

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОКОЛОВ МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В IP-СЕТЯХ

Введение

В современных IP-сетях можно передавать информацию, используя различные способы адресации и доставки: конкретному заданному устройству (unicast), многоадресная (multicast) и широковещательная доставка (broadcast).

Наиболее распространенной является доставка конкретному заданному устройству, которая подразумевает передачу пакетов данных определенному хосту, обозначенному отправителем. Многоадресная доставка предполагает, что отправитель передает пакет данных группе адресатов, которые могут быть подключены к различным подсетям. Широковещательная рассылка предполагает доставку данных всем устройствам в сети или подсети, куда адресовалось сообщение.

Формулирование проблемы

В случае индивидуальной доставки каждому устройству из группы пользователей, чувствительной к задержкам нагрузки, такой как потоковое видео, потребуется передача одной и той же информации *n* раз, равное количеству членов группы, что, скорее всего, вызовет перегрузку сети. Широковещательная рассылка также вызовет перегрузку сети, так как будет передавать данные всем пользователям, независимо от членства в группе. Решением этой задачи является применение многоадресной рассылки, которая минимизирует дублирование информации и позволяет более экономно расходовать пропускную способность.

Во многих работах, посвященных протоколам многоадресной маршрутизации, приводится либо их описание, либо достоинства и недостатки [1, 2, 3]. Поэтому существует необходимость качественного сравнения и формирования рекомендаций по применению протоколов, которые давали бы представление о возможностях их использования.

В данной работе рассмотрены наиболее распространенные алгоритмы насыщенного и разреженного режимов, такие как DVMRP, MOSPF, PIM-DM, CBT и PIM-SM, которые представляют наибольший интерес.

Цель работы – сравнительный анализ существующих протоколов многоадресной маршрутизации, выявление их достоинств и недостатков, а также формирование рекомендаций по их применению в IP-сетях различного уровня. При этом основными требованиями к алгоритмам многоадресной маршрутизации остаются минимизация объектов дублированной информации, доставка данных с заданным качеством.

Сравнительный анализ протоколов многоадресной маршрутизации

Протоколы многоадресной маршрутизации можно разделить на два вида: протоколы насыщенного режима и протоколы разреженного режима. Протоколы насыщенного режима используют метод лавинной рассылки, при которой дейтаграммы распространяются от источника ко всем маршрутизаторам. Примеры протоколов, использующие насыщенный режим, – DVMRP, MOSPF и PIM-DM [1, 3]. Протоколы разреженного режима применяются в сетях с ограниченной пропускной способностью и распределением пользователей группы по сети. Примеры протоколов, использующих разреженный режим, – CBТ и PIM-SM [1, 3]. Протоколы многоадресной рассылки базируются на одной из двух технологий построения дерева рассылки – технологии RPF или технологии CBТ.

В табл. 1 и 2 оценены достоинства и недостатки протоколов многоадресной маршрутизации, а также приведены результаты их сравнительного анализа [1–5].

