

Методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра в широкополосных сетях передачи данных

Ключевые слова: интернет-трафик, избыточность, TCP, UDP, Internet, протоколы прикладного уровня.

Ерохин С.Д.,
к.т.н., доцент, МТУСИ,
s.d.erokhin@gmail.com

В последние годы во всех странах мира наблюдается взрывной рост в области беспроводной передачи данных. Можно выделить три ключевых фактора, влияющих на рост потребления услуг в беспроводных сетях передачи данных.

Во-первых, рост числа мобильных абонентов. В I квартале 2012 г. уровень проникновения мобильной связи составил 87% от общего числа жителей на Земле, общее число пользователей мобильной связи около 4,2 млрд, и эта величина растет в среднем на 12% в год (рис. 1) [1]. Во-вторых, растет число самих беспроводных сетей передачи данных. Мобильные операторы запускают сети новых стандартов HSPA, HSPA+ и LTE. На сегодняшний день 472 сети стандарта HSPA работают в 183 странах, 234 сети стандарта HSPA+ запущены в коммерческую эксплуатацию в 112 странах, и в 45 странах работают коммерческие LTE-сети [2]. В-третьих, мобильные устройства (сотовые телефоны, смартфоны, планшетные компьютеры, модемы и т.д.) все чаще используется поль-

зователям как основные устройства для выхода в Интернет, что приводит к увеличению доли мобильного интернет-трафика в общем объеме мирового трафика. Доля трафика, который формируют пользователи мобильных устройств во всем мире, достигла 10% от суммарного объема интернет-трафика [3]. По прогнозам специалистов к 2017 г. трафик мобильных абонентов вырастет более чем в 15 (рис. 2) [1].

Данные факты являются причиной роста стоимости частотного спектра, который является ограниченным природным ресурсом. Во многих странах стоимость частотной лицензии (разрешение использовать частотный ресурс для работы сетей беспроводной передачи данных) сопоставима со стоимостью строительства самой сети. Например, согласно объявленному в этом году конкурсу в Индии лицензия на использование полосы шириной 5 МГц на всю территорию страны в GSM-спектре будет стоить не менее 140 млрд. рупий (2,5 млрд. долл.), в спектре CDMA — 182 млрд. рупий (3,25 млрд. долл.) [4]. При этом стоимость самого оборудования для построения сотовых сетей значительно снизилась за последние годы. Средняя стоимость постройки новой трехсекторной базовой станции стандарта LTE 20МГц и пропускной способности 100 Мбит/с

составляет порядка 110 тыс. евро. А стоимость модернизации существующей базовой станции стандарта GSM/3G до стандарта LTE — всего 30 тыс. евро [5].

Разработка методов максимального использования радиочастотного спектра является крайне актуальной задачей для телекоммуникационной отрасли во всем мире.

Основной величиной оценки эффективности использования частотного спектра системы связи является спектральная эффективность S , которая показывает максимальную скорость передачи информации R в полосе частот B .

составляет порядка 110 тыс. евро. А стоимость модернизации существующей базовой станции стандарта GSM/3G до стандарта LTE — всего 30 тыс. евро [5].

Разработка методов максимального использования радиочастотного спектра является крайне актуальной задачей для телекоммуникационной отрасли во всем мире.

Основной величиной оценки эффективности использования частотного спектра системы связи является спектральная эффективность S , которая показывает максимальную скорость передачи информации R в полосе частот B .

$$S = \frac{R[\text{bit/s}]}{B[\text{Hz}]} \quad (1)$$

Единицей измерения спектральной эффективности является [бит/сек/Гц].

