

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ IPTV-УСЛУГИ ВИДЕО ПО ЗАПРОСУ ЧЕРЕЗ ШИРОКОПОЛОСНУЮ СЕТЬ ДОСТУПА

М. С. Гергес

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. М. А. Бонч-Бруевича, 191186, Санкт-Петербург, Россия

УДК 681.3

Предложена гибридная схема передачи данных при предоставлении мобильной услуги IP-телевидения по запросу через широкополосную сеть доступа. В алгоритме объединены многоканальный и многоадресный способы передачи данных и одноадресная схема, что позволяет не только уменьшить вероятность блокирования сервиса, но и сузить полосу пропускания, необходимую для сетей IP-телевидения.

Ключевые слова: IPTV, многоадресная и одноадресная передача видео, видео по запросу.

In this paper, the multi-channel multicast algorithm to allocate content packets into several channels over WiMax is proposed. The algorithm utilizes hybrid mechanism which combines multi-channel multicasting and unicast scheme to enhance not only service blocking probability but also reduce overall bandwidth consumption of the IPTV networks.

Key words: IPTV, multicast, unicast, Video on-demand.

Введение. Сеть IP-доступа WiMax обеспечивает транспортировку пакетов данных из сетей. Кроме того, радиовещание через WiMax-сеть не ухудшает качество передаваемого контента. Поскольку базовые станции (BSs) WiMax-сети, абонентские пункты и мобильные станции (SSs/MSs) идеально подходят при предоставлении IP-услуг (тройная услуга голос – данные – видео), видео по запросу (VoIP), IPTV, эти мультимедийные услуги удобно предоставлять через беспроводные сети MAN. При этом для WiMax возможен выбор между традиционными кабельными сетями, DSL-сетями и спутниковой связью. WiMax-сеть доступа способна передать любой необходимый контент повсеместно. Наконец, развитие WiMax-сетей позволяет доставлять IPTV-видео- и IPTV-аудиоконтент высокого качества с приемлемой стоимостью в сельскую местность и районы, ранее недоступные для обслуживания. Функциональные диаграммы IPTV представлены на рис. 1. Видеосерверы (декодеры) хранения аудио- и видеоконтента (живой эфир и предварительно записанные программы) выполняют кодирование и сжатие. Видеосерверы (декодеры) являются централизованными либо распределенными в основной сети.

В настоящее время широкое распространение получила передача видео по запросу (VoD) через одноадресную IP-сеть. На первый взгляд одноадресная передача с помощью VoD-сервера не вызывает затруднений при достаточной пропускной способности сети или низкой интенсивности входящего потока запросов обслуживания. Однако реально видеозапросы поступают не столь равномерно, поэтому нередко возникает скопление запросов на получение одного и того же контента, а в ряде случаев – всплеск запросов. Такие ситуации крайне неблагоприятны для серверов одноадресной передачи (unicast transmission servers),