Протоколы	Достоинства	Недостатки
DVMRP	<ol style="list-style-type: none"> 1) Групповые дейтаграммы от каждого источника рассылаются по оптимальным путям. 2) Учитывается членство в группах. 3) Групповой трафик распределяется по различным сегментам системы сетей. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Каждый маршрутизатор должен хранить таблицу, в которой отслеживается получение сообщений <i>prune</i>. Размер этой таблицы достаточно велик. 2) Первая групповая дейтаграмма и периодически "пробные" распространяются по всей системе сетей. 3) Протокол DVMRP подходит для небольших сетей. 4) Зависимость от используемого IGP (EGP) протокола.
MOSPF	<ol style="list-style-type: none"> 1) Групповые дейтаграммы от каждого источника рассылаются по оптимальным путям. 2) Отсутствует рассылка «пробных» дейтаграмм. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Проблемы с масштабированием. 2) Большая нагрузка на вычислительные ресурсы маршрутизатора. 3) Применение веерной рассылки для передачи служебной информации. 4) Протокольная зависимость от IGP (EGP).
PIM-DM	<ol style="list-style-type: none"> 1) Протокол PIM-DM прост в реализации и в настройке. 2) Предусмотрено взаимодействие с протоколом DVMRP. 3) Независим от внутренних протоколов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Необходимость рассылать пробные дейтаграммы каждые 3 минуты, так как за это время истекает срок действия сообщения <i>prune</i>, что порождает нежелательный трафик.
CBT	<ol style="list-style-type: none"> 1) Все групповые дейтаграммы рассылаются только участникам группы. 2) Нет "пробных" дейтаграмм. 3) Не требует периодической передачи пакетов с групповыми адресами на все маршрутизаторы в сети. 4) Не требуется доступ к маршрутным таблицам. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Передача групповых дейтаграмм может привести к сосредоточению трафика около включенных маршрутизаторов с образованием узких мест. 2) Узким местом является ядро, на которое возлагаются все вычислительные функции. 3) Для некоторых пар отправитель-получатель путь по установленному дереву будет неоптимальным.
PIM-SM	<ol style="list-style-type: none"> 1) Дейтаграммы передаются по оптимальному пути; не требуется доступ к маршрутным таблицам 2) Все групповые дейтаграммы рассылаются только участникам группы. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) В точках «рандеву» могут создаваться узкие места. 2) Сложность в применении и большая нагрузка на вычислительные ресурсы маршрутизаторов.

Таблица 2

Протокол маршрутизации	Необходимый для работы протокол класса IGP (EGP)	Используемый алгоритм построения деревьев доставки	Оптимальные условия применения
DVMRP	RIP	TRPB (RPF)	Распределенные сети малого размера
MOSPF	OSPF	RPF	Небольшое количество активных пар и стабильные линии связи
PIM-DM	Любой	RPF	Небольшое количество отправителей при большом количестве получателей
PIM-SM	Любой	Аналогичен CBT	Несколько получателей в группах
CBT	Любой	CBT	Несколько получателей в группах

Исходя из сказанного выше, трудно дать ответ о преимуществе какого-либо протокола при использовании в IP-сетях. Для более детальных выводов необходимо рассмотреть модель сети и реализовать модели исследуемых протоколов. Проведем сравнительный анализ протоколов маршрутизации на основе модели сети, созданной в программном пакете Network Simulator и состоящей из двухсот маршрутизаторов с изменяющимся количеством пользователей в группе.

Модель исследуемой сети

Введем понятие стоимости использования ресурсов сети при групповой передаче, измеряемой в количестве передаваемых пакетов за секунду. Под стоимостью будем понимать суммарный объем нагрузки, создаваемый полезным трафиком и служебным трафиком, состоящим из трафика, адресованного пользователям, не принадлежащим группе, и трафика, возникающего при подключении (отключении) пользователей:

$$\text{Стоим} = C_{\text{управл}} \cdot \dot{C}_{\text{управл}} + (C_{\text{дер}} + C_{\text{ну}}) \cdot P_n, \quad (1)$$

где $C_{\text{управл}}$ – общее количество двухточечных сообщений (передаются каждый раз, когда пользователи присоединяются или покидают группу); $\dot{C}_{\text{управл}}$ – частота присоединения или ухода пользователей; $C_{\text{дер}}$ – данные, переданные в направлении участников группы; $C_{\text{ну}}$ – данные, переданные в направлении пользователей, не состоящих в группе; P_n – коэффициент групповой передачи данных.

Оценим стоимость построения дерева рассылки для разных технологий, при различном числе узлов в группе. Результаты анализа приведены в табл. 3, где N – количество узлов; G – количество пользователей группы.

Таблица 3

Количество маршрутизаторов	200
Среднее число выходов маршрутизаторов	3,79
Диаметр сети	11
Стоимость алгоритма кратчайшего дерева (КД) (N_{200}, G_{10})	26,63
Стоимость алгоритма кратчайшего дерева (КД) (N_{200}, G_{160})	145,49
Стоимость алгоритма дерева от центра (N_{200}, G_{10})	24,52
Стоимость алгоритма дерева от центра (N_{200}, G_{160})	140,60

Оценка стоимости протоколов многоадресной рассылки

Получим на основе выражения (1) соотношения для стоимости рассмотренных протоколов групповой маршрутизации. $\dot{C}_{\text{управл}}$ и P_n одинаковы для всех протоколов. $\text{flood}_{\text{дuty}}$ применяется для DVMRP.