Для сравнительной оценки экономической стоимости частотной лицензии в разных странах и регионах предлагаем использовать показатель удельной стоимости частотного ресурса:

$$C = \frac{V[\$]}{B[\text{Hz}] * N * Sq[m^2]} \quad (2)$$

где V — стоимость лицензии на использование частотного ресурса. Как правило, выражается

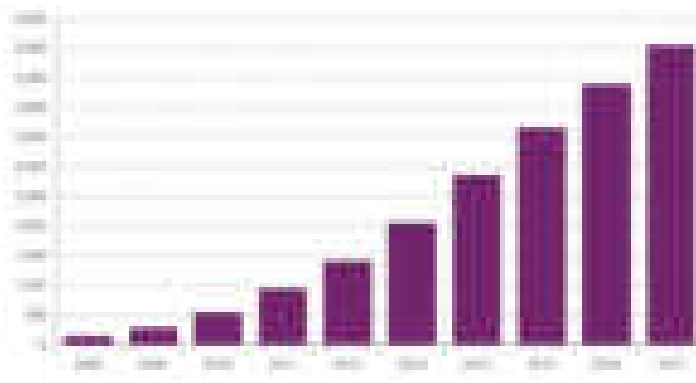


Рис. 1. Прогноз роста числа мобильных абонентов (млн. абонентов в год) [1]

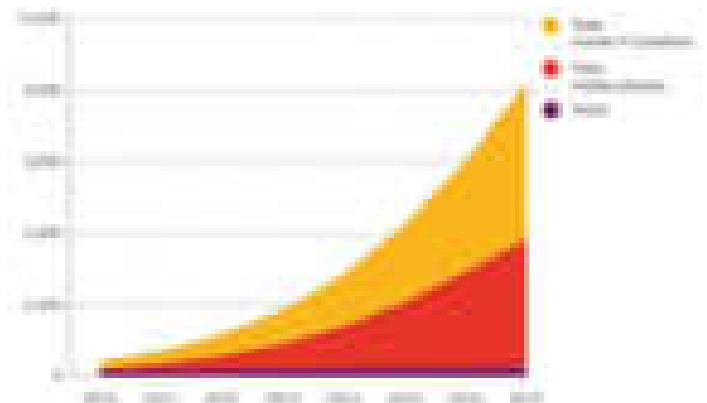


Рис. 2. Прогноз роста мирового мобильного интернет-трафика (петабайт/месяц) [1]

в долларах США; В — полоса частот, которую можно использовать для построения беспроводной сети передачи данных; N — число потенциальных абонентов; Sq — площадь территории, на которую выдается лицензия беспроводному оператору связи.

Удельная стоимость С показывает усредненную стоимость единицы частотного ресурса для определенной территории в расчете на число потенциальных абонентов и измеряется в [долл./((Гц x абон. x кв.м)]. Использование параметров Sq и N позволяет усреднить стоимость лицензии в пересчете на каждого абонента и площадь беспроводной сети. Показатель С позволяет достоверно оценить экономическую целесообразность стоимости частотной лицензии и сравнить ее для разных стран.

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. Использование видов 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.

2. Использование более мощного помехоустойчивого кодирования. 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.

3. 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.

4. Антенные системы. В первых системах использовались традиционные антенные системы, когда одна антенна работала на передачу и одна на прием. В последних стандартах на-

Таблица 1
Характеристики беспроводных сетей передачи данных [6, 7, 8]

Стандарт передачи данных	Средняя скорость передачи (кбит/с)	Полоса частот (МГц)	Средняя мощность передатчика (Вт)	Средняя мощность приемника (Вт)	Средняя мощность передатчика (Вт)	Средняя мощность приемника (Вт)
EDGE	2,3	5	0,1	0,1	0,1	0,1
UMTS	3,1	5	0,1	0,1	0,1	0,1
CDMA	3,1	5	0,1	0,1	0,1	0,1
4G LTE	100	10	0,1	0,1	0,1	0,1

шли свое применение многоантенные системы, когда передача и/или прием могут осуществляться несколькими антенными системами.

Ключевые параметры стандартов беспроводной связи приведены в табл. 1.

Использование более совершенных радиотехнологий позволило значительно увеличить спектральную эффективность в системах связи: от 0.45 бит/с/Гц для стандарта EDGE до 5 бит/с/Гц для стандарта LTE Rel.8 (для максимального случая — MIMO 4x4, 20МГц). Но повышение спектральной эффективности за счет внедрения передовых радиотехнологий имеет большую стоимость: необходима замена оборудования на стороне оператора связи и всех мобильных терминалов. По сути дела, переход к каждому следующему стандарту сотовой связи вынуждает операторов связи строить новую сеть, а абонентов - покупать новые мобильные устройства.

