

УДК 621.396.49

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА СОВМЕСТНОЙ
ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ
ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА С ТРАФИКОМ
ПРОТОКОЛОВ TCP, HTTP, FTP**

Ю. С. Винтенкова, С. В. Козлов, Е. А. Спирина

**Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева**

Статья поступила в редакцию 9 декабря 2015 г.

Аннотация. В работе с использованием моделирующего комплекса «OFDM Analyzer» проводится сравнительный анализ среднего времени доставки пакетов и скоростей передачи информации, обеспечиваемых методами совместной динамической и фиксированной маршрутизации.

Ключевые слова: маршрутизация, сети широкополосного радиодоступа, время доставки, пропускная способность.

Abstract. This article represents the comparative analysis of average packet delivery time and subscriber data rate provided by collective dynamic routing and fixed routing by means of «OFDM Analyzer» modeling software.

Key words: routing, wideband radio access networks, delivery time, throughput.

Введение

В работе [1] решается задача повышения пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа за счёт снижения потока внутрисистемных помех с помощью нового метода маршрутизации. Особенность этого метода маршрутизации заключается в выборе маршрутов доставки информации на основе анализа сформированных допустимых вариантов доставки информации (маршрутов) с учётом взаимного влияния входящих в них каналов связи. Таким образом, предложенный в [1] метод маршрутизации можно назвать методом совместной динамической маршрутизации.

Однако при анализе эффективности метода совместной динамической маршрутизации в [1] не учитывается специфика формирования вектора информации, поступающего на вход маршрутизатора, который в реальных сетях определяется случайным количеством пакетов, поступающих в случайные моменты времени. В связи с этим, актуальной задачей является анализ эффективности предложенного метода для различных видов трафика, используемых в сетях широкополосного радиодоступа.

1. Постановка задачи

В настоящее время в большинстве существующих сетей широкополосного радиодоступа используется метод статической маршрутизации.

Для проведения корректного анализа эффективности метода совместной динамической маршрутизации по сравнению с методом статической маршрутизации необходимо выбрать показатель эффективности и набор параметров, относительно которых следует проводить анализ зависимостей.

Одной из основных характеристик сетей широкополосного радиодоступа является их пропускная способность, повышение которой, как показано в [1], может быть достигнуто путём минимизации времени доставки пакетов. Поэтому в этой работе в качестве показателей эффективности этих методов маршрутизации рассмотрим среднее время доставки пакетов.

В качестве основных параметров, влияющих на выбранный критерий, следует отметить: вид передаваемого по сети трафика, требуемые скорости передачи информации и интервал T^I формирования вектора информации \vec{I} .

Эта работа посвящена анализу эффективности метода совместной динамической маршрутизации в смысле относительного снижения времени доставки пакетов для распространённого в сетях широкополосного радиодоступа TSP, HTTP, FTP трафика в зависимости от требуемой скорости передачи информации и интервала T^I формирования вектора информации. Получение указанных оценок эффективности является актуальной задачей для определения конкурентоспособности этого метода маршрутизации.

2. Решение задачи

Для решения поставленной задачи необходимо разработать моделирующий комплекс, включающий генератор трафика, процедуры, реализующие методы совместной динамической и статической маршрутизации, вычисления среднего времени доставки и оценки эффективности. Структурная схема моделирующего комплекса «OFDM Analyzer» приведена на рис.1.

