

# Анализ технологий высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа

Приведен подробный анализ современных технологий высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа и рассмотрена возможность применения беспроводных сетей на транспорте. Беспроводные системы и средства связи в настоящий момент используются на транспорте для организации станционной, диспетчерской, ремонтно-оперативной связи, связи внутри транспортного средства, а также в системах управления движением, для содержания инфраструктуры, в качестве "последних миль" в сетях передачи данных и др. Довольно часто еще используются аналоговые средства связи, которые не обеспечивают выполнение необходимых функций, при этом качество связи данных средств оставляет желать лучшего, что влияет на безопасность и увеличение дополнительных расходов на техническое обслуживание. Проблема протокольной несовместимости различных подсистем на транспорте также понижает безопасность транспортной сети. Все это обуславливает необходимость перехода современного транспорта на новые телекоммуникационные технологии с использованием спутниковых систем радионавигации, радиоиентификации, радиомониторинга и радиоуправления, совместимых с системами радиосвязи других стран (эксплуатационная совместимость).

**Ключевые слова:** технологии беспроводного доступа, мобильный абонент, стандарт, сеть, скорость приема.

Мясникова А.И., Легков К.Е.,

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики

## Analysis of technologies of high speed broadband wireless access

A.I. Myasnikova, K.E. Legkov,  
North Caucasian branch of the Moscow technical university of communication and informatics

### Abstract

The detailed analysis of the modern technologies of high speed broadband wireless access is provided in article and possibility of application of wireless networks on transport is considered. Wireless systems and means of communication are at the moment used on transport for the organization station, a dispatching office, a repair operative communication, communication in the vehicle, and also in management systems by movement, for the maintenance of infrastructure, in quality of "the last miles" on the data communication networks, etc. However, analog means of communication which don't provide execution of necessary functions quite often are still used, thus the communication quality of these means leaves much to be desired that influences safety and increase in additional expenditures at maintenance. The problem of legal incompatibility of different subsystems on transport also reduces safety of a transport network. All this causes need of transition of the modern transport on new telecommunication technologies with use of satellite systems of a radio navigation, radio identification, radio monitoring and radio control, compatible to systems of a radio communication of other countries (operational compatibility).

**Keywords:** technologies of wireless access, mobile subscriber, standard, network, reception speed.

В настоящее время современный транспорт находится в стадии модернизации, что совершенно необходимо для повышения безопасности и эффективности перевозок. Для достижения этого требуется современная система способная автоматически управлять имеющимися ресурсами и оперативно принимать решения на соответствующем уровне. Работоспособность данной системы будет определяться качеством оперативно-технической связи на транспорте, ключевой вопрос выбор наиболее качественной технологии. Беспроводные системы и средства связи в настоящий момент используются на транспорте для организации станционной, диспетчерской, ремонтно-оперативной связи, связи внутри транспортного средства, а также в системах управления движением, для содержания инфраструктуры, в качестве "последних миль" в сетях передачи данных и др. Однако, довольно часто еще используются аналоговые средства связи, которые не обеспечивают выполнение необходимых функций, при этом качество связи данных средств оставляет желать лучшего, что влияет на безопасность и увеличение дополнительных расходов на техническое обслуживание. Проблема протокольной несовместимости различных подсистем на транспорте также понижает безопасность транспортной сети. Все это обуславливает необходимость перехода современного транспорта на новые телекоммуникационные технологии с использованием спутниковых систем радионавигации, радиоиентификации, радиомониторинга и радиоуправления, совместимых с системами радиосвязи других стран (эксплуатационная совместимость).

Так, в настоящее время на железнодорожном

транспортe происходит переход на перспективные цифровые системы связи для повышения эффективности управления и безопасности. Проведем краткий анализ перспективных технологий беспроводного широкополосного доступа и рассмотрим возможность их применения на транспорте.

Построение сетей беспроводного доступа до настоящего момента осуществлялось по двум известным принципам [1]:

1. IP-пакетная передача данных, характеризующаяся фиксированным абонентским терминалом, небольшим числом устройств на сектор и упрощенной структурой сети "база-абонент".

2. Принцип, типичный для сетей сотовой связи: мобильный абонент, малый объем трафика на каждого абонента, но большое их число на базу, бесшовный роуминг между базами и, как следствие, необходимость вынесенных контроллеров базовых станций и управляющей инфраструктуры.