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 MIMO 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.

Необходимы новые методы повышения эффективности использования частотного ресурса. Одним из вариантов увеличения эффективности использования частотного спектра является оптимизация передаваемого трафика. Основу трафика современных сетей передачи данных составляет Интернет-трафик. Интернет-трафик функционирует по модели TCP/IP, которая является модифицированной моделью стека протоколов OSI. Необходимо отметить,

что стек протоколов разрабатывался в 70-х годах прошлого века и не рассчитан на использование в беспроводных сетях передачи данных.

Основные недостатки использования протоколов TCP/IP в беспроводных сетях передачи данных:

1. Избыточность трафика, которая возникает за счет использования большого объема заголовков протоколов сетевого и транспортного уровней.

Минимальная избыточность TCP/IP-трафика определяется как отношение суммы заголовков протоколов IP и TCP (или UDP) к длине IP-пакета:

$$Red_{min} = \frac{L_{IP} + L_{TCP(UDP)}}{L_{PACK}} \times 100\% \quad (3)$$

где Red_{min} — минимальная избыточность пакета данных %; L_{PACK} — длина IP-пакета данных, байт; L_P — длина заголовка протокола IP, байт; L_{TCP(UDP)} — длина заголовка TCP (или UDP), байт.

Как известно, минимальный размер IP заголовка составляет - 20 байт, TCP — 20 байт, UDP — 8 байт [9-11]. Избыточность трафика напрямую зависит от размера IP-пакета. Для пакетов маленького размера, которые используются для передачи видео или голоса, размер заго-

Таблица 2
Минимальная избыточность TCP/IP-пакета

Размер пакета данных, байт	Избыточность (%)	
	TCP	UDP
1000	2,0	1,0
10000	0,2	0,1
100000	0,02	0,01
1000000	0,002	0,001
10000000	0,0002	0,0001

Таблица 3

Суммарная служебная избыточность Интернет-трафика

Служебная избыточность (%)	Пользовательская избыточность (%)	Суммарная избыточность (%)	Полезная информация (%)
25,14	25,14	50,28	49,71

ловков может быть сопоставим с размером полезной нагрузки. Расчет минимальной избыточности TCP/IP-трафика, вызванной наличием заголовков сетевого и транспортного уровней, в зависимости от длины пакета показан в табл. 2.

Для уменьшения избыточности заголовков протоколов сетевого и транспортного уровней рекомендуется использовать стандарты по сжатию заголовков. Наиболее известные из них - алгоритм Ван-Якобсона и RHC [12, 13]. Они позволяют в лучшем случае сократить 40-байтный заголовок TCP/IP до 3-4 байт за счет передачи только изменяемых в течение сессии параметров.

2. Большой объем служебного TCP-трафика. Дополнительным источником избыточности Интернет-трафика является служебный трафик протокола TCP: пакеты подтверждения, трехэтапное квитирование, запросы на реинициализацию TCP-сессии и т.д.

3. Оптимизация работы протокола TCP для проводных сетей. Протокол TCP был разработан и оптимизирован только для работы в проводных сетях. Первые реализации TCP полагали, что нижележащие уровни модели OSI работают надежно, что любая потеря пакетов может быть связана только с перегрузками в сети. При возникновении потери пакетов TCP начинает предпринимать меры по предотвращению перегрузки в сети.

Но в беспроводных каналах связи потери пакетов могут быть вызваны помехами, замираниями, воздействием внешних факторов и т.д. TCP не учитывает особенности передачи

данных через радиоканал, что приводит к снижению эффективности его работы и негативно сказывается на фактической пропускной способности сети.

Одним из методов решения данной проблемы может быть использование специализированного прокси-сервера, который учитывает особенности беспроводных каналов связи и более интеллектуально управляет перегрузками. Как правило, такой функционал реализован в специализированных оптимизаторах интернет-трафика для сотовых каналов связи - GPRS-оптимизаторах.