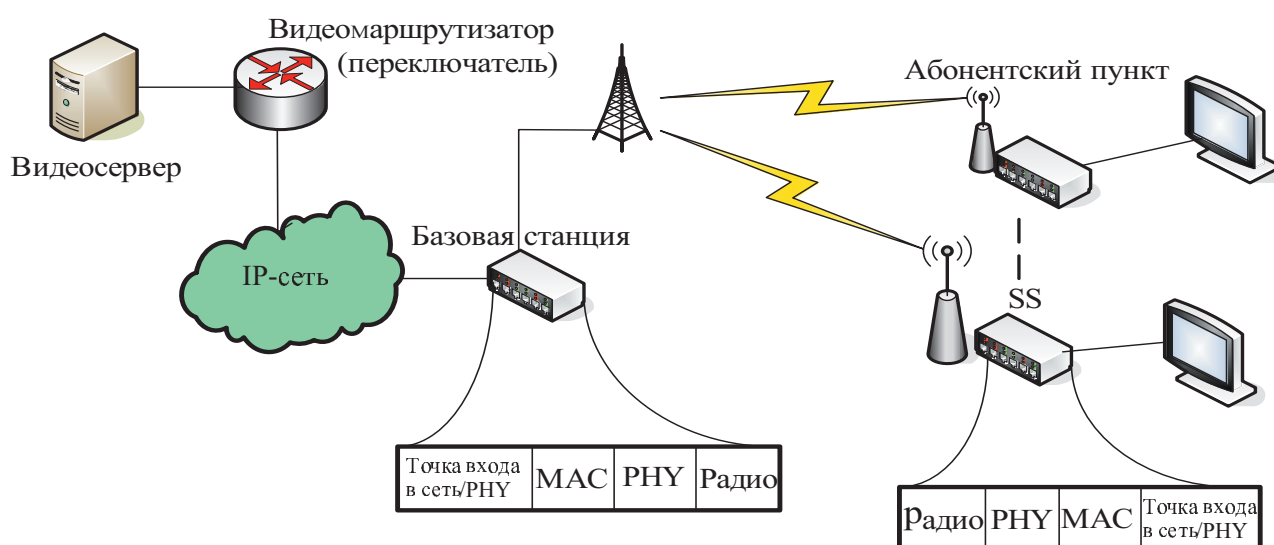


Рис. 1. Модель системы для IPTV-приложений

поскольку емкость сервера ограничена его конфигурацией, что приводит к высокой вероятности блокировки сервиса. Многоадресная рассылка часто запрашиваемого видео многочисленным получателям и одноадресная рассылка менее популярного видео позволяют уменьшить вероятность блокировки сервиса.

1. Категории видеослуг. Для обслуживания значительного числа клиентов необходимо эффективно использовать ресурсы нисходящей передачи информации. Ранее предложенная схема многоканальной многоадресной передачи базировалась на скоростном радиовещании [1], реализованном с использованием среды кабельного телевидения подобно VoD-сервису (near-VoD). В отличие от телевизионного вещания поток IP-телевидения не может передаваться на всем Интернет-пространстве, поэтому для предоставления часто запрашиваемого контента многочисленным потребителям и обеспечения эффективного способа передачи разнообразного мультимедийного потока пользователям используется многоканальная передача. Выбор контента, который будет передан с помощью многоканальной многоадресной технологии, осуществляется с использованием предложенного метода адаптивного распределения ресурсов, имеющего минимальную вероятность блокирования. WiMax поддерживает как одиночные базовые станции (single-BS), так и множество базовых станций широкополосного доступа (BS MBS). В режиме MBS для передачи данных используется одночастотная сеть (single frequency network).

В режиме с множеством BS MBS не требуется, чтобы мобильная станция абонента (MSS) была прикреплена к какой-либо базовой станции. Для уменьшения расхода энергии MBS получает доступ к MSS, когда станция находится в нерабочем режиме. На рис. 2 показана архитектура сети передачи видео в режиме множества базовых станций. Возможность использования мобильной WiMax-системы при интеграции MBS и одноадресных сервисов позволяет расширить область ее применимости.

2. Сценарии обслуживания IPTV-видео по запросу. Согласно сценарию обслуживания IPTV-сектора в соответствии со стандартизацией телекоммуникаций (ITU-T), разработанной Международным союзом телекоммуникаций (ITU) [2], услуга VoD определяется как видеосервис, который позволяет конечному пользователю выбирать и просматривать видео в любой момент времени. Конечный пользователь имеет полную свободу выбора про-

