонентской стороне имеется приемная антенна, многопортовый маршрутизатор, который предназначен для предоставления услуги tripleplay и оборудование, соответствующие каждой услуге. В эксперименте используется сигнал с множеством поднесущих и с полосой пропускания 7 МГц.

Для определения видов модуляций, способных поддержать заданную скорость без ухудшения качественных показателей канала при передаче услуги tripleplay, в течение суток исследуется канал передачи данных. Одной из важных характеристик канала, используемых для анализа, являлось отношение CINR(Carrier-to-Interference + Noise Ratio) на линии «базовая станция – абонентская станция» или линия «вниз» (DL). На рисунке 2 показан график изменения отношения сигнал-шум CINR в зависимости от времени.

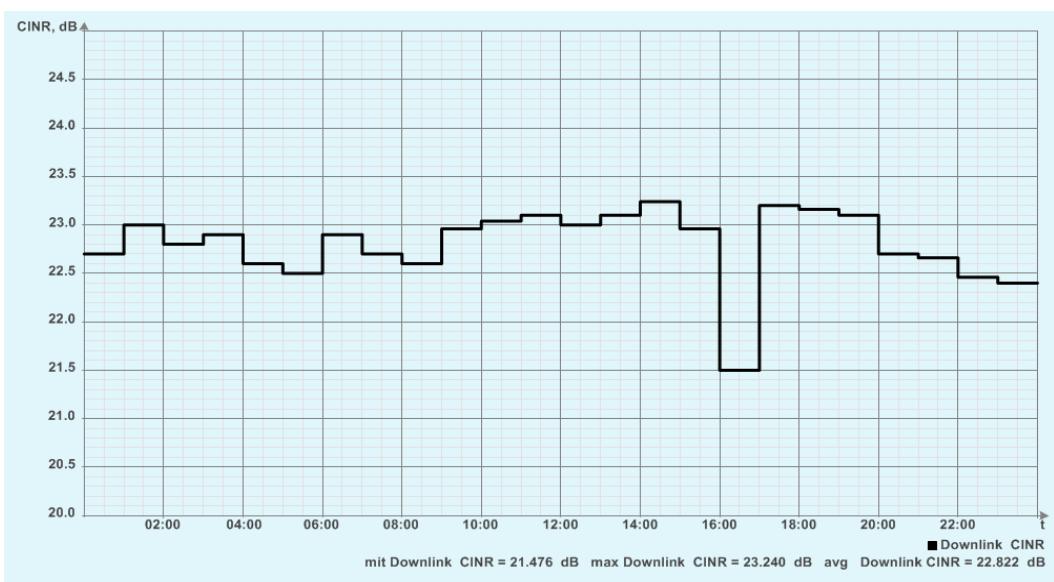


Рисунок 2. – Изменение значения CINR DL в течение суток

Измерения приводились с 00.00 часов до 24.00 часов. Как видно из графика, среднее значение CINR DL в течение суток составляет 22,822 dB, что соответствует нормам модуляции 64QAM 3/4. [1] Однако в промежутке времени с 16:00 до 17:00 наблюдался значительный спад отношения сигнал-шум до 21,476 dB. В этот момент был осуществлен переход на модуляцию 16QAM 3/4, которая является менее эффективным, но более надежным видом модуляции.

Для сравнения экспериментальных данных и показателей, гарантированных производителем, в таблице 1 приведены возможные скорости передачи при использовании того или иного вида модуляции и отношения сигнал/шум необходимые для максимально допустимого уровня битовой ошибки равной  $BER=10^{-6}$  и определенные IEEE 802.16d [2].

Таблица 1. – Основные характеристики адаптивной модуляции

Модуляция	Скорость передачи, Мбит/с при ширине полосы канала, МГц						Отношение сигнал-шум, дБ
	1,75	3,5	7	3	5,5	10	
BPSK 1/2	0,7	1,5	2,9	1,3	2,3	4,2	5-10
QPSK 1/2	1,5	2,9	5,8	2,5	4,6	8,4	7-12
QPSK 3/4	2,2	4,4	8,7	3,8	6,9	12,6	10-15
16QAM 1/2	2,9	5,8	11,6	5,0	9,2	16,8	13-18
16QAM 3/4	4,4	8,7	17,5	7,5	13,8	25,1	16-22
64QAM 2/3	5,8	11,6	23,3	10,0	18,3	33,5	21-24
64QAM 3/4	6,5	13,1	26,2	11,3	20,6	37,7	22-40

**Заключение.** При сравнении полученных результатов и значений, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что в рассматриваемый промежуток времени доступная полоса пропускания базовой станции понизится, но при этом гарантия качества для абонентов сохраняется, несмотря на ухудшение энергетических показателей канала, так как модуляция 16QAM 3/4 способна поддержать установленную скорость. Из этого следует, что абоненты будут получать требуемую скорость работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM 128-QAM, 256-QAM // fmuser [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.fmuser.net/content/?1604.html> –Дата доступа: 21.09.2025.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации : учеб.пособие / В.М. Вишневский [и др.]; под общ. ред. В.М. Вишневского. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.