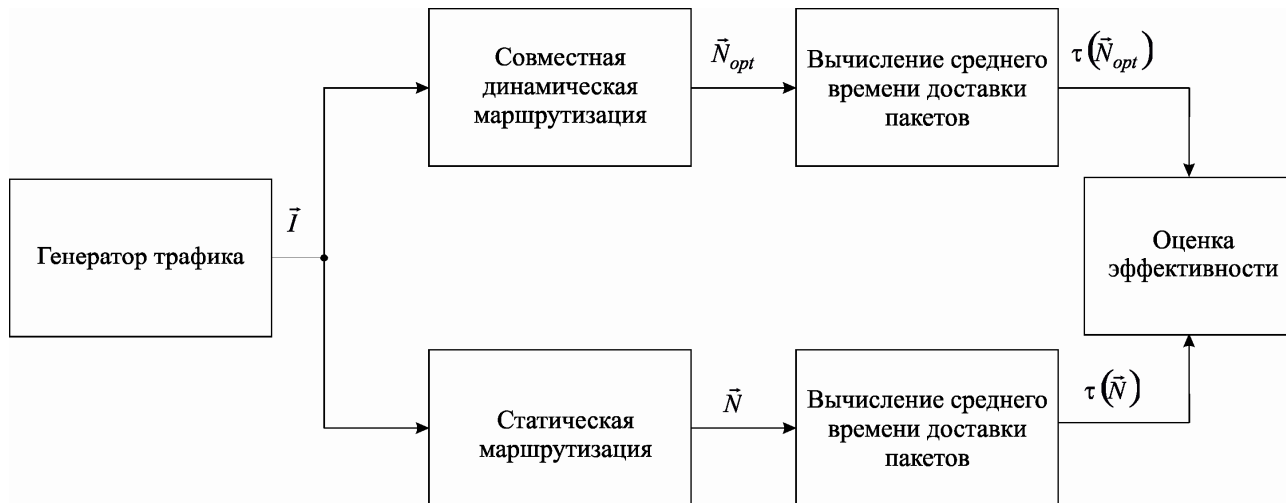


Рисунок.1. Структурная схема моделирующего комплекса «OFDM Analyzer»

Будем считать, что как и в [1] сеть содержит $m = \overline{1, M}$ передающих и $l = \overline{1, L}$ приёмных узлов.

Первым этапом разработки моделирующего комплекса является синтез алгоритма генератора трафика. Согласно спецификации IEEE 802.16.3c-00/51 TCP, HTTP, FTP трафик может быть сгенерирован с помощью модели 4IPP, параметры которой корректируются на основе базовых коэффициентов [2], с учётом требуемой скорости передачи информации для каждого из приёмных узлов.

Согласно этой модели генератор трафика для каждого из приёмных узлов представляет собой суперпозицию четырех прерванных пуассоновских процессов, каждый из которых содержит генератор пуассоновского потока событий, заданный интенсивностью потока λ , и генератор ON/OFF потока, заданный интенсивностями переходов C_1 и C_2 из состояний ON в OFF и OFF в

ON, соответственно. На выходе генератора формируется последовательность времён передачи пакетов для всех приёмных узлов.

На втором этапе определяется вектор $\vec{I} = (I_1, \dots, I_L)$ как сумма длин пакетов, сгенерированных на заданном интервале формирования вектора информации T^I .

В сетях широкополосного радиодоступа время доставки информации кратно длительности OFDM символа. Выберем в качестве интервала анализа T_A наименьшее общее кратное длительности OFDM символов во всех канала связи сети широкополосного радиодоступа. Тогда объём информации, доставляемый до l -го приёмного узла за интервала анализа T_A , составит \tilde{I}_l^b бит:

$$\tilde{I}_l^b = V_l^b \cdot T_A, \quad (1)$$

где V_l^b – скорость передачи информации до l -го приёмного узла по маршруту b .

В этом случае критерий выбора оптимального вектора кратности использования маршрутов \vec{N}_{opt} , в соответствии с [1], может быть сформулирован в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{N}_{opt} = \arg \min_{\vec{N}} \left(\sum_{b=1}^B N^b \right) \\ \sum_{b=1}^B N^b \cdot \tilde{I}_l^b \geq I_l, \quad l = \overline{1, L}, \\ N^b \geq 0 \\ N^b \in Z, \quad b = \overline{1, B} \end{array} \right. \quad (2)$$

где $\vec{N} = (N^1, N^2, \dots, N^B)$ – вектор кратности использования маршрутов.

В этом случае время доставки вектора информации \vec{I} определяется как:

$$\tau(\vec{N}) = T_A \cdot \sum_{b=1}^B N_{opt}^b. \quad (3)$$

Значение оптимального вектора кратности использования маршрутов \vec{N}_{opt} , согласно выражению (2), является решением задачи целочисленного линейного программирования.