Дополнительным источником избыточности интернет-трафика служат заголовки и неоптимальная работа в беспроводных сетях передачи данных протоколов прикладного уровня. Например, самый распространенный протокол прикладного уровня HTTP также не учитывает специфику мобильных устройств и генерирует множество промежуточных служебных пакетов.

Избыточность трафика, которая возникает за счет заголовков промежуточных протоколов модели OSI и служебного трафика, является служебной избыточностью.

Мы провели статистические исследования по анализу служебного трафика. Для этого провели практический эксперимент - подсчитали суммарный объем заголовков протоколов сетевого, транспортного и прикладного уровней и объем служебного TCP и HTTP трафика для наиболее распространенных услуг в Интернете: поиск информации, чтение электрон-

ной почты и просмотр видеофайлов. Результаты приведены в табл. 3.

Видно, что средняя суммарная служебная избыточность интернет-трафика составляет порядка 25-30%. Наши результаты совпадают с характеристиками, которые заявляют фирмы производители оборудования, ориентированного на оптимизацию трафика.

Другим вариантом оптимизации использования частотного ресурса может быть оптимизация интернет-трафика за счет уменьшения избыточности пользовательских данных. Данные интернет-пользователя изначально содержат в себе избыточность, которая может быть устранена с помощью методов кодирования. Такую избыточность назовем пользовательской избыточностью.

Основным методом устранения избыточности пользовательских данных является адаптация контента для мобильных устройств. Она включает в себя сжатие мультимедийных данных (видео, изображения, звук), транскодирование видеопотоков с учетом разрешения экрана мобильного устройства, видеопейсинг и т.д.

Дополнительным методом устранения избыточности пользовательского трафика является адаптация протоколов прикладного уровня для работы на мобильных устройствах. К таким методам относятся блокировка всплывающих окон, хранение куков на промежуточных прокси-серверах и т.д.

Хорошим примером оптимизации мобильного интернет-трафика и устранения пользовательской избыточности может служить браузер Opera Mini. Весь мобильный трафик, генерируемый работающим приложением Opera Mini, проходит через прокси-сервера Opera, которые стоят по всему миру. Средняя эффективность сжатия 80% [14].

Структура и классификация возможных видов избыточности интернет-трафика показана на рис. 3. Уменьшение избыточности передаваемого трафика позволяет увеличить объем полезного передаваемого трафика в единицу времени, и, следовательно, повысит эффективность использования частотного ресурса беспроводной сетью связи. Увеличение эффективности использования спектра пропорционально эффективности устранения избыточности трафика. Уменьшение на 20% дает выигрыш в спектральной эффективности на 20%, что сопоставимо с ростом спектральной эффективности при переходе от стандарта EDGE к UMTS.

Оптимизация передаваемого трафика дает большие возможности по повышению эффективности использования частотного ресурса. Браузер Opera Mini сжимает трафик до 80% за счет адаптации пользовательского



Рис.3. Классификация видов избыточности интернет-трафика

контента, но при этом не устраняет служебную избыточность трафика. Если совместить все механизмы по устранению всех видов избыточности, показанной на рис. 3, то эффективность использования частотного спектра может быть повышена в несколько раз.

Своей дальнейшей главной задачей мы видим разработку нового стека беспроводных протоколов, которые должны быть лишены недостатка модели TCP/IP. Новый стек протоколов должен учитывать специфику беспроводных каналов связи, иметь минимальную избыточность, механизмы обеспечения качества обслуживания и предусматривать возможность адаптации контента.

Литература

1. Traffic and market report. Ericsson. June 2012.
2. <http://www.gsacom.com/>
3. <http://statcounter.com/>

4. <http://tra.gov.in>
5. Jan Markendahl. Mobile Network Operators and Cooperation. PhD Thesis in Telecommunications. Stockholm, Sweden 2011.
6. ETSI TS 101 350 V6.3.0 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS).
7. ETSI TS 125 201 V6.2.0 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).
8. ETSI TS 136 101 V8.14.0. Long Term Evolution (LTE) physical layer; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Release 8, 06-2011.
9. RFC 791 Internet protocol.
10. RFC 793 Transmission control protocol.
11. RFC 768 User datagram protocol.
12. RFC 1144 V. Jacobson Compressing TCP/IP Headers.
13. RFC 3095 Robust Header Compression (ROHC).
14. <http://my.opera.com/>
15. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016.