Развитие рынка передачи IP-данных для мобильных абонентов сейчас существенно опережает темпы роста рынка голосовой связи. Тем не менее, до недавнего времени сети операторов были практически не приспособлены для передачи большого объема трафика данных. Например, абонент, использующий симметричный канал 1 Мбит/с, по загрузке сотовой базы эквивалентен 100 голосовым соединениям. Поддержка передачи большого объема данных в сотовых сетях являлась движущей силой развития стандартов evdo и HSDPA/HSDPA+, однако даже последний стандарт обеспечивает лишь 10-20 Мбит/с пропускной способности на сектор в идеальном случае и

2-7 Мбит/с при работе вне прямой видимости (NLOS) и на больших дальностях.

### Стандарт 802.16d (фиксированный Wi-MAX)

Данный стандарт обеспечивает QoS и детерминированный доступ к радиосреде, что позволяет наряду с передачей данных использовать VoIP. Устройства разделяются на базовые и абонентские, с передачей базовой станции функций управления доступом к среде и обеспечения QoS. Применяемые рабочие диапазоны частот — 3,5 ГГц, реке 2,4 и 5 ГГц. Основным недостатком сетей фиксированного WiMAX остается невысокая пропускная способность вследствие отсутствия поддержки технологии MIMO и использования большинством производителей полос частот 3,5-10 МГц. В формате WiMAX-форума проводится проверка устройств на совместимость, однако большое число профилей тестирования позволяет говорить лишь о списках совместимого оборудования, а не о полной взаимоперабельности в рамках стандарта. Отсутствие возможности передачи данных между подвижными абонентами делает данный стандарт неприменимым для любого российского транспорта [2, 3].

Пиковая скорость приема/передачи данных (Мбит/с)  
в зависимости от категории абонентского терминала LTE (в режиме FDD)

Таблица 2

Категория	1	2	3	4	5
Прием данных (DL)	10	50	100	150	300
Отправка данных (UL)	5	25	50	50	75

### Стандарт 802.16e (мобильный Wi-MAX)

Сети, разворачиваемые сейчас на базе технологии мобильного WiMAX, характеризуются ориентированностью на мобильный абонентский терминал. Отличительные черты подобного терминала — малая мощность и усиление антенны, работа в условиях не прямой видимости, необходимость бесшовного роуминга. 802.16e представляет собой дальнейшее развитие технологии пакетной передачи данных и непосредственно 802.16d [4].

Модель QoS 802.16e является расширением 802.16d (с добавлением одного нового класса) для работы с пульсирующим потоком real time-данных (голосовые данные со сжатием заголовков и подавлением тишины). В канальном уровне произошли радикальные изменения: добавлена поддержка многопоточного ре-

жима передачи MIMO, помимо модуляции OFDM поддерживается OFDMA [5]. Модуляция OFDMA позволяет абоненту передавать и получать данные не на всех поднесущих диапазона, а лишь на выделенных ему в данный момент времени [6]. Рекомендуется использование адаптивных антенн с изменяемой диаграммой направленности: например, 8-элементная антенна базовой станции Cisco bwx 8305 обеспечивает дополнительное усиление в 18 дБ при передаче и 9 дБ при приеме сигнала.

### Стандарт LTE

В противоположность 802.16e стандарт LTE — преемник сотовых сетей стандарта HSPDA. Унаследовав классическую архитектуру сотовых сетей, LTE приобрел высокую пропускную способность, превышающую таковую даже текущего поколения 802.16e. Основные требования и пиковые скорости приема-передачи данных представлены в таблицах 1-3.

Сеть LTE способна легко стыковаться с существующими станциями сотовой связи, а в перспективе и с Wi-MAX-сетями. В LTE описывается MIMO до уровня 4x4, применяются антенны изменяемой направленности и возможна одновременная работа абонента с несколькими базами.

Существенным отличием от 802.16e становится возможность в режиме FDD использовать для нисходящего и восходящего потоков полосы разной ширины, а также различную модуляцию в восходящем и нисходящем каналах. Поскольку трафик мобильных IP-абонентов преимущественно однонаправленный, данное решение позволяет более рационально использовать радиоресурс.

Вторая инновация — LTE-модуляция SC-OFDMA в восходящем канале. Обеспечивая меньшую пропускную способность по сравнению с OFDMA, SC-FDMA существенно снижает требования к сложности и энергопотреблению клиентского терминала, стабильнее работает при худшем соотношении сигнал/шум.

