

Анализ эффективности функционирования методов многоадресной маршрутизации в мультисервисных сетях связи

В.О. Жарикова

В статье проведён количественный анализ эффективности функционирования методов многоадресной маршрутизации в мультисервисных сетях (МСС). Предложены рекомендации по применению методов многоадресной маршрутизации в условиях различной степени нестационарности сети.

Ключевые слова: многоадресная маршрутизация, маршрут, мультисервисные сети.

1. Введение

В настоящее время, опубликовано большое количество работ, посвящённых анализу методов маршрутизации [1 – 7, 11 – 13]. Как правило, анализ проводится на качественном (описательном) уровне либо путём имитационного моделирования. Качественный анализ не даёт количественной оценки возможности применения тех или иных методов маршрутизации в МСС, что затрудняет принятие решения по их использованию. Программные продукты имитационного моделирования, как правило, очень дорогостоящие и позволяют решать ограниченное количество задач, заложенных производителем программного обеспечения [9].

В статье предлагается подход, позволяющий получить количественные оценки влияния различных методов многоадресной маршрутизации на эффективность использования сетевых ресурсов МСС в условиях различной степени нестационарности сети.

2. Классификация методов многоадресной маршрутизации

2.1. Основные определения предметной области «маршрутизация»

Введём основные определения, необходимые для дальнейшего изложения материала.

Маршрут – список элементов сети связи (узлов коммутации, линий связи, трактов передачи сообщений, каналов связи и других структурообразующих элементов сети), начинающийся с узла-источника передаваемой информации и заканчивающийся в узле-получателе [8].

Виды маршрутов [8]:

- одноадресный – маршрут между узлом-источником и узлом-получателем (конфигурация соединения «точка – точка»);

- многоадресный, маршрут между узлом-источником и группой узлов-получателей.

Многоадресный маршрут может быть двух типов:

- «точка – многоточие»,
- «многоточие – многоточие».

Многоадресная маршрутизация – набор процедур, необходимый для нахождения и установления оптимального по заданным параметрам маршрута между узлами-

отправителями и узлами-получателями [12], с целью передачи информации от одного источника ко многим узлам-получателям.

Виды маршрутизации [8]:

- одноадресная – реализует тип соединения «точка – точка»;
- многоадресная – реализует тип соединения «точка – многоточие» или «многоточие – многоточие».

Нестационарность сети связи [8] – изменение характеристик сети на заданном интервале времени вследствие воздействия внешних или внутренних факторов.

Под **служебной информацией** понимается [3]:

- информация, генерируемая узлами сети (маршрутизаторами) для формирования таблиц маршрутизации;
- сигнальная информация, генерируемая при установлении соединения.

2.2. Классификация методов многоадресной маршрутизации

Многоадресная маршрутизация в общем случае состоит из двух этапов:

- 1) формирование и коррекция плана распределения информации (таблиц маршрутизации);
- 2) установление соединения, т.е. реализация многоадресных маршрутов.

Первый этап, как правило, реализуется протоколами маршрутизации [1, 2 – 8, 12]. При многоадресной маршрутизации в процессе формирования таблицы маршрутизации в каждом узле формируется множество многоадресных маршрутов, оптимальных по определённым параметрам.

Процесс формирования таблиц маршрутизации может быть:

- динамическим, функционирующим во времени процессом, отображающим в течение некоторого отрезка времени реальную информацию о топологии связей в сети или наличии членов групп;
- статическим – с заданным наперёд планом распределения информации на сети связи [1].

К динамическим методам относятся:

- лавинный [1], использующий механизм периодической широковещательной рассылки служебных пакетов, в которых передаётся необходимая для построения таблиц маршрутизации информация о топологии сети;
- игровой метод [1] решает задачу оптимизации сети связи по накопленной статистике об организации маршрута между источниками и получателями, корректируя данные, записанные в таблицах маршрутизации.

К статическим методам относится логический метод [1], позволяющий определить исходящий тракт передачи сообщений, максимально близкий к геометрическому направлению получателя.

На втором этапе при многоадресной маршрутизации осуществляется реализация оптимального многоадресного маршрута в виде установления соединения между источником и группой получателей. Многоадресный маршрут имеет древовидную структуру. Можно выделить следующие механизмы установления соединения (реализации многоадресного маршрута):

- последовательный, когда для передачи информации к группе получателей в каждом узле выбирается одно дерево многоадресных маршрутов;
- параллельный, когда для передачи информации к группе получателей в каждом узле выбирается более одного дерева многоадресных маршрутов, затем реализуется наиболее подходящее по заданным критериям.

