

# ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА ПОДДЕРЖКИ ОЧЕРЕДНОСТИ ПАКЕТОВ В СЕТИ IPTV

Гергес Мансур Салама

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

УДК 681.3

С точки зрения сетей связи виртуализация сети позволяет не только решить чисто операционные проблемы, но и найти выход из возникающих в Интернете тупиковых ситуаций. Использование и выбор путей коллективного доступа — сложный процесс, приводящий к необходимости упорядочивания последовательности пакетов вследствие различия характеристик задержки в сетях IPTV, имеющих стохастический характер. Проведен анализ поведения системы с восстановлением порядка следования пакетов при одновременной мультимедийной передаче, а также факторов, влияющих на этот процесс.

**Ключевые слова:** IP-телевидение, измерение вариации задержки пакетов, пакетный буфер, упорядочение пакетов.

From the viewpoint of communication networks Network Virtualization (NV) extends beyond pure operational issues and addresses many of the impasses of the current Internet. The application and selection of concurrent paths is rather complex and introduces inevitable packet re-ordering due to different stochastic delay characteristics on the used paths for IPTV. First, concurrent multi-path transmission will inevitably introduce packet re-ordering due to different stochastic packet delay characteristics on the different paths. Second, the different stochastic delay processes can amend each other in their negative effects on the packet re-ordering. Third, the strength and occurrences of these combination effects are highly non-intuitive. Thus, an analysis of the fundamental behaviors and factors for packet re-ordering in concurrent multi-path (CMP) transmission has to be carried out and will be presented in this paper.

**Key words:** IPTV, packet delay variation (PDV), packet buffer, re-ordering.

**Введение.** Независимость от специфических транспортных ресурсов передачи данных, т. е. от специфических физических ресурсов или от их местонахождения, достигается путем объединения коллективных транспортных ресурсов и выбора наиболее подходящих из них для исключительного (единственного в своем роде) или одновременного использования. Однако выбор оверлейных путей достаточно сложен, что приводит к необходимости повторного упорядочивания пакетов вследствие различия стохастических характеристик времени задержки в путях, используемых сетью цифрового интерактивного телевидения IPTV (Internet protocol television). Сначала пакеты, прибывающие к месту назначения с нарушением порядка следования, сохраняются в буфере, определяющем их первичную последовательность, а затем вновь собранные пакеты направляются потребителю. В данной работе выполняется анализ основных моделей поведения пакетов данных в процессе их повторного упорядочивания в условиях одновременной передачи данных по различным путям в сети IPTV.

**1. Изменение времени задержки пакета.** Изменение времени задержки пакета (packet delay variation (PDV)) — это разность между максимальным и минимальным временем задержки пакета при его прохождении по каналу связи. Этот показатель используется в приложениях для определения размера буфера, который потребуется принимающей стороне для восстановления очередности следования пакетов, заданной в точке их отправления [1].

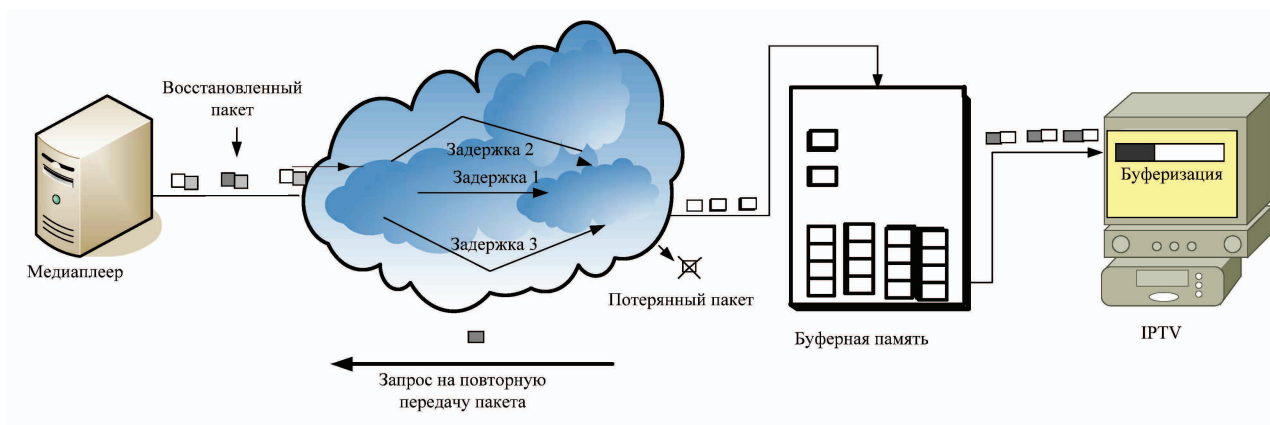


Рис. 1. Схема передачи пакетов данных от медиасервера потребителю

Вследствие задержки во времени прохождения данных (вследствие джиттера) время передачи некоторых пакетов от медиасервера потребителю меняется, а некоторые пакеты во время передачи теряются.