Основные требования, предъявляемые к сети LTE

Таблица 1

Параметр	Значение
Пиковая скорость передачи данных	downlink – 100Мбит/с; uplink – 50 Мбит/с*
Время перехода из режима ожидания в активное состояние	Менее 100 мс
Емкость сети	Не менее 200 активных пользователей в соте в полосе 5 МГц
Задержка сигнала	Не менее 5 мс для небольшого пакета данных
Пропускная способность и спектральная эффективность	В 3-4 раза выше, чем в сетях HSDPA (downlink); В 2-3 раза выше, чем в сетях HSDPA (uplink);
Мобильность	0-15 км/ч – максимальная производительность; 15-120 км/ч – высока производительность; поддержка 120-350 км/ч, до 500 км/ч в зависимости от частотного диапазона

\* в полосе частот 20 МГц в конфигурации 2 приемные и 1 передающая антенна на абонентском устройстве.

Пиковая скорость приема/передачи данных (Мбит/с) в зависимости от ширины полосы спектра и конфигурации оборудования (в режиме FDD)

Таблица 3

Полоса спектра/конфигурация антенн	Прием данных (DL)		Отправка данных (UL)
	2X2	4X4	1X2
2 МГц	37	72	18
10 МГц	73	147	36
20 МГц	150	300	75

На настоящий момент актуальной является 11-я версия стандарта LTE.

Наиболее перспективным примером развертывания сети LTE является инсталляция Verizon в США, в 2010 г. первые 20-30 сегментов сети будут введены в коммерческую эксплуатацию, к 2015 г. планируется полное покрытие континентальной части США. Сеть строится в диапазоне 700 МГц на оборудовании LTE rev 8 Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Ericsson, Starent, предполагаемая средняя скорость работы с абонентом 7-14 Мбит/с.

В середине прошлого года были продемонстрированы полезные скорости LTE — до 160 Мбит/с на сектор в условиях прямой видимости и до 15-30 Мбит/с в условиях NLOS. Полевые испытания оборудования LTE диапазона проводила компания Nokia Siemens Networks. В сентябре T-Mobile совместно с корпорацией Nortel осуществил демонстрацию потокового видео в формате

HD с помощью нового мобильного телефона компании LG Electronics. Демонстрация происходила в автомобиле, который ехал по шоссе со скоростью 100 км/ч. При этом, как утверждают участники эксперимента, передача данных происходила без помех.

Такими скоростными достижениями Wi-MAX к сожалению не обладает. Как показывает опыт работы телекоммуникационных компаний реальная скорость в сети Wi-MAX не превышает 1-2 Мбит/с, при пиковой пропускной способности по характеристикам стандарта — 75 Мбит/с.

По мнению операторов, внедряющих мобильный Wi-MAX самое слабое его место — отсутствие межсетевых роуминга, а для мобильных технологий это очень существенный недостаток. Перемещаясь между сетями в различных городах для абонентов транспортной системы необходимо приобретать совмести-

мое оборудование. К тому же, фиксированный и мобильный Wi-MAX до сих пор плохо стандартизированы, из-за чего в ближайшие несколько лет обречены на ограниченное покрытие, ограниченный выбор устройств и ограниченный роуминг.

Стандарт LTE, по сравнению с мобильным Wi-MAX, характеризуется более низким энер-

гопотреблением операторского оборудования и большим радиусом действия пользовательских устройств, что немаловажно для российского транспорта при высокой стоимости электроэнергии.

Несмотря на это, перспективы применения 802.16e или LTE на российском транспорте зависят, в первую очередь, от инвестиции в построение сетей и выделения частот.

Развертывание сетей 802.16e и LTE требует более существенных финансовых вложений, чем привычные технологии беспроводной связи. Стоимость одного сектора базовой станции мобильного WiMAX в 10-15 раз превышает стоимость станции proprietary с поддержкой MIMO. Из-за высокой стоимости инфраструктурного оборудования данные сети плохо масштабируются вниз, и подключение неприбыльного транспорта нерентабельно. Для частных корпоративных сетей использование 802.16e

Сравнительная характеристика перспективных технологий широкополосного беспроводного доступа

Таблица 4

	802.16 d	802.16 e	LTE
Каналы передачи	SISO	MIMO	MIMO
Метод модуляции	OFDM	OFDM/OFDMA	OFDMA/ SC-FDMA
Метод дуплекса	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD
Множественный доступ	TDMA	TDMA/OFDMA	TDMA/OFDMA
Гарантия времени доставки	Да	Да	Да
QoS	Централизованный, потоковая модель: UGS, rtPS, nrtPS, BE	Централизованный, потоковая модель; UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, BE	Централизованный, потоковая модель
Количество активных пользователей на сектор	50-100	100-200	До 200-400
Производительность сектора 20 МГц (прямая видимость), Мбит/с	72	100/50 (MIMO 2x2)	300/100 (MIMO 4x4), технически 150/50 (MIMO 2X2), тестовые зоны
Бесшовный роуминг	Нет	Да	Да
Сопряжение с сетями сотовых операторов	Нет	Нет	Да
Абонент	Фиксированный	Подвижный	Подвижный

с целью соединения также будет экономически неоправданно. Если говорить о подключении фиксированных абонентов в сеть оператора 802.16e/LTE, следует учитывать, что максимальные скорости секторов достигаются лишь при прямой видимости абонентов и малом радиусе соты.