Если не все исходящие тракты передачи сообщения (ИТПС) участвуют в выборе оптимального многоадресного маршрута, а наиболее предпочтительные (например, присутствие членов группы-получателей, геометрическое направление к получателям), то метод называ-

ется последовательным градиентным. Если в выборе многоадресного маршрута участвуют любые доступные ИТПС, такой метод называется последовательным диффузным [1].

Метод установления соединения с параллельным выбором ИТПС характеризуется меньшим временем задержки при реализации оптимального по заданным параметрам дерева многоадресных маршрутов. К недостаткам можно отнести большие затраты вычислительных ресурсов маршрутизатора.

Последовательный градиентный метод позволяет организовать кратчайшие (например, по числу транзитных узлов) многоадресные маршруты.

Последовательный диффузный метод обладает большей гибкостью при обходе повреждённых участков сети, но не всегда многоадресный маршрут будет оптимальным по заданным параметрам.

На рис. 1 приведена классификация возможных методов многоадресной маршрутизации на сети связи.



Рис. 1. Классификация методов многоадресной маршрутизации

Из рисунка следует, что существует множество сочетаний методов формирования плана распределения информации и методов установления соединения. Например: лавинный с последовательным градиентным выбором исходящих трактов и т.д.

Данная классификация основана на классификации, предложенной С.Н. Новиковым, но в отличие от последней, может быть применена для анализа методов многоадресной маршрутизации.

В настоящее время применение, в виде протоколов многоадресной маршрутизации, нашли методы маршрутизации с лавинным, последовательным и диффузным выбором ИТПС (DVMP, MOSPF, PIM) и игровым с последовательным диффузным выбором ИТПС (MPLS).

Приведённая классификация методов многоадресной маршрутизации позволяет сделать вывод, что существует множество вариантов реализации различных методов многоадресной маршрутизации. Кроме того, классификация позволяет проводить целенаправленный анализ эффективности функционирования методов многоадресной маршрутизации при заданных сетевых условиях.

3. Разработка математической модели оценки влияния методов многоадресной маршрутизации на качество функционирования МСС

При формировании таблиц многоадресной маршрутизации и установлении соединения (реализации дерева многоадресных маршрутов) в сетях связи происходит обмен служебной информацией, что требует выделения некоторой части сетевых ресурсов [3]. Определим количество служебной нагрузки, создаваемой разными методами маршрутизации.

При лавинном методе для построения таблиц многоадресных маршрутов каждым из N узлов сети генерируется информация о топологии сети путём широковещательной рассылки k блоков данных размером B [бит] через равные интервалы времени T_M секунд и каждым из n узлов генерируется информация о принадлежности к группе ($N > n$). Допустим, что маршрутная информация и информация о членах группы распространяется через равные промежутки времени T_M . Количество служебного трафика, поступающего в линии связи за интервал времени T_M :

$$\lambda_{\text{л}} = \sum_{i=1}^N \frac{k \cdot B}{T_M} + \sum_{i=1}^n \frac{b}{T_M} \quad (3.1)$$

или

$$\lambda_{\text{л}} = \frac{k \cdot B \cdot N}{T_M} + \frac{b \cdot n}{T_M} \quad (3.1a)$$

Положим, что при игровом методе первоначальный план распределения информации формируется администратором вручную, т.е. маршрутная нагрузка равна нулю. Сигнальная нагрузка генерируется в ходе корректировки таблиц маршрутизации. Результатом этого процесса при многоадресной маршрутизации может быть успешно реализованное дерево многоадресных маршрутов либо отказ в установлении соединения и продолжение процедуры установления соединения в соответствии с другим деревом многоадресных маршрутов. Следовательно, можно сделать вывод о нелинейном характере нагрузки, создаваемой сигнальной информацией, передаваемой по сети связи.

Положим, что нагрузка, генерируемая сигнальной информацией, подчиняется полиномиальному закону:

$$\lambda_{\text{сиг}} = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_1 x + a_0, \quad (3.2)$$

где x – независимая переменная, a_i – коэффициенты пропорциональности. Поскольку сигнальная нагрузка имеет нелинейный характер, рассмотрим полином второй степени с коэффициентами $a_0=0$, a_1 , и a_2 . Переменная x , как показано в [3], имеет смысл коэффициента недоступности сетевых ресурсов или степени неопределённости.