Для решения задач целочисленного линейного программирования применяются алгоритмы на основе исключений Гомори и метод ветвей и границ [3]. Все эти методы имеют свои преимущества и недостатки. Так, алгоритмы на основе исключений Гомори имеют меньшую вычислительную сложность, но склонны к закликиванию. В свою очередь, метод ветвей и границ обеспечивает получение решения за конечное значение циклов, которое имеет показательную зависимость от количества переменных. Ещё одним преимуществом метода ветвей и границ является возможность досрочного прекращения вычислений при достижении целевой функции заданных ограничений.

Поэтому для решения задачи (2) в этой работе использовался метод ветвей и границ с ограничением на количество итераций.

На следующем этапе разрабатывается процедура реализации статической маршрутизации. В этом случае все приёмные узлы жёстко распределяются между передающими узлами, выполняющими роль шлюзов для доставки пакетов. Все пакеты, сгенерированные на интервале формирования вектора информации T^I распределяются на M независимых очередей для каждого из передающих узлов в порядке их формирования. Для каждого интервала анализа T_A выбирается маршрут доставки информации, определяемый фактами наличия пакетов во всех очередях. В зависимости от выбранного маршрута определяется количество бит информации, доставляемых до каждого из приёмных узлов за этот интервал. Общее время доставки информации определяется количеством интервалов анализа T_A , необходимых для передачи вектора \vec{I} .

Оценка эффективности проводится на основе получаемых средних времён доставки и заключается в вычислении трёх величин: отношений

средних времён доставки пакетов по обоим методам маршрутизации к интервалу формирования вектора информации T^I и относительного снижения среднего времени доставки пакетов при методе совместной динамической маршрутизации по сравнению с методом статической маршрутизации.

3. Пример решения

В качестве примера рассмотрим участок реальной сети широкополосного радиодоступа стандарта 802.11n, содержащий 11 абонентских комплектов (АК), являющихся приёмными узлами сети, подключенных к двум базовым станциям (передающим узлам сети), выполняющим роль шлюзов при доставке пакетов до АК, согласно таблице 1.

Таблица 1. Соответствие БС и АК.

№ БС	IP БС	F БС, МГц	№ АК	IP АК
1	10.10.10.10	6140	1	10.10.10.11
			2	10.10.10.12
			3	10.10.10.13
			4	10.10.10.14
			5	10.10.10.15
2	10.10.10.20	6120	6	10.10.10.21
			7	10.10.10.22
			8	10.10.10.23
			9	10.10.10.24
			10	10.10.10.25
			11	10.10.10.26

Для рассмотренного участка сети широкополосного радиодоступа полоса частот каналов каждой из БС составляла 20 МГц, что соответствует интервалу анализа $T_A=4$ мкс. Для этого участка сети был проведён его анализ, в процессе которого на основе выражений, приведённых в [1], было определено, что количество допустимых маршрутов доставки пакетов равно 132. Для каждого из этих маршрутов с использованием методики [3] были определены скорости передачи информации до АК V_l^b и объёмы информации \tilde{I}_l^b , доставляемые до всех АК $l = \overline{1, L}$.

Далее, согласно модели трафика, на интервале в 10 секунд генерировались пакеты, для всех АК. Заданная скорость передачи информации

считалась одинаковой для всех АК и варьировалась в пределах от 1 до 10 Мб/с. В работе рассматривался интервал формирования вектора информации T^I в диапазоне от 10мкс до 100мс.

На рисунке 2 представлены нормированные графические зависимости среднего времени доставки пакетов $\tau(\bar{N})/T^I$ для сравниваемых методов маршрутизации и заданных скоростей передачи информации от интервала формирования вектора информации T^I .