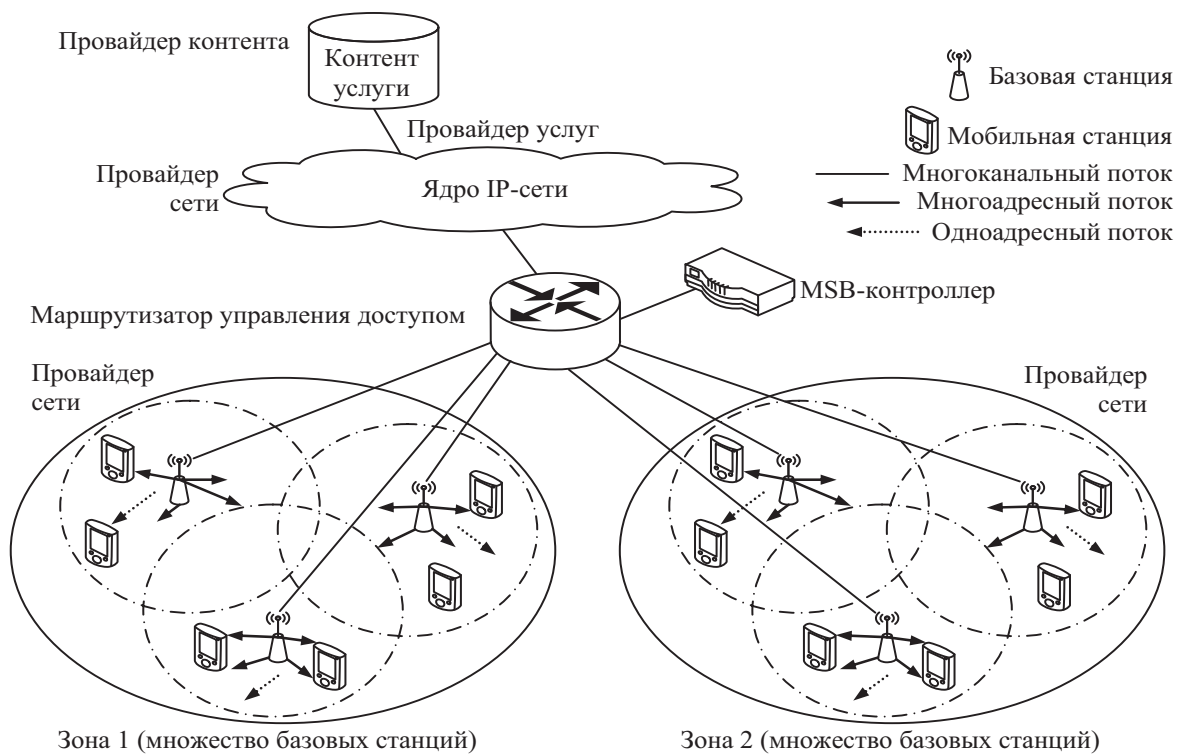


Рис. 2. Архитектура сети мобильных станций с использованием множеств базовых станций

смастриваемого контента (до начала и во время просмотра). Предложенный сценарий услуги видео по запросу IPTV представлен на рис. 3, 4. На рис. 3 цифрами обозначены:

1. Контент видео с его метаданными (metadata) и данными защиты контента (content protection data), которые созданы и контролируются провайдером контента (content provider), передаются поставщику услуг (service provider).

2. В соответствии с соглашением поставщик услуг готовит контент провайдеру контента.

3. После выбора конечным пользователем видео к поставщику услуг отправляются запросы и уведомление об отправке требуемого содержания в многоадресном режиме или нет (см. рис. 4). Если многоадресный поток для виртуального интерфейса V_i уже существует, то сервер сообщает потребителю групповой адрес многоадресного видеопотока, после чего потребитель может присоединиться к многоадресному потоку передачи. Эта процедура может включать переговоры об условиях обслуживания (например, определение параметров качества услуги, цену, режимы упаковки данных и т. д.).

4. Если многоадресный поток передачи видео еще не создан, поставщик услуг взаимодействует с сетью и с помощью функции управления интенсивностью обновления вновь поступающего видеопотока определяет, является ли этот контент (видео) часто запрашиваемым (т. е. достигнута ли определенная интенсивность поступления данного видео). Если видео не является часто запрашиваемым, то оно передается в одноадресном режиме. Однако если это часто запрашиваемый контент, контроллер множества базовых станций (MBS controller) запускает алгоритм многоканальной передачи контента.

5. После завершения шага 4 поставщик услуг предоставляет информацию о доступе к контенту (например, многоканальный адрес передачи, который будет использоваться при передаче контента), после чего конечный пользователь может получить видео.

