

ДЕМЧИНСКИЙ В.В.,
ДОРОГОЙ Я.Ю.,
ДОРОШЕНКО Е.С.

АСПЕКТЫ АСИММЕТРИЧНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В INTERNET

В роботі розглядаються питання дослідження і класифікації причин виникнення асиметрії маршрутів передачі даних в Internet. Приведено аналіз впливу асиметрії на продуктивність мережних служб і ефективність використання ресурсів.

Objective of this paper – research and classification of Internet routing asymmetry causes and analysis of the such asymmetry impact on the network services performance and resource use efficiency.

Введение

Зачастую при классификации, анализе и управлении потоками данных в сетях неявно используется предположение о симметрии потоков. Как результат, использующие такое предположение методики хорошо работают в конечных сетях, по сути симметричных, но могут давать ошибки в магистралях и муниципальных сетях, менее предсказуемых по своей природе. Поэтому, используя неявное предположение о симметрии путей, следует быть уверенным в его оправданности.

При диагностике нарушений маршрутизации в сетях процесс начинается с проверки параметров прямого и обратного путей. Наличие асимметрии затруднит процесс диагностики, поскольку отсутствует уверенность в локализации неполадки. С другой стороны, статистическая классификация трафика, используемая при решении задач управления сетями, обеспечения безопасности и качества обслуживания, может давать не точные результаты в условиях асимметрии маршрутов.

Поскольку различные прикладные протоколы и приложения в процессе функционирования показывают слабую степень корреляции между прямыми и обратными потоками, то измерения, лишь частично отслеживающие такие потоки, приведут к искаженным оценкам.

Этими фактами обуславливается актуальность исследования асимметрии в сетях и ее влияния на производительность сетевых приложений и эффективность использования ресурсов.

Цель данной статьи – исследование и классификация причин возникновения асимметрии

маршрутов в Internet, а так же анализ влияния такой асимметрии на производительность сетевых служб и эффективность использования ресурсов.

Обзор предметной области

Под асимметрией маршрутов будем понимать отличие характеристик прямого и обратного пути между двумя конечными хостами. В зависимости от первопричины возникновения, различают пространственную асимметрию (асимметрию топологии) и асимметрию характеристик каналов. Асимметрия может проявляться в: пропускной способности, задержках передачи, величине потерь в каналах. Например, среди существующих физических технологий передачи данных, спутниковые каналы характеризуются наибольшими задержками, а каналы беспроводных локальных сетей – наибольшим процентом потерь. Асимметрия пропускной способности будет увеличивать значение задержки в узком канале и, как следствие, асимметрию задержки. Ситуация усложняется временными колебаниями средней задержки (даже при стабильности маршрутов), которая еще более усиливает асимметрию.

Впервые аспекты появления и влияния асимметрии маршрутов в Internet были исследованы в работе [1]. Существуют методы и инструменты численной оценки асимметрии маршрутов передачи в сетях [1,2] и изучается влияние таких оценок на производительность сетевых служб.

Предпосылки возникновения асимметричной маршрутизации

Причинами возникновения явления асимметрии маршрутов могут быть:

- каналы связи с различной пропускной способностью или задержкой в разных направлениях;
- отличия в загрузке канала в разных направлениях;
- симметричная и асимметричная балансировка нагрузки (в том числе при использовании протокола HSRP);
- статическая маршрутизация или иная политика маршрутизации, вызывающая асимметрию (в том числе редистрибуция маршрутов между различными протоколами или областями маршрутизации);
- различающиеся метрики или параметры метрик прямого и обратного пути (например, по причине несогласованности политик маршрутизации в разных областях администрирования или за счет динамической природы самих метрик протоколов маршрутизации);
- особенности функционирования протокола маршрутизации OSPF на границе между областями;
- переходные процессы при изменении маршрутов (временная асимметрия).

Другими словами, асимметрия характеристик маршрутов обуславливается асимметрией характеристик каналов или асимметрией самих путей. В свою очередь, асимметрия путей может возникать из-за субоптимальной маршрутизации, балансировки нагрузки или иных особенностей политики маршрутизации. В целом, согласно идеологии работы сетевого уровня как службы «с максимальным усилием», постоянство маршрутов в Internet не гарантируется.

Рассмотрим подробнее два случая, когда проявление асимметрии представляется наименее очевидным: асимметрия маршрутов между областями OSPF и между автономными системами Internet.

Как известно, преимущество OSPF маршрутизации – в иерархичности построения системы маршрутизации. В целом, вся OSPF система разбивается на ряд областей, связанных через магистраль (нулевую область). Данный подход, во-первых, позволяет скрыть внут-

ренние изменения, происходящие в пределах некоторой области от других областей и, во-вторых, уменьшает вычислительную нагрузку на маршрутизаторы. Таким образом появляется возможность использовать преимущества иерархического разбиения адресного пространства.

Рассмотрим следующий пример поведения OSPF системы при взаимодействии между областями (Рис. 1):

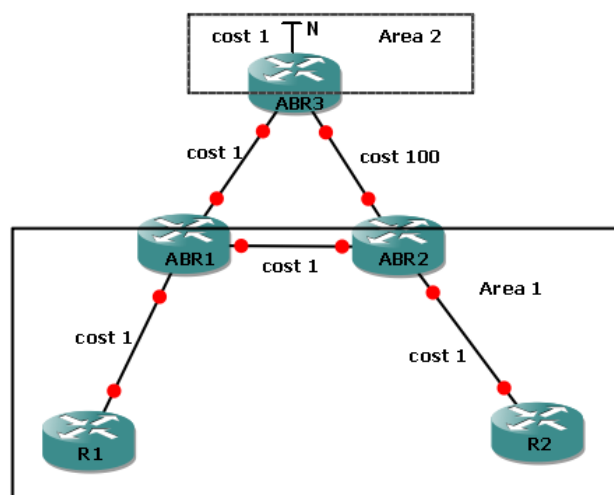


Рис. 1. Маршрутизация между областями OSPF системы

В примере две области (1 и 2) связаны через магистраль (область 0). Канал ABR1-ABR2 внутренний по отношению к области 1. Пограничные маршрутизаторы областей (ABR – Area Border Router) скрывают внутреннюю топологию одних областей от других, передавая за пределы области только обобщенную маршрутную информацию. При наличии нескольких альтернативных маршрутов маршрутизатор предпочитает внутренний маршрут области маршруту, проходящему через другую область. Технически данное правило обусловлено тем, что во избежание маршрутных петель, пограничные маршрутизаторы областей игнорируют маршрутную информацию других пограничных маршрутизаторов, поступающую не через магистраль. Поэтому выбираемый OSPF “кратчайший” маршрут к назначению, принадлежащему данной области, не может выходить за пределы этой области. Пусть каналы упомянутой выше топологии имеют стоимости, указанные на рисунке. При данных условиях ABR2 игнорирует маршрут к сети N с действительно минимальной метрикой 3 и выбирает маршрут

напрямую через ABR3, хотя и имеющий большую метрику, зато являющийся внутренним по отношению к магистрали (области 0).

Однако маршрутизатор R2 определяет маршрут по-другому. Для него кратчайший маршрут к N будет маршрут с минимальной метрикой 4, проходящий через ABR2-ABR1-ABR3. R2 посылает пакеты, адресованные к N, через ABR2, который, пользуясь правилом, описанным выше, выбирает субоптимальный маршрут. Выбирая обратный маршрут к R2, ABR3 отправляет пакеты через ABR1, который передает их ABR2 и тот, в свою очередь, R2. В результате, между R2 и N возникает асимметричный маршрут. Таким образом, данная особенность поведения протокола OSPF может проявляться в случаях наличия между двумя ABR альтернативных путей.

В целом же, возникновение асимметричных маршрутов более вероятно в магистральных, нежели в конечных сетях. т.е. асимметричная маршрутизация проявляется скорее в глобальных (региональных) сетях (асимметрия на уровне автономных систем Интернет). Например, в каналах ISP часто используется тактика «горячей картошки», согласно которой пакет должен покинуть сеть быстро, насколько это возможно, что означает минимизацию потребляемых ресурсов. Однако, реже используемая тактика «холодной картошки» предполагает, что ISP явно указывает другому ISP точку входа в свою сеть для трафика, адресованного по некоторому назначению. Вторая тактика ничуть не меньше первой может вызывать асимметрию маршрутов.

Помимо этого, может использоваться неоптимальная стратегия маршрутизации при кольцевой топологии магистрали. Под «неоптимальной» здесь понимается директивная политика маршрутизации, которая в отличие от оптимальной маршрутизации, не использует метрики протоколов как критерии выбора лучших маршрутов.

Если сравнивать поведение маршрутов в пределах автономных систем Интернет (AS – Autonomous System) и между автономными системами, то существуют предпосылки [2,3] считать, что изменения маршрутов между AS (автономными системами) происходит реже (асимметрия более стабильна), но больше влияют на сквозную задержку передачи, чем изме-

нения маршрутов в пределах AS, которые меньше оказывают влияния на общую задержку. В целом же, маршруты между AS (как правило, вычисляемые по протоколу BGP) имеют большую асимметрию, чем внутренние маршруты AS (т. е. BGP маршрутизация имеет существенно асимметричный характер).

Асимметрия маршрутизации между автономными системами носит стабильный характер в связи с особенностями реализации алгоритма BGP. В первую очередь маршрутизация зависит от принятой в каждой из автономных систем политики. Протокол BGP в своей реализации использует множество атрибутов, влияющих на маршрутизацию между автономными системами. Решение о выборе конкретного маршрута принимается внутри каждой автономной системы *независимо*. При использовании атрибутов со значениями по умолчанию решение о выборе маршрута принимается на основании атрибута AS-PATH. Данный атрибут представляет собой линейный вектор-список автономных систем, через которые проходит информация от источника до назначения. Более короткий вектор путей является предпочтительным. Имеется также возможность управлять исходящим и входящим маршрутом для определенного трафика. Таким образом, асимметричность маршрутизации для каждой автономной системы уникальна и является следствием решения администратора этой системы.

Для конечных сетей, имеющих несколько альтернативных каналов к магистралям (multi-homed networks), с целью повышения эффективности использования каналов используется балансировка нагрузки между альтернативными каналами, в