На рис. 1 показано, каким образом сохранение пакета в буфере может быть использовано для уменьшения негативных последствий задержек пакетов и их потери для систем медиапотоков.

**2. Механизм распределения данных.** На рис. 2 показан механизм распределения данных для передачи медиапотоков в IP-телевидении. Поток данных разделен на сегменты, каждый из которых в свою очередь разбит на  $k$  пакетов. Эти  $k$  пакетов потока данных передаются набором путей, т. е. передаются одновременно по  $k$  различным оверлейным линиям. Принимающий маршрутизатор повторно собирает эти пакеты. Поскольку пакеты потока данных испытывают стохастически меняющиеся задержки, они могут достигать принимающего маршрутизатора через различные интервалы времени. Поэтому пакеты могут приходить “не по порядку”. Необходимо отметить, что изменение порядка следования пакетов возможно лишь при одновременном распространении данных по различным путям переда-

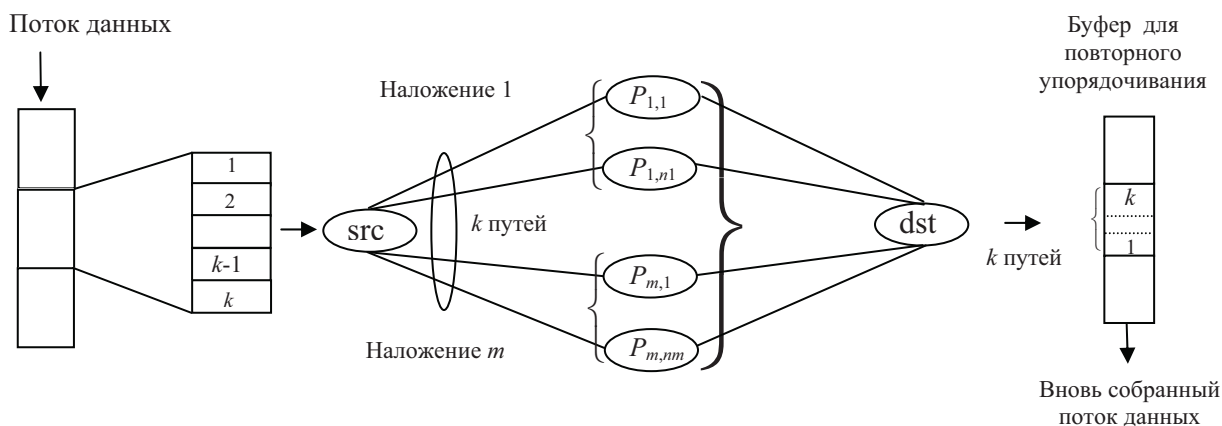


Рис. 2. Механизм распределения данных:

$k$  — количество пакетов в сегментах, на которые SOR-роутер поделит поток данных (совпадает с количеством путей, ведущих к пункту назначения);  $m$  — количество наложений; src — преобразование частоты дискретизации; dst — место назначения

чи. Последовательность передачи пакетов по одному пути не нарушается, так как обычно пакеты не могут обгонять друг друга [2].

При одновременном распространении данных по различным путям передачи пакеты с нарушенным порядком следования могут оказывать негативное влияние на прикладные характеристики. Для уменьшения этого влияния принимающий маршрутизатор поддерживает окончательный буфер повторного упорядочивания пакетов. Тем не менее, когда буфер переполняется, а принимающий маршрутизатор еще ждет пакеты, которые продолжают поступать, может иметь место потеря вновь поступающих пакетов, что приводит к ухудшению качества переданного изображения. Поэтому целью управления системой является минимизация времени занятости буфера повторного упорядочивания пакетов путем выбора путей с соответствующими характеристиками времени задержки.