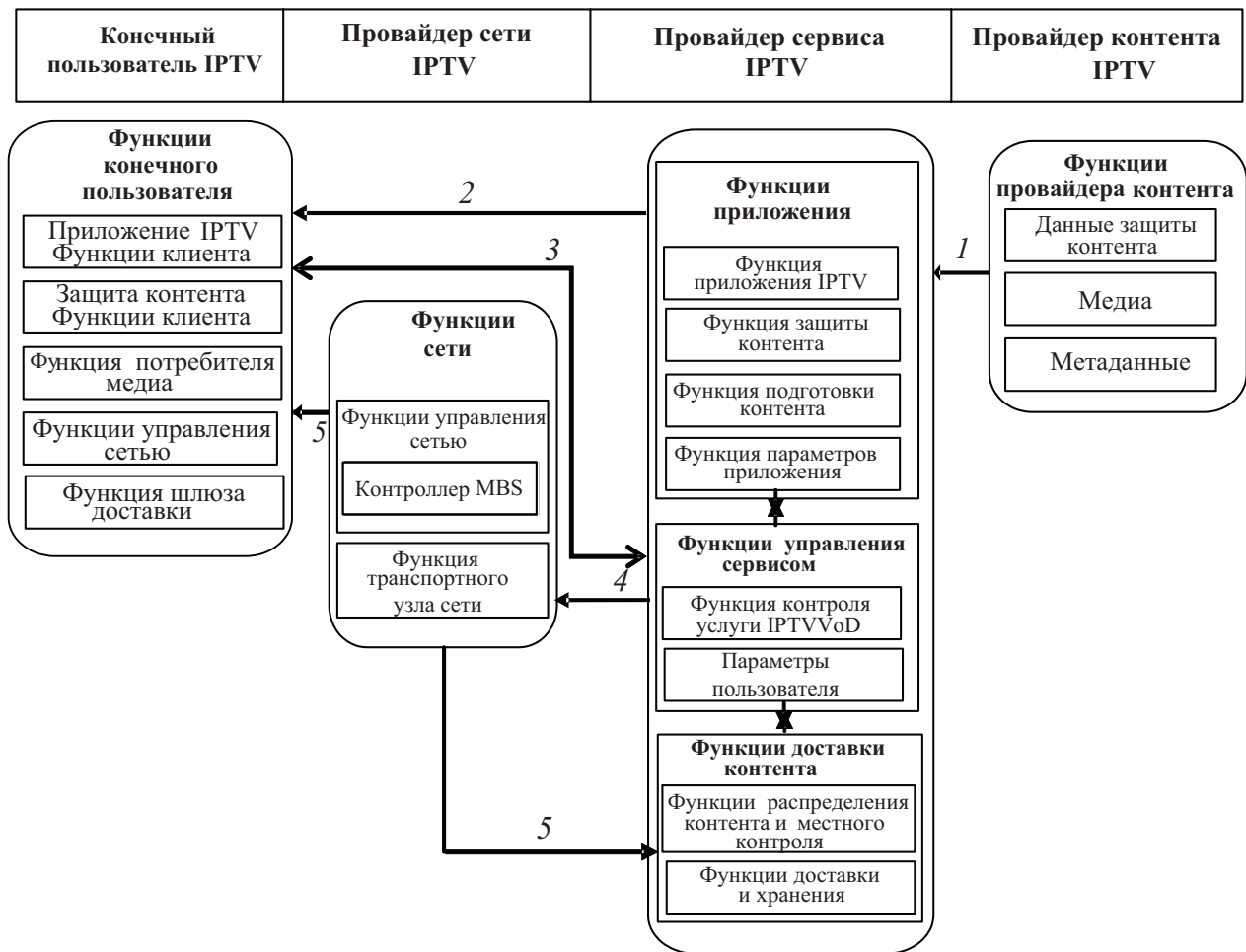


Рис. 3. Сценарий обслуживания VoD-сервиса IPTV

3. Гибридный алгоритм передачи видеоконтента. Полная архитектура мобильной VoD-сети IPTV с множеством базовых станций представлена на рис. 2. WiMax-стандарт определяет два типа MBS-доступа: через одну BS и через группу станций. Группа BS создает зону MBS в мобильной WiMax-сети. Базовая станция может синхронно передавать многоадресные данные с идентификатором соединения (CID) и обеспечивать защиту при передаче данных в той же MBS-зоне. Заметим, что если все BS находятся в одной зоне MBS, то для одного многоадресного MBS-потока они имеют одинаковые многоадресные CID (MCID). Поэтому мобильная станция (MS) необязательно должна быть зарегистрирована на какой-либо BS. Более того, MBS позволяет всем мобильным станциям для доступа к группе BS использовать одинаковый многоадресный идентификатор соединения (ID) во время прерывания внутри одной MBS-зоны, поэтому MS может получать MBS-пакеты, когда они проходят через эту MBS-зону.

Сеансом мобильной станции называется логическое соединение, установленное между мобильной станцией и диспетчером MBS, при котором MBS-программа доставляется пользователям. Диспетчер MBS создает и сохраняет информацию о сеансе связи, а также передает пакеты от прерывателя контента (content chopper), обеспечивая разделение контента на сегменты, для того чтобы организовать доставку многоадресного VoD-контента через одноадресный канал, не нарушая при этом нормативы времени задержки запуска контента. Согласно рекомендации ITU-T G.1010 [3] задержка запуска VoD не должна превышать 10 с,