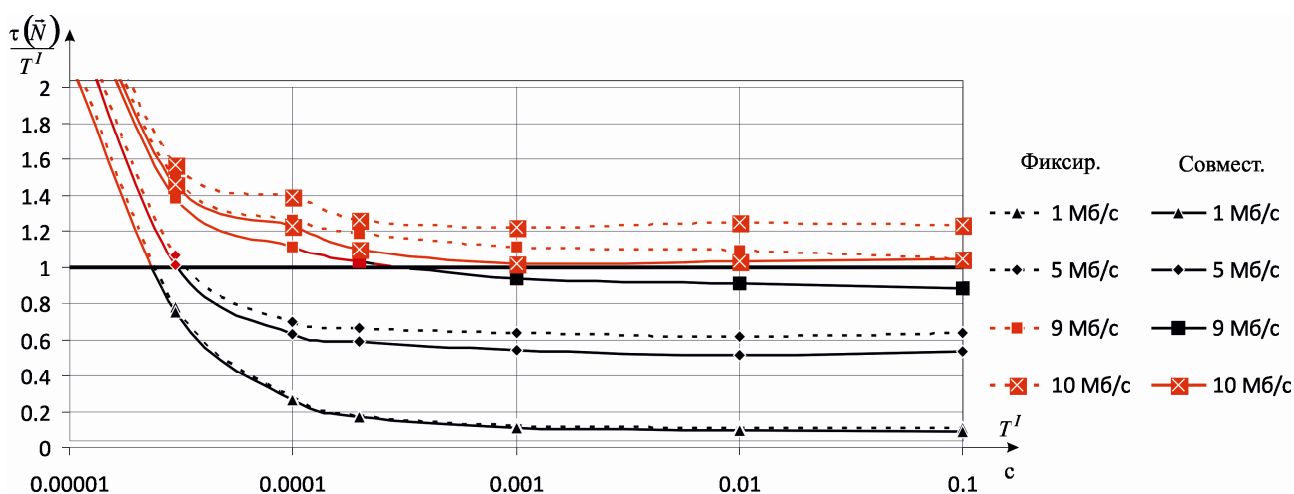


Рисунок.2. Зависимости среднего времени доставки пакетов от интервала формирования вектора информации

На рисунке 2 жирной горизонтальной линией выделено пороговое значение отношения среднего времени доставки к интервалу T^I . При значениях отношения больших 1 время доставки пакетов превышает длительность интервала формирования вектора информации, что приводит к накоплению задержки. Следовательно, параметры сети, лежащие выше порогового значения, не могут использоваться. Соответствующие им кривые выделены красным цветом. Поэтому дальнейшее исследование будет проводиться только для допустимых значений параметров сети, графики которых выделены чёрным цветом.

Анализ приведённых на рисунке 2 кривых показывает, что относительное среднее время доставки пакетов для метода совместной динамической маршрутизации всегда меньше, чем для метода статической маршрутизации.

Получаемый выигрыш увеличивается с увеличением заданной скорости передачи информации и интервала T^I . Однако при увеличении интервала T^I более 1 мс уменьшение относительного времени доставки пакетов незначительно.

На рисунке 3 приведены зависимости снижения среднего времени доставки пакетов при методе совместной динамической маршрутизации по сравнению с методом статической маршрутизации $(\tau(\vec{N}) - \tau(\vec{N}_{opt})) / \tau(\vec{N})$, выраженные в процентах.