**3. Модель моделирования.** Характеристики занятости буфера повторного упорядочивания пакетов исследуются методом дискретного моделирования путем определения дискретной последовательности событий. Модель моделирования допускает непрерывный поток данных. Этот поток разделен на пакеты, которые посылаются одновременно по двум или трем путям. Задержка в пути моделируется с помощью дискретного распределения времени задержки на единичном отрезке времени, причем за каждый единичный отрезок времени по данному пути проходит один пакет. Для того чтобы получить реальную картину различных задержек в буфере повторного упорядочивания пакетов, нужно точно знать, что переупорядочивание пакетов не может произойти за пределами буфера. Это означает, что независимо от момента возникновения случайной задержки пакета в пути, предыдущая задержка должна рассматриваться одновременно с генерацией следующего пакета. Следовательно, текущая задержка в данном пути всегда должна быть больше или равна разности предыдущей задержки в пути и интервала времени между предыдущим и текущим пакетами.

**4. Моделирование задержки пакета.** Прежде чем перейти к описанию предложенной модели задержки пакета, исследуем воздействие “грубой” модели задержки на занятость буфера. С этой целью рассмотрим одновременную передачу данных по двум путям с одинаковой полосой пропускания. Предположим, что оба пути имеют одинаковые распределения времени задержки, соответствующие усеченному нормальному распределению (закону Гаусса) со средним значением интервала времени  $\mu = 50$  и стандартным отклонением по времени  $\sigma = 20$ . Продолжительность цикла моделирования выберем равной 1 млн интервалов времени и выполним пять таких циклов с различными начальными значениями. Рассмотрим два сценария: 1) распределение времени задержки не позволяет переупорядочивать пакеты в одном пути; 2) распределение времени задержки позволяет переупорядочивать пакеты в одном пути. На рис. 3 показаны распределения занятости буфера повторного упорядочивания пакетов для указанных сценариев. Видно, что для зависимых и независимых задержек пакетов распределения занятости буфера существенно различаются. В случае независимой случайной задержки распределение занятости буфера повторного упорядочивания пакетов соответствует нормальному закону распределения. В случае зависимого случайного числа генераций время занятости буфера повторного упорядочивания пакетов значительно меньше. Таким образом, при независимых задержках пакетов занятость буфера существенно выше, чем при зависимых. Следовательно, для получения точных результатов при моделировании необходимо использовать зависимое распределение задержки пакетов, которое не предусматривает переупорядочивания пакетов в пути [3].

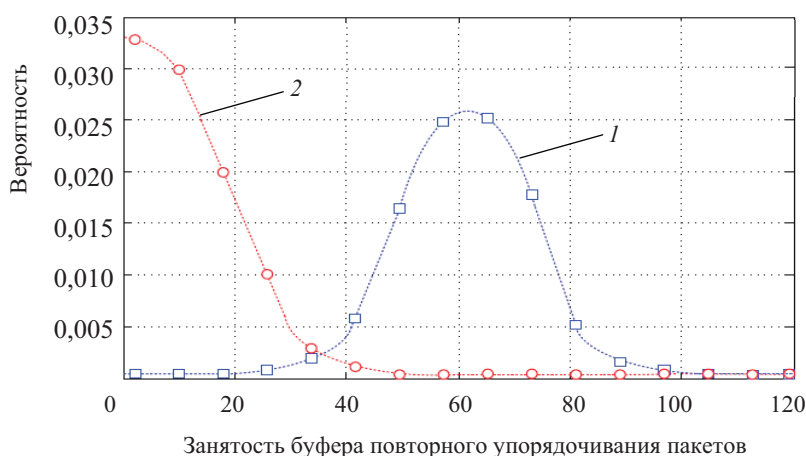


Рис. 3. Занятость буфера в случае повторного упорядочивания пакетов в пути (1) и в его отсутствие (2)

**5. Характеристика занятости буфера повторного упорядочивания пакетов для различных задержек в пути.** Выбор одновременно используемых трактов является достаточно сложной задачей. Одновременная многолучевая передача (СМР) приводит к необходимости восстановления порядка следования пакетов вследствие различия стохастических характеристик задержки пакетов в различных трактах. При этом различная стохастическая задержка пакетов может нивелировать негативный эффект, возникающий вследствие изменения порядка следования пакетов. Задержка передачи данных включает задержки распространения сигнала, ожидание в очереди и вычислительную задержку в каждом маршрутизаторе на всем пути следования пакета данных. Ниже приведено описание влияния различного распределения задержек в IPTV при многолучевом распространении.

5.1. *План исследования одного события.* Согласно данному плану необходимо исследовать занятость буфера повторного упорядочивания для различных распределений задержек в пути. Прежде всего необходимо изучить поведение системы в случае подобных распределений задержек пакетов в пути с равными средними значениями и равными стандартными отклонениями. Далее следует изучить различные распределения задержек пакетов в пути, т. е. распределения с равными средними значениями задержек, но с различными стандартными отклонениями. Наконец, для одного типа распределения необходимо изучить влияние различных параметров задержки в пути и представить результаты одновременной передачи пакетов по двум или трем путям [4].