Стоимость распространения пакетов для протокола MOSPF. Согласно формуле (1) рассчитаем стоимость распространения служебных пакетов для MOSPF:

$$C_{\text{управл}}^{\text{MOSPF}} = N(\alpha - 1).$$

При получении выражения для стоимости учитывалось, что каждый раз, когда пользователь присоединяется или покидает группу, MOSPF передает эту информацию затоплением через все порты маршрутизатора кроме одного, с которого пришел этот пакет. Стоимость распространения пакетов данных для MOSPF:

$$C_{\text{дер}}^{\text{MOSPF}} = C_{\text{КД}}(N, G).$$

Распространение пакетов данных происходит в соответствие с алгоритмом построения кратчайшего дерева. Стоимость распространения данных, переданных в направлении пользователей, не состоящих в группе для MOSPF, равна 0, так как информация об участниках группы уже содержится в базе данных.

Стоимость распространения пакетов для протокола DVMRP. Согласно формуле (1) рассчитаем стоимость распространения служебных пакетов для DVMRP:

$$C_{\text{управл}}^{\text{DVMRP}} = \text{diam}(N).$$

При получении выражения для стоимости учитывалось, что каждый раз, когда пользователь присоединяется к группе, он посылает пакет на маршрутизатор в сторону отправителя для присоединения этого маршрутизатора к дереву. И хотя этот пакет должен пройти путь до первого «несокращенного» маршрутизатора, возьмем худший случай, в котором этот пакет пройдет половину диаметра сети. Поскольку подтверждение ожидается в шлюзе, общая стоимость – диаметр N . Стоимость распространения пакетов данных для DVMRP:

$$C_{\text{дер}}^{\text{DVMRP}} = C_{\text{КД}}(N, G).$$

Распространение сообщений данных происходит в соответствии с алгоритмом построения кратчайшего дерева. Стоимость распространения данных переданных в направлении пользователей, не состоящих в группе для DVMRP:

$$C_{\text{пу}}^{\text{DVMRP}} = (N - C_{\text{КД}}(N, G)) \cdot \text{flood}_{\text{duty}}.$$

Данное выражение обусловлено особенностью протокола DVMRP, который основывается на технологии RPF.

Стоимость распространения пакетов для протокола СВТ. Согласно формуле (1) рассчитаем стоимость распространения служебных пакетов для СВТ:

$$C_{\text{управл}}^{\text{СВТ}} = \text{diam}(N).$$

При получении выражения для стоимости учитывалось что, каждый раз, когда пользователь присоединяется к группе в СВТ, он посылает пакет в сторону ядра дерева. И хотя этот пакет должен пройти путь до первого «несокращенного» маршрутизатора, возьмем худший случай, в котором этот пакет может пройти половину диаметра сети. Поскольку подтверждение ожидается в шлюзе, общая стоимость – диаметр N . Стоимость распространения пакетов данных для СВТ:

$$C_{\text{дер}}^{\text{СВТ}} = C_{\text{СВТ}}(N, G).$$

Распространение пакетов данных происходит в соответствии с алгоритмом построения «дерева от центра». Стоимость распространения данных, переданных в направлении пользователей, не состоящих в группе для СВТ, равна нулю.