Логический метод при стабильной работе сети позволяет получить максимум доступных сетевых ресурсов, поскольку маршрутная информация о геометрическом направлении узлов может быть вычислена заблаговременно, т.е. отсутствует служебная нагрузка на сеть. При увеличении нестационарности сигнальная служебная нагрузка создаётся на этапе установления соединения. Т.к. метод не является динамическим, то создаваемая сигнальная нагрузка прямо пропорциональна коэффициенту доступности сети $(1-x)$, т.е. $\lambda_{\text{лог}} \approx (1-x)$; с другой стороны, полагая, что сигнальная нагрузка имеет нелинейный характер, которую можно представить полиномиальной зависимостью:

$$\lambda'_{\text{лог}} = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_1 x + a_0, \quad (3.3)$$

получаем:

$$\lambda_{\text{лог}} = (a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_1 x + a_0) / (1-x) \quad (3.4)$$

Пусть R – количество доступных сетевых ресурсов (например, полосы пропускания).

$$R = (1 - x) \cdot \sum_{i=1}^L r_i \text{ [бит/с]} \quad (3.5)$$

где $(1 - x)$ – коэффициент доступности сетевых ресурсов, r_i – пропускная способность i -го канала связи.

При функционировании многоадресных методов маршрутизации общий объём сетевых ресурсов, доступных для передачи пользовательской информации, будет уменьшаться на величину служебной информации на сети связи и для лавинного метода будет вычисляться по выражению в процентном соотношении:

$$R = 1 - x - \frac{\lambda}{\sum_{i=1}^L r_i} = 1 - x - \left(\frac{k \cdot B \cdot N}{T \sum_{i=1}^L r_i} + \frac{b \cdot n}{T \sum_{i=1}^L r_i} \right). \quad (3.5a)$$

Для игрового метода соотношение (3.2) по относительной величине придёт к следующему виду:

$$R = 1 - x - \frac{(a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0)}{\sum_{i=1}^L r_i}. \quad (3.5б)$$

Для логического соотношение придёт к следующему виду:

$$R = 1 - x - \frac{(a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0)}{(1 - x) \sum_{i=1}^L r_i}. \quad (3.5в)$$

Оценим влияние методов маршрутизации (игрового, лавинного и логического) на объём доступных ресурсов при изменении коэффициентов x и a_i , а также параметров блоков данных маршрутной информации. Для этого заменим слагаемое:

$$\frac{k \cdot B \cdot N}{T \sum_{i=1}^L r_i}$$

линейным коэффициентом y , который является отношением нагрузки, генерируемой всеми узлами в единицу времени, к общему числу доступных сетевых ресурсов. Слагаемое

$$\frac{b \cdot n}{T \sum_{i=1}^L r_i}$$

заменим коэффициентом z , который является отношением нагрузки, генерируемой узлами членами группы в единицу времени, к общему числу сетевых ресурсов.

Произведём также замену коэффициентов a_i для игрового и логического метода на коэффициенты:

$$a'_j = \frac{a_j}{\sum_{i=1}^L r_i}.$$

Для лавинного метода после замены коэффициентов получим

$$R = 1 - x - (y + z). \quad (3.6)$$

Для игрового метода выражение (3.5б) примет вид

$$R = 1 - x - a'_1 x - a'_2 x^2. \quad (3.7)$$

Для логического метода:

$$R = 1 - x - (a_1'x + a_2'x^2)/(1 - x). \quad (3.8)$$

На рис. 2 представлены графики, соответствующие выражениям (3.6 – 3.8) функций при фиксированных коэффициентах y, z, a_1', a_2' . Из рисунка видно, что существуют интервалы на оси x (нестационарности сети), на которых определённые методы занимают меньший объём сетевых ресурсов по сравнению с другими:

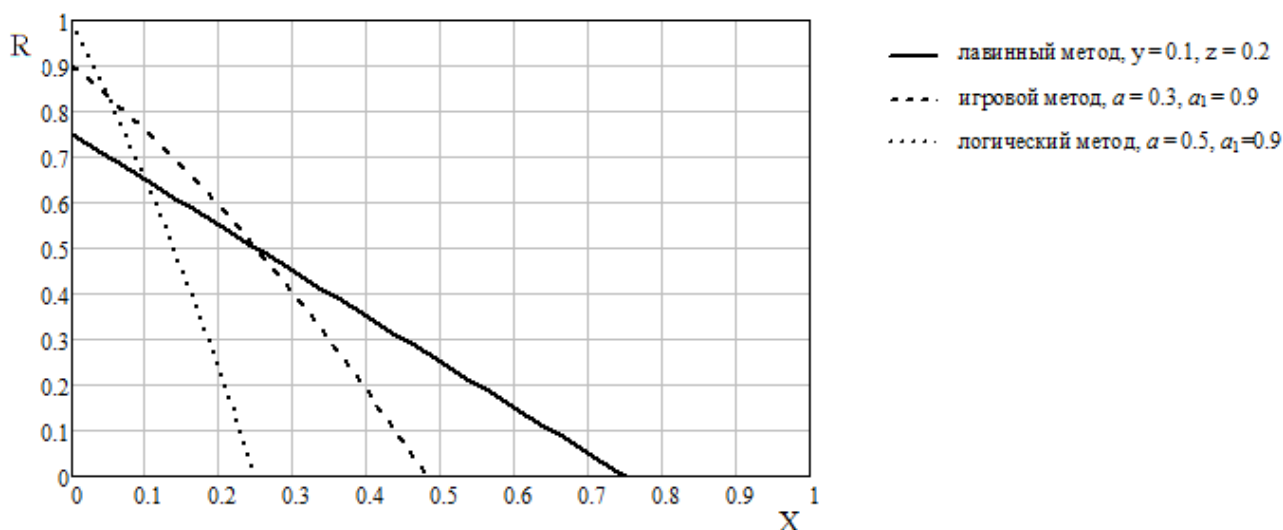


Рис. 2. Анализ влияния методов многоадресной маршрутизации на доступность сетевых ресурсов

- при значениях нестационарности сети x , меньших 0.05 (или 5%), предпочтительным в применении оказывается логический метод;
- при значениях $0.05 < x < 0.25$ игровые методы потребляют меньший объём сетевых ресурсов по сравнению с другими методами;
- при значениях $x > 0.25$ наилучшим в применении оказывается лавинный метод.

4. Выводы

При значениях нестационарности сети более 25% лучшим в применении является лавинный метод формирования плана распределения информации. При малых значениях нестационарности сети (менее 5%) наиболее эффективным является логический метод.

Предложенный в статье подход позволяет количественно оценить влияние методов многоадресной маршрутизации на эффективность использования сетевых ресурсов мультисервисных сетей связи.

Приложение

Список используемых сокращений

MCC	– мультисервисные сети
ИТПС	– исходящий тракт передачи сообщений
ПРИ	– план распределения информации
QoS	– Quality of service

Литература

1. Новиков С.Н. Методы маршрутизации на цифровых широкополосных сетях связи: Ч.1 / Учебное пособие. – Новосибирск: СибГУТИ, 2000. – 84 с.
2. Fen Zhou, Miklos Molnar, Bernard Cousin Hypo-Steiner Heuristic for Multicast Routing in WDM Networks. Photonic Network Communications, 20(1): 33-42, 2010.
3. Буров А.А. Исследование влияния маршрутизации на качество обслуживания // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2009, 111с.
4. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М: Техносфера, 2003. – 512 с.
5. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. – М.: Минсвязи, 2001. – 35 с.
6. W. Lim, D. Kim, Y. Suh Design of Efficient Multicast Protocol for IEEE 802.11n WLANs and Cross-Layer Optimization for Scalable Video Streaming // IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011. IEEE computer Society Digital Library. URL: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TMC.2011.95> (дата обращения: 27.10.2011).
7. Fen Zhou, Miklos Molnar, Bernard Cousin Light-Hierarchy: The Optimal Structure for Multicast Routing in WDM Mesh Networks. The 15th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'10), pp.1-6, Riccione, Italy, June, 2010.
8. Wittmann R., Zitterbart M. Multicast Communication: protocols and applications. Academic press, 2004. 369 p.
9. Программные продукты имитационного моделирования. [Электронный ресурс] URL: <http://www.networksimulation.ru> (дата обращения: 15.06.2011).
10. Peng, S., S. Li, L. Chen, N. Xiao, Y. Peng Sencast: Scalable multicast in wireless sensor networks. IEEE Proceeding of the Parallel and Distributed Processing, Apr. 14-18, Miami, FL., pp: 1-9, 2008.
11. Multi-Service Interworking – Frame Relay and ATM Service Interworking over MPLS // IP/MPLS Forum Technical Specifications, 2007. URL: <http://www.broadband-forum.org/technical/ipmplstechspec.php> (дата обращения: 12.09.2011).
12. X. Jin, K. Yiu, G. Chan Loss Recovery in Application-Layer Multicast // IEEE Multimedia, 2008. V.15, №1. P.18-27.
13. V.Li, Z. Zhang Internet Multicast Routing and Transport Control Protocols // Proceedings of the IEEE, 2002. V.90, №3. P. 360-391.

*Статья поступила в редакцию 30.11.2011;
переработанный вариант 12.09.2012*

Жарикова Виктория Олеговна

аспирант кафедры «БиУТ»,

научный руководитель: к.т.н., доцент Новиков С.Н.

(630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86) тел. (383) 2-698-245, e-mail:

vika.nsk@mail.ru

Analysis of the Effectiveness of Multicast Routing Methods in Multiservice Networks

V. Zharikova

In this paper, quantitative analysis of the effectiveness of multicast routing methods in multi-service networks is presented. Recommendations on application of multicast routing methods in the conditions of various level of network nonstationarity are suggested.

Keywords: multicast routing, route, multiservice network.