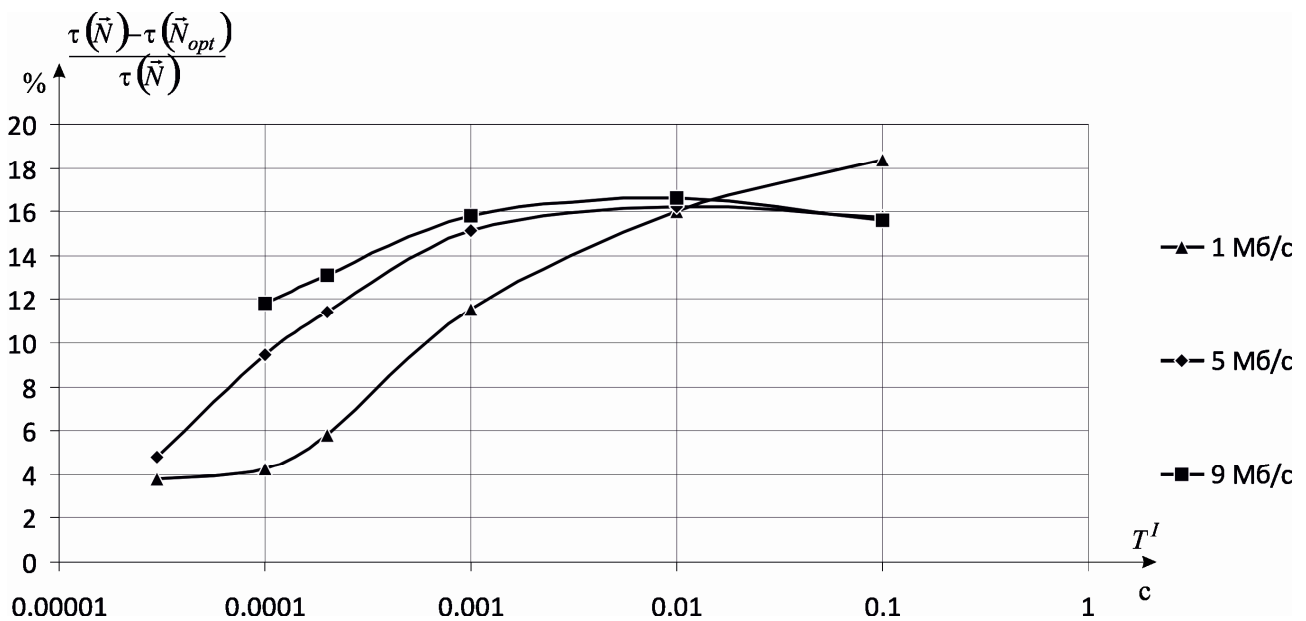


Рисунок.3. Зависимости снижения среднего времени доставки пакетов от интервала формирования вектора информации

Из приведённых на рисунке 3 графиков видно, что для интервала формирования вектора информации T^I , большем 1 мс, выигрыш для скоростей передачи информации, начиная с 5 Мб/с, увеличивается незначительно, в то время как вычислительная сложность реализации алгоритма и абсолютное значение задержки доставки пакетов увеличиваются. Следовательно, как уже упоминалось в [5], оптимальное значение интервала T^I можно принять равным 1 мс.

Значения выигрыша в скорости передачи информации $V_l^C - V_l^S / V_l^S$,

обеспечиваемые методом совместной динамической маршрутизации V_I^C по сравнению с методом статической маршрутизацией V_I^S , для $T^I=1$ мс в процентах для заданных скоростей и всех АК приведены на рисунке 4.