Стоимость распространения сообщений для протокола PIM-SM. Согласно формуле (1) рассчитаем стоимость распространения служебных пакетов для PIM-SM:

$$C_{\text{управл}}^{\text{PIM-SM}} = 2\text{diam}(N).$$

Данный протокол использует и технологию СВТ и технологию RPF, и при присоединении пользователя к группе он использует худший сценарий технологии СВТ (пакет проходит половину диаметра сети), после чего ждет ответа от ядра (пакет проходит половину диаметра сети). Затем маршрутизатор, обслуживающий пользователя, может переключиться на дерево самого короткого пути, в этом случае он посылает сообщение Join к источнику следующей полученной им дейтаграммы, адресованной данной группе, и пакет в точку randevu (при этих операциях пакет проходит диаметр сети). Стоимость распространения пакетов данных для PIM-SM:

$$C_{\text{дер}}^{\text{PIM-SM}} = C_{\text{КД}}(N, G).$$

Будем считать, что обмен дейтаграммами между источником и членами группы интенсивен, и поэтому будет использоваться алгоритм кратчайшего дерева. Стоимость распространения данных, переданных в направлении пользователей, не состоящих в группе для PIM-SM, рав-

на нулю. Хотя источники сообщений всегда посылают информацию в точку рандеву, независимо получают ли члены группы данные через общее дерево или через дерево кратчайшего пути, однако это незначительный трафик. Эта операция проводится для предотвращения повторной отправки данных группе пользователей.

Результаты исследований

Результаты проведенного анализа приведены на рис. 1, 2. На рис. 1 проиллюстрирована производительность протоколов групповой маршрутизации на сети с количеством узлов $N = 200$, при различном числе пользователей в группах, $\chi_{управл} = 0,1$ (1 каждые 10 с), $flood_{duty} = 0,01$. На рис. 1, а группа состоит из 160 пользователей, на рис. 1, б группа состоит из 10 пользователей. На рис. 1, а показано, как алгоритмы маршрутизации масштабируются с изменением пропускной способности в сетях с плотными группами. Здесь также видно, что у протоколов есть сопоставимое масштабирование, когда группа плотная, частота присоединения/ухода из группы небольшая и коэффициент режима затопления ($flood$) низок. Следует отметить, что затопление в протоколе MOSPF при присоединении или уходе членов группы, несущественно влияет на его стоимость. При использовании режима затопления в DVMRP при плотной группе стоимость также не повышается, так как большинство пользователей уже вовлечено в групповую передачу.