Для фиксированного абонента характерен более симметричный характер нагрузки — вследствие, например, удаленного видеонаблюдения и синхронизации баз данных. Подключение подобных пользователей приведет к перегрузке восходящих каналов базовой станции 802.16e и LTE. Отличен и типичный радиус соты: если в первом случае классическая глубина сектора составляет 5-10 км и широко применяются каналы "точка-точка", то для 802.16e наиболее эффективен радиус соты 1-3 км. На большем удалении сота не сможет обслуживать клиентов вне прямой видимости, то есть мобильные абонентские терминалы.

Вторым (после стоимости оборудования) сдерживающим фактором для распространения в России является недостаток частот. по результатам заседания ГКРЧ от 19 августа 2009 г. было принято решение о перспективности диапазонов 2,3-2,4 ГГц, 2,5-2,53 ГГц, 2,56-2,57 ГГц, 2,62-2,63 ГГц, 2,66-2,67 ГГц и 2,68-2,69 ГГц. При этом в большинстве регионов необходимый, по мнению ГКРЧ, частотный ресурс отсутствует, и возможности его освобождения пока лишь изыскиваются. Данные частотные диа-

пазоны позволяют создавать сети с существенно меньшим радиусом соты, чем диапазон 700-900 МГц, используемый в США.

Для дальнейшего развития сетей необходимо:  
— или освобождение частотного диапазона; или снижение минимального диапазона, выделяемого оператору (30 МГц);  
— или принятие решения о независимости выделяемых частот от технологии радиосвязи.

Текущая политика регулятора говорит о малой вероятности последнего варианта развития событий.

Как видно из анализа, технологии LTE и WiMAX для мобильной связи, предназначены для разных рынков, хотя и используют схожие радиотехнологии, но для применения на транспорте первая имеет небольшое преимущество. Однако каждая методика в настоящее время занимает свою долю рынка, что дает возможность различным классам абонентов получить качественную и высокоскоростную связь.

Современная радиосвязь является основой для повышения уровня безопасности всех видов транспорта. Задачу повышения безопасности и эффективности применения транспорта можно решить путем интегрирования всех видов применяемых и перспективных технологий и систем радиосвязи, радионавигации. Это достигается, прежде всего, повышением качества применяемых видов радиосвязи, применением современных систем связи, навигации и единых стандартов связи.

## Литература

1. Легков К.Е. Анализ стандартов систем беспроводного доступа // Сборник трудов международной молодежной научно-практической конференции "ИНФОКОМ-2008". Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2008. С. 45-47.
2. 802.16 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems // IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society, 2004.
3. Легков К.Е., Донченко А.А. Анализ систем передачи в сетях беспроводного доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. №2, 2009. С.40-41.
4. Легков К.Е., Донченко А.А., Кисляков М.А. Обзор типовых условий функционирования систем беспроводного широкополосного доступа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Вып. № 1. Новочеркасск, 2009. С. 51-54.
5. 802.16-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems // June 24, 2004, p.219-217.
6. Легков К.Е., Донченко А.А. Современные требования к показателям качества информационного обмена в сетях беспроводного доступа специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. № 4, 2009. С. 24-28.
7. Донченко А.А., Легков К.Е. Методы оценки качества услуг, предоставляемых сетями беспроводного широкополосного доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. №2, 2009. С. 217-219.



# ПРОМТЕХНИКА

НАУЧНО ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА

301670, Россия, Тульская область, Новомосковский район, пос. Малиновский, ул. Л.Толстого, 2А

Научно-конструкторское подразделение и производство:  
Тел.: +7(48762) 9-25-85. Тел./факс: +7(48762) 9-24-30  
e-mail: promtehnica@rambler.ru, promtech@novomoskovsk.ru

Отдел рекламы и PR:  
Тел.: +7 (916)181-36-78. Тел./факс: +7(48762) 9-24-30  
e-mail: prompt-pr@mail.ru

КАЧЕСТВО РЕМОНТА

**КАЧЕСТВО РЕМОНТА**

КАЧЕСТВО РЕМОНТА

ОПРЕДЕЛЯЕТ

**ОПРЕДЕЛЯЕТ**

ОПРЕДЕЛЯЕТ

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