5.2. *Эксплуатационная надежность (ошибкоустойчивость) занятости буфера при одинаковых распределениях задержки в пути.* Исследован процесс передачи пакетов по двум одинаковым путям и проведено сравнение типов распределения задержек двух подобных путей. Результаты этих экспериментов представлены на рис. 4 в виде функций распределения вероятностей при  $\mu = 50, \sigma = 20$  и  $\mu = 25, \sigma = 10$ . Для обеих групп параметров различие между задержками в пути, которые распределены по двум одинаковым гамма-распределениям, и задержками в пути, которые распределены по двум одинаковым законам Гаусса, является незначительным и может не учитываться. Таким образом, при одинаковых средних значениях и отклонениях подобные типы распределений оказывают приблизительно одинаковое влияние на занятость буфера. Поэтому эксплуатационная надежность занятости буфера, т. е. инвариантность физических законов в пределах данного семейства распределений задержек пакетов, является достаточно высокой. Следовательно, можно использовать тип распределения с наименьшими затратами на вычисления.

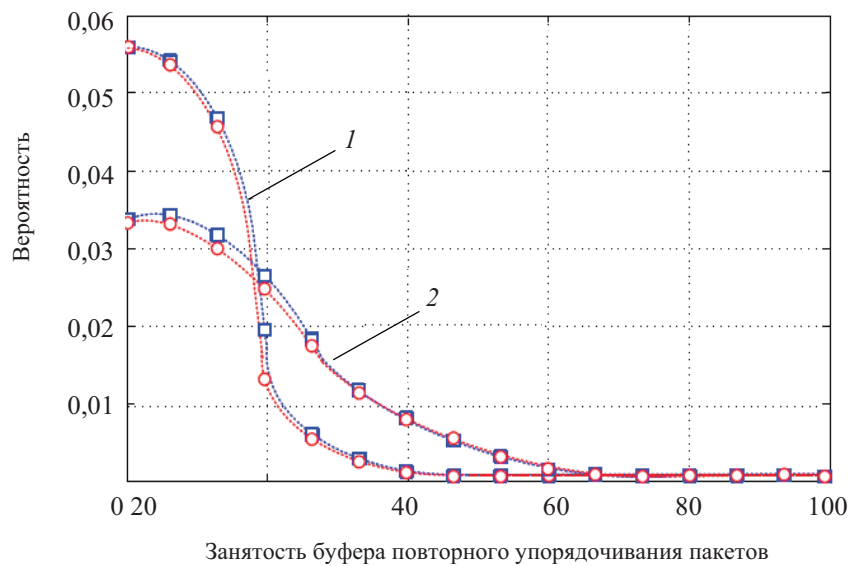


Рис. 4. Занятость буфера с повторным упорядочиванием пакетов в пути для подобных распределений задержек пакетов в пути: синяя линия — закон Гаусса, красная — гамма-распределение; 1 —  $\mu = 25$ ,  $\sigma = 10$ , 2 —  $\mu = 50$ ,  $\sigma = 20$

5.3. *Влияние различных параметров задержки в пути на занятость буфера.* Исследовано поведение системы при прохождении пакетов по трем путям. Результаты этого исследования представлены на рис. 5 в виде функции распределения вероятностей для пяти различных сценариев: 1) все пути имеют одинаковые параметры  $\mu = 50$ ,  $\sigma = 10$ ; 2) все пути имеют одинаковые параметры  $\mu = 25$ ,  $\sigma = 10$ ; 3) два пути имеют параметры  $\mu = 50$ ,