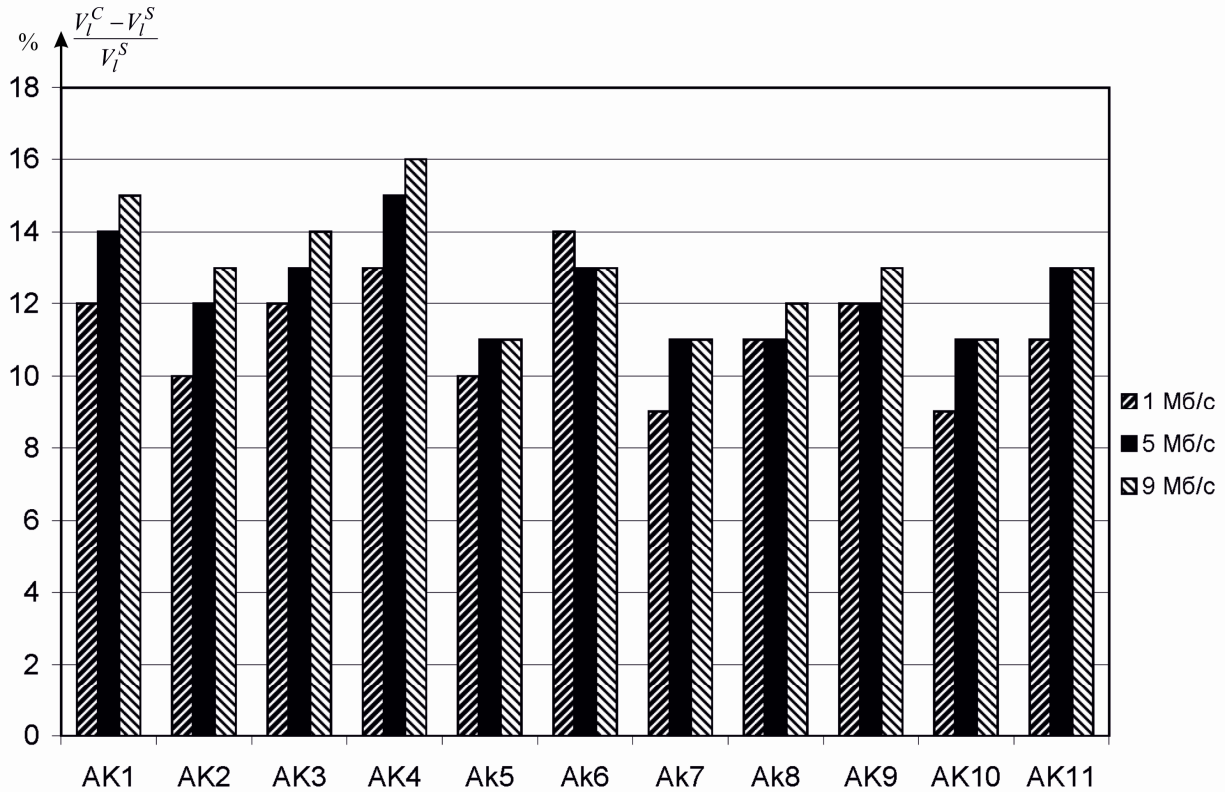


Рисунок.4. Выигрыш в скорости передачи информации для всех АК

Заключение

В результате проведенного анализа эффективности метода совместной динамической маршрутизации в сетях широкополосного радиодоступа с трафиком протоколов TCP, HTTP, FTP показано, что:

1. рассмотренный метод обеспечивает снижение среднего времени доставки пакетов и повышение скорости передачи информации по сравнению с методом фиксированной маршрутизации, в основном применяемым в настоящее время;
2. получаемый выигрыш увеличивается с ростом заданных скоростей передачи информации и увеличением интервала формирования вектора информации;

3. существует оптимальное значение интервала формирования вектора информации, равное 1 мс.
4. для выбранного участка сети широкополосного радиодоступа и заданных скоростей передачи информации, начиная с 5 Мб/с, применение совместной динамической маршрутизации при оптимальном интервале формирования вектора информации обеспечивает снижение среднего времени доставки на 15%, при росте скоростей передачи информации в диапазоне от 11% до 16%.

Следовательно, применение метода совместной динамической маршрутизации позволит повысить пропускную способность сетей широкополосного радиодоступа.

Литература

1. Спирина Е. А. Оптимизация распределения информации в фиксированных сетях широкополосного радиодоступа с учетом внутрисистемных помех. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep15/5/text.pdf>.
2. Vaugh C. and Huang J. Traffic model for 802.16 TG3 MAC/PHY simulations, IEEE 802.16 Contribution 802.16.3c-01/30r1, March 2001. URL: http://IEEE802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_30r1.pdf.
3. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях: Пер. с англ. И.Л. Бузыцкого, Е.В. Левнера, Б.Г. Литвака. /Под ред. А.А. Фридмана. М.: Мир, 1974. 520 с.
4. Петрова Е.А. Оценка гарантированной информационной скорости передачи в сетях широкополосного радиодоступа с учетом внутрисистемных помех // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2014. №10. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/7/text.html>.
5. Козлов С.В., Винтенкова Ю.С. Анализ эффективности метода маршрутизации, учитывающего внутрисистемные помехи, для фиксированных сетей широкополосного радиодоступа с трафиком протоколов TCP, HTTP, FTP.

// В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2015; Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2015 Материалы Международных научно-технических конференций. Уфа, 2015. Том 1. С 91-93.