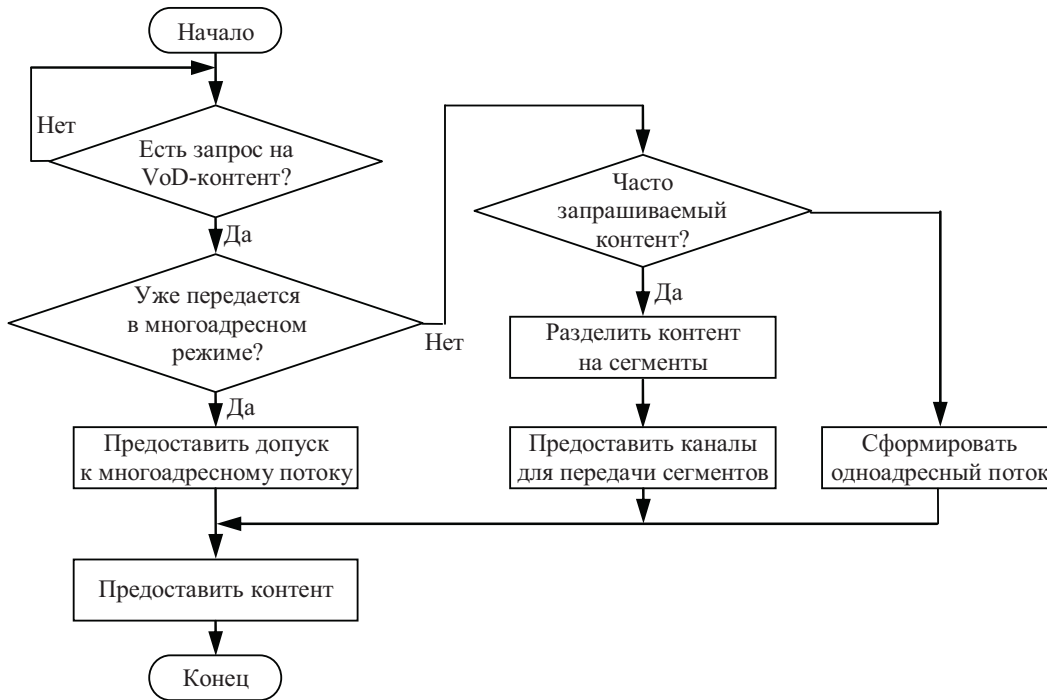


Рис. 4. Процедура обслуживания для VoD-сервиса IPTV

поэтому максимальная задержка запуска в предлагаемой VoD-системе составляет менее 10 с. Предположим, что имеется i_{th} кинодлин L_i . При многоканальной многоадресной передаче число каналов n_i , необходимых для передачи i_{th} видео длительностью L_i (что согласуется с требованием к времени задержки запуска $sd < 10$ с), можно определить с помощью уравнения

$$n_i = \log_2 \left(\frac{L_i}{sd} + 1 \right). \quad (1)$$

Уравнение (1) адаптировано для расчета минимальной задержки запуска и первоначально использовалось при быстрой передаче (fast broadcasting). По окончании расчета числа каналов делитель поделит данный контент на N сегментов:

$$N = \sum_{j=0}^{n_i} 2^j = 2^{n_i} - 1 \quad (2)$$

(n_i — номер канала). Затем программа управления сеансом распределит эти сегменты по каналам, после чего они будут непрерывно и периодически передаваться по назначенным им каналам. При этом время ожидания для каждого сегмента будет изменяться в геометрической прогрессии: $1, 2, 4, \dots, N$ (рис. 5).

4. Модель системы и численный анализ. Для того чтобы проанализировать предложенный механизм, рассмотрим группу из K видеофрагментов V_1, \dots, V_k длиной L каждый со скоростью прибытия $\lambda_1, \dots, \lambda_k$ соответственно, которые передаются через C каналов. Кроме того, будем полагать, что $\lambda_i < \lambda_j, 1 \leq i < j \leq K$, т. е. популярность этих видеофрагментов увеличивается с увеличением индекса: индекс 1 соответствует наименее популярному видео, а индекс k — наиболее популярному видео. Уровень популярности контента (частоты



Рис. 5. Распределение контента для многоканальной многоадресной передачи

запроса), вычисленный и присвоенный поставщиком услуг, определяется на основе статистических данных и стратегии обслуживания провайдера. При проведении численного анализа предполагалось, что запросы на видео поступают в соответствии с Zipf-распределением [4]. С учетом этого допущения, используя модель запроса видео, по формуле Эрланга вычислим вероятность потерь данных при их передаче, установив модель $M/M/C/C$ с использованием цепи Маркова (“ M ” — тип распределения входного потока запросов (пуассоновский поток), “ M ” — тип распределения времени обслуживания заявок (экспоненциальное распределение), “ C ” — количество каналов распространения, “ C ” — количество запросов на видео). На рис. 6 приведена диаграмма состояния передачи по предлагаемой схеме.

Применим формулу Эрланга к данной модели в случае установившегося значения вероятности и возможности блокировки. Пусть P_x — статическая вероятность существования одноадресного потока, который можно получить по формуле

$$P_x = \begin{cases} p_0 \prod_{j=0}^{x-1} (j+1)^{-1} \mu_{uni}^{-1} \sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i = p_0 \mu_{uni}^{-1} (x!)^{-1} \sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i, & 0 \leq x \leq C - M, \\ p_0 (x!)^{-1} \left(\mu_{uni}^{-1} \sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i \right)^x \left(\mu_{uni}^{-1} \sum_{i=m}^K \lambda_i \right)^{C-x}, & C - M < x \leq C, \\ 0, & C < x. \end{cases}$$