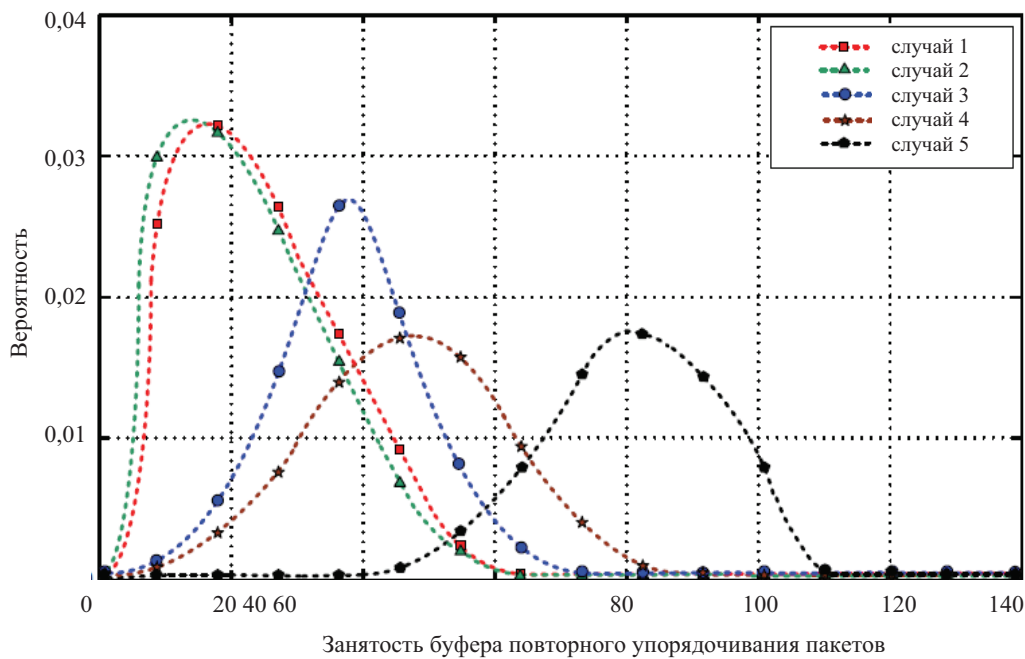


Рис. 5. Занятость буфера при прохождении пакетов данных одновременно по трем путям: 1 — сценарий 1; 2 — сценарий 2; 3 — сценарий 3; 4 — сценарий 4; 5 — сценарий 5

$\sigma = 10$ , а один путь — параметры  $\mu = 25$ ,  $\sigma = 10$ ; 4) два пути имеют параметры  $\mu = 25$ ,  $\sigma = 5$ , а один путь — параметры  $\mu = 50$ ,  $\sigma = 10$ ; 5) два пути имеют параметры  $\mu = 25$ ,  $\sigma = 5$ , а один путь — параметры  $\mu = 50$ ,  $\sigma = 10$ . Видно, что для сценариев 1, 2 распределения буфера занятости подобны. Следовательно, задержка сама по себе не оказывает влияния на занятость буфера, как было показано выше для соответствующей занятости буфера по двум путям. Заметим, что в случае сценария 4 время задержки почти в два раза больше, чем в случае сценария 3. На первый взгляд чем больше путей с небольшой задержкой по времени, тем качественнее должна быть передача данных, однако это неверно (см. сценарий 4). Рассмотрим сценарий 4 более подробно. Предположим, имеется одиночный пакет с большим временем задержки. К моменту прихода этого запаздывающего пакета буфер повторного упорядочивания может быть заполнен пакетами из путей с малым временем задержки. Таким образом, путь с большой задержкой пакетов является доминирующим среди прочих путей, так как оказывает наиболее существенное влияние на занятость буфера.

Наконец, в случае сценария 5 с точки зрения занятости буфера система работает хуже, чем в случае сценария 4. При этом стандартное отклонение на более коротких путях меньше, чем в случае сценария 4, и, следовательно, большие и малые задержки маловероятны.

**Заклучение.** В работе объяснена идея способа повторного упорядочивания пакетов, обеспечивающего абстрактную независимость одновременной передачи данных по различным путям от местоположения ресурсов транспортировки данных в сети цифрового интерактивного телевидения (IPTV). Подтверждено предположение о том, что в случае одновременной передачи данных по различным путям переупорядочивание пакетов неизбежно вследствие различия стохастических свойств задержки на путях передачи данных.

## Список литературы

1. HARTE L. IPTV testing: Service quality monitoring, analyzing, and diagnostics for IP television systems and services. West Vance Street Fuquay Varina, NC 27526 USA: Althos publishing, 2008. P. 65–67.
2. NEBAT Y., SIDI M. Resequencing considerations in parallel downloads // Proc. of the 21st Annual joint conf. of the IEEE computer and communications societies (INFOCOM). S. 1.: IEEE. V. 3. 2002. P. 1326–1335.
3. LANE J., NAKAO A. Best-effort network layer packet reordering in support of multipath overlay packet dispersion // Proc. of the Global telecommunications conf., New Orleans, Nov.–Dec. 2008. S. 1.: IEEE, 2008. P. 2457–2462.
4. GUMMADI K., MADHYASTHA H., GRIBBLE S., ET AL. Improving the reliability of internet paths with one-hop source routing // Proc. OSDI'04, San Francisco (Ca., USA), Dec. 2004. P. 183–198.

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

Дата поступления — 27.07.2010