Methods to improve the efficiency of use the radio spectrum for broadband data networks

Erohyn S.G., MTUCI, Moscow

Abstract

Constant increasing of the number of the wireless networks' mobile subscribers and the requirements of user's access to the Internet speed lead to a growing need in frequency resources. The task of improving the efficiency of the using scarce and expensive frequency resource in wireless networks is becoming especially topical. The basic methods to increase efficiency using of the spectrum are the implementation of new radio technologies and/or optimization of the Internet traffic. It is shown that in certain cases the optimization of Internet-traffic allows to use resources of the radio-frequency spectrum more effectively, than the introduction of advanced telecommunications technologies. It is also calculated minimum and total service redundancy of the Internet traffic.

Keywords: Internet traffic, TCP, IP, UDP, optimization, headers, redundancy.

References

1. Traffic and market report. Ericsson. June 2012.
2. <http://www.gsacom.com/>
3. <http://statcounter.com/>
4. <http://tra.gov.in>
5. Jan Markendahl. Mobile Network Operators and Cooperation. PhD Thesis in Telecommunications. Stockholm, Sweden 2011.
6. ETSI TS 101 350 V6.3.0 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS).
7. ETSI TS 125 201 V6.2.0 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).
8. ETSI TS 136 101 V8.14.0. Long Term Evolution (LTE) physical layer; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Release 8, 06-2011.
9. RFC 791 Internet protocol.
10. RFC 793 Transmission control protocol.
11. RFC 768 User datagram protocol.
12. RFC 1144 V. Jacobson Compressing TCP/IP Headers.
13. RFC 3095 Robust Header Compression (ROHC).
14. <http://my.opera.com/>
15. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016.

Cisco анонсировала ТВ-платформу "Videoscape Unity" для поддержки передовых многоэкранных телевизионных и видеослуг

7 января на открывшейся в Лас-Вегасе отраслевой выставке CES 2013 компания Cisco анонсировала Videoscape Unity — новую расширенную платформу для доставки видеослуг. Эта платформа позволит операторам и медийным компаниям поддерживать новые интуитивные синхронизированные многоэкранные пользовательские видеосервисы. Поставщики видеослуг впервые получают гибкую открытую программную платформу, выходящую за рамки привычных услуг типа "ТВ повсюду" (TV Everywhere). Videoscape Unity даст операторам возможность ускорить доставку иммерсивных многоэкранных видеослуг, поддерживающих уникальные сервисные предложения и характеристики торговых марок.

Платформа Videoscape Unity поддерживает следующие услуги:

- **Многоэкранный облачный цифровой видеорегистратор (Multiscreen Cloud DVR)** с функциями записи и хранения видеоконтента в облаке, а не на пользовательском устройстве. Пользователи получают функции отложенного воспроизведения и записи телепрограмм, позволяющие воспроизводить записанный в цифровом формате видеоконтент в любом месте на любом экране.

- **"Видео повсюду"**. Эта услуга расширяет обычную функциональность "ТВ повсюду", включая в нее функции унифицированного поиска, распознавания и просмотра, дающие зрителям возможность высококачественного воспроизведения прямых трансляций и записанных программ на любом — управляемом или неуправляемом оператором — подключенном устройстве, независимо от его местонахождения.

- **Сетевое видео на любом домашнем устройстве.** Подключенный видеопорт Cisco (Cisco Connected Video Gateway) становится единой точкой доставки развлекательных услуг и управления ими. Он служит для управления видео в форматах IP и QAM, доставки видеоконтента и метаданных на любое подключенное домашнее IP-устройство и для поддержки единой пользовательской функциональности.

- **Кабельное IP-видео.** Эта услуга предоставляет зрителям расширенный выбор контента и видеосервисов в IP-формате с ускоренной доставкой контента по требованию и интерактивными предложениями для расширенного списка устройств, управляемых оператором. При этом пользователь может гибко подключать к данному сервису неуправляемые устройства.