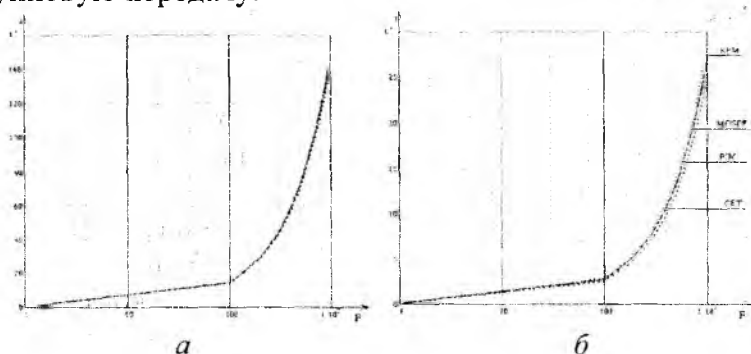


Рис. 1

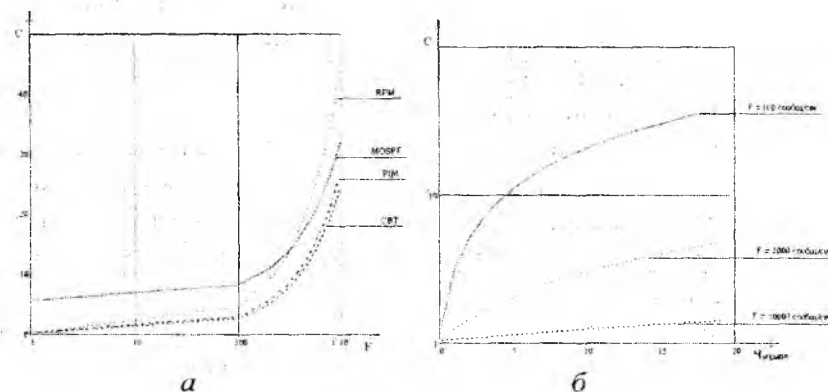


Рис. 2

На рис. 1, б размер группы уменьшен до 10 пользователей. В этом случае стоимость протокола DVMRP выше других, так как плотность группы уменьшилась и имеет место периодическое затопление. Разница между лучшим протоколом СБТ и худшим DVMRP (RPM) составляет 17 %. На рис. 2, а проиллюстрирована производительность протоколов групповой маршрутизации в сети с количеством узлов $N = 200$, размером группы $G = 10$, $\chi_{управл} = 10$ (10 в 1 с), $flood_{duty} = 0,1$. На рис. 2, б проиллюстрирована нормализованная зависимость стоимости сообщений протокола MOSPF с количеством узлов $N = 10000$, размером группы

$G = 160$, $C_{управл} = 10$ (10 в 1 с) от частоты присоединения/ухода пользователей из группы при различных значениях пропускной способности.

Из рис. 2, а видно, что протоколы DVMRP (RPM) и MOSPF имеют наибольшую стоимость, так как были увеличены частота присоединения/ухода пользователей из группы и коэффициент затопления. Протоколы CBT и PIM-SM имеют меньшую стоимость. Здесь разница между лучшим протоколом CBT и худшим DVMRP (RPM) составляет 80 %. Проанализировав графики, представленные на рис. 2, б, можно сделать вывод, что при увеличении пропускной способности количество присоединений/уходов пользователей из группы становится менее дорогостоящим, так как передаваемая служебная информация (при присоединениях/уходах) становится не столь существенной относительно объема передаваемых данных.

Заключение

По результатам сравнительного анализа протоколов можно сделать следующие выводы и рекомендации:

- разница в стоимости использования пропускной способности линий между используемыми алгоритмами построения путей рассылки (дерево кратчайших путей или дерево от центра) не столь существенна, хотя заметна при разреженных группах;

- для сетей, в которых уже используется OSPF, наиболее вероятным протоколом многоадресной маршрутизации будет MOSPF. Однако MOSPF следует применять при нечастых присоединениях/уходах пользователей из группы и плотных группах. В случае если присоединения/уходы пользователей из группы происходят с высокой частотой, необходимо обеспечить высокую пропускную способность линий. В случаях, где группы разрежены и пропускная способность маленькая, протокол может применяться только при низкой частоте присоединений/уходов пользователей группы;

- DVMRP может применяться только в сетях с плотными группами, где коэффициент затопления низок. Также он не может использоваться в сетях большого размера;

- хотя протокол CBT и показывает лучшие значения по критерию стоимости во всех случаях, однако при большом количестве отправителей «ядро дерева» может стать узким местом и это ограничивает его применение;

- наилучшим протоколом при разреженном членстве групп является PIM (PIM-SM), его выигрыш по сравнению с худшим протоколом DVMRP (RPM) составляет около 76 %. Для плотных групп наиболее приемлемым будет PIM-DM;

- протокол PIM является соперником MOSPF в больших распределенных сетях. Однако он довольно сложен в применении и находится в стадии доработки.

Таким образом, в статье получены выражения для стоимости рассмотренных протоколов групповой маршрутизации. Оценена производительность и стоимость сообщений протоколов многоадресной маршрутизации в зависимости от количества узлов в группе и в сети, пропускной способности сети. Научная новизна данной работы заключается в составлении рекомендаций по областям применения протоколов многоадресной рассылки, что может учитываться при проектировании систем передачи группового трафика.

Список литературы: 1. Мамаев М. Телекоммуникационные технологии (Сети TCP/IP). Владивосток, 1999, 2001, в.3. 2. Семенов Ю.А. book.itep.ru. 3. www.iprip.ru/multi. 4. Deering, S., D.Estrin, D.Farinacc & other. Protocol independent multicast (pim): Motivation and architecture. Work in Progress. 5. Estrin, D., D.Farinacci, V.Jacobson, C.Liu, L.Wei, P.Sharma. Protocol independent multicast-dense mode (pim-dm): Protocol specification. Work in Progress.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.10.2009