Так как статическая вероятность не зависит от распределения времени обслуживания (service time distribution), но зависит от среднего времени обслуживания (mean service time), рассчитаем среднюю интенсивность обслуживания (average service rate):

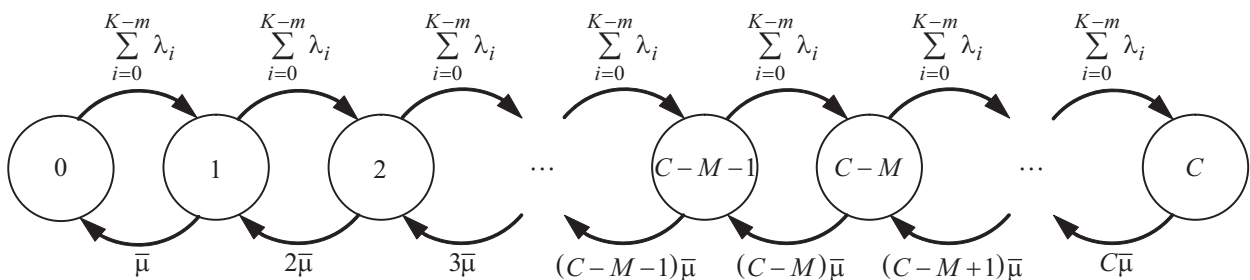


Рис. 6. Диаграмма переходов для предложенного алгоритма

$$\mu_{uni} = \sum_{i=1}^{K-m} P_{uni_i} \mu_i.$$

Здесь $P_{uni_i} = \lambda_i / \sum_{j=1}^K \lambda_j$; $\mu_i = (L_i)^{-1}$. Для получения уравнения нормализации применим формулу

$$p_0 = \left[\sum_{j=0}^C \left(\frac{\sum_{i=0}^C \lambda_i}{\mu_{uni}} \right)^j \frac{1}{j!} \right]^{-1},$$

для расчета вероятности блокировки — формулу

$$P_b = \left(\frac{\rho^{C-M}}{(C-M)!} \right) / \left(\sum_{i=0}^{C-M} \frac{\rho^i}{i!} \right),$$

где $\rho = \left(\sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i P_{uni_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^{K-m} \mu_i P_{uni_i} \right)$. Так как VoD-система делит контент на две подгруппы — популярное и непопулярное видео, то первой из перечисленных подгрупп назначаются M каналов для многоканальной многоадресной передачи, а последней — оставшиеся $C - M$ каналов для одноадресной передачи. С помощью формулы для вычисления минимальной вероятности блокирования мобильной беспроводной системы и оптимального распределения ресурсов передачи можно определить оптимальное число каналов, необходимых для передачи видео с рассчитанным выше показателем прибытия при минимизации полосы пропускания:

$$P_{\min}(C, M) = \min_{0 \leq M < C} \left(\frac{\rho^{C-M}}{(C-M)! \sum_{i=0}^{C-M} \rho^i / i!} \right).$$

Введем модель, позволяющую определить стоимость услуг (штрафа) поставщика услуг, т. е. ожидаемый доход поставщика IPTV-услуг. Предположим, что при обслуживании VoD-запроса IPTV базовой станции в отсутствие блокирования поставщик услуг получает за оказанные услуги доход в размере R . При блокировке запроса поставщик услуг теряет доход в размере L . При распределении ресурсов в единицу времени система оказывает услуги в среднем N клиентам и отклоняет запросы M клиентов. Тогда доход системы S составляет

$$s = \sum NR - \sum ML.$$

Наконец, определяем общий доход системы S :

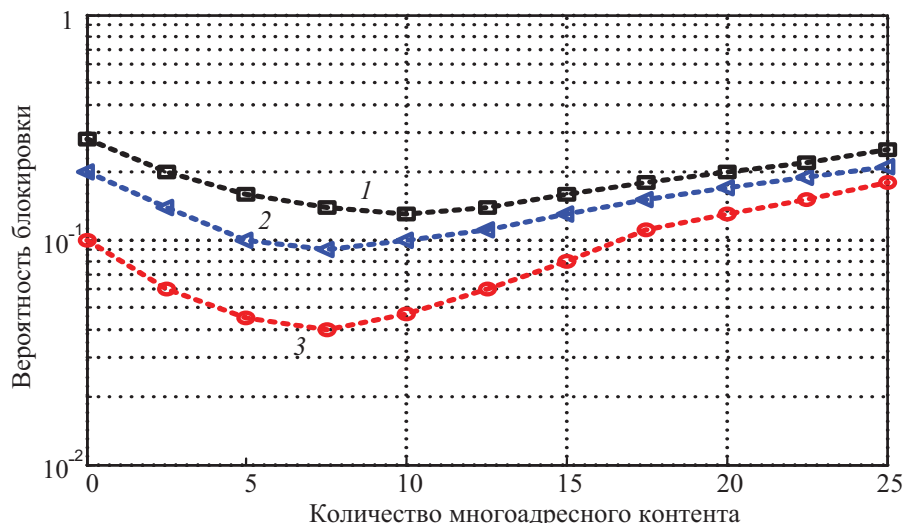


Рис. 7. Распределение контента по нескольким многоадресным каналам:
 1 — средняя скорость запроса 16/20; 2 — средняя скорость запроса 10/60;
 3 — средняя скорость запроса 8/60

$$S = \sum_{i=1}^C i_{\mu} R \rho^i (i!)^{-1} \left/ \sum_j \frac{\rho^j}{j!} \right. - L \lambda \rho^C (C!)^{-1} \left/ \sum_{j=0}^C \frac{\rho^j}{j!} \right.$$

5. Анализ выполнения алгоритма. Для оценки выполнения алгоритма [5] присвоим параметрам следующие значения. Сервер MBS может обслуживать 300 параллельных каналов и 100 запросов, средняя длительность которых составляет 90 мин (5400 с). Показатель прибытия запросов изменяется от 5/60 до 20/60 и рассчитывается для Zipf-распределения с коэффициентом искажения 0,271.

С использованием предлагаемого адаптивного метода распределения ресурсов найдем оптимальное распределение ресурсов, минимизирующее вероятность блокирования обслуживания. На рис. 7 представлена вероятность блокировки при различных показателях потока запросов (request rates) в случае передачи контента в количестве, изменяющемся от 1 до 25, как и в рассмотренной выше модели. Анализ полученных результатов показывает, что высокая производительность передачи видео по многоадресным каналам за несколько сеансов достигается при передаче 8 особо популярных видео. Этот результат позволяет определить количество контента, которое необходимо доставить для оптимальной работы канала передачи.

На основе приведенного распределения контента сравним возможность возникновения блокировки сервиса при использовании традиционного и предлагаемого способов передачи контента. На рис. 8 видно, что с увеличением времени обслуживания запросов сервиса вероятность блокировки сервиса увеличивается. В случае, когда время обслуживания составляет менее 3 мин, клиенты не отмечают задержки в поступлении видео. Однако при увеличении времени обслуживания блокировка сервиса становится более заметной. В этом случае предлагаемый алгоритм может обеспечить низкую вероятность блокирования.

Оценим эффективность каждой схемы для поставщика IPTV-услуг. На рис. 9 приведены результаты, полученные с использованием модели расчета вознаграждения (штрафа) поставщика услуг. Предполагалось, что при успешной работе базовой станции за передачу

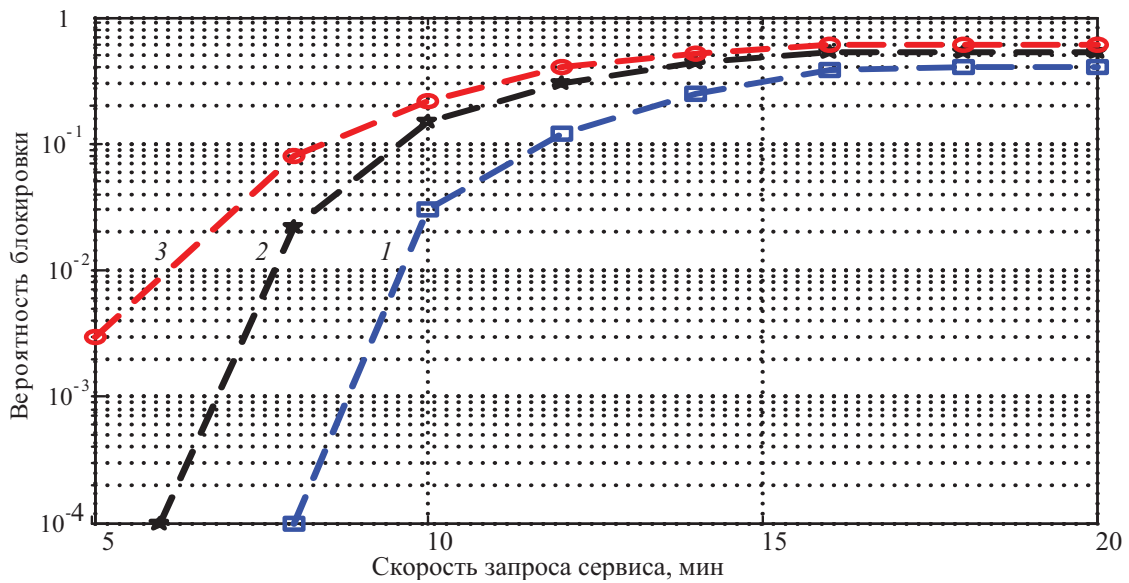


Рис. 8. Вероятность блокирования VoD-сервиса:

1 — предлагаемый алгоритм, 2 — одноадресный алгоритм, 3 — многоадресный алгоритм

одного VoD IPTV без блокирования система получает вознаграждение в размере $R=\$10$. В противном случае, если запрос пользователя отклоняется, поставщик услуг теряет вознаграждение в сумме $L=\$5$.

Поскольку трафик растет, доход, полученный при использовании каждого из обсуждаемых алгоритмов, незначительно уменьшается вследствие увеличения вероятности блокирования услуги. В случае, когда контент пользуется большим спросом (популярная спортивная игра, фильм и т. д.), применение предложенного алгоритма позволяет получить более высокий доход.

Закключение. Рассмотрен новый алгоритм, позволяющий быстро оказать мобильную услугу через широкополосную беспроводную IPTV-сеть. Предложенный алгоритм объеди-

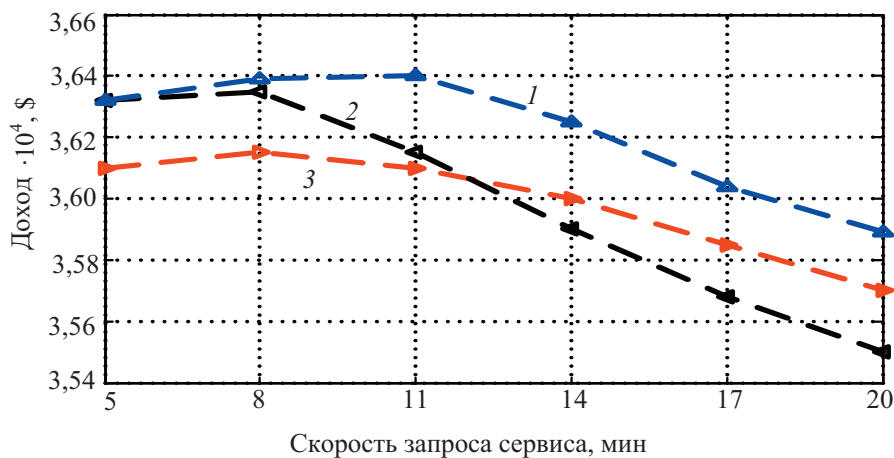


Рис. 9. Доход провайдера сервиса IPTV:

1 — предлагаемый алгоритм, 2 — одноадресный алгоритм, 3 — многоадресный алгоритм

няет одноканальный и многоканальный многоадресный способы передачи, что не только уменьшает вероятность блокирования сервиса, но и снижает нагрузку на полосы пропускания системы. При анализе выполнения предложенного алгоритма была использована одномерная модель цепи Маркова. На основе численного анализа проведено сравнение результатов работы уже существующих одноканальной и многоканальной схем передачи видеоконтента с результатами работы предлагаемой схемы. Анализ показал, что предлагаемая схема передачи видеоконтента позволяет уменьшить вероятность блокирования сервиса за счет использования для передачи контента широкополосной беспроводной сети. Кроме того, уменьшение вероятности блокирования сервиса позволит провайдеру получить более высокий доход.

Список литературы

1. JUNN S. Fast data broadcasting and receiving for popular video service // IEEE Trans. Broadcasting. 1998. V. B-44, N 1. P. 100–105.
2. RETNASOTHIE F., OZDEMIR M., YUCEK T., ET AL. Wireless IPTV over WiMAX: challenges and applications // Proc. IEEE wireless and microwave technology conf., Clearwater (Florida), Dec. 2006. P. 1–5.
3. МАЧН Р., ВЕСТАК R. WiMAX performance evaluation // Proc. of the 6th Intern. conf. on networking, Washington (USA), 22–28 Apr. 2007. P. 17.
4. CHEN W., LEE Y. T. A broadcasting scheme with supporting VCR functions for Near Video-on-Demand systems // Comput. Commun. 2006. V. 29. P. 257–267.
5. ГЕРГЕС М. С. Улучшение схемы передачи IPTV-VoD в широкополосных сетях // Материалы 63-й Науч.-техн. конф. С.-Петерб. гос. ун-та телекоммуникаций, СПб., 21 февр. 2011 г. СПб: СПбГУТ, 2011. С. 186–187.

*Гергес Мансур Салама — асп. Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. М. А. Бонч-Бруевича;
e-mail: gergesmansour@yahoo.com*

Дата поступления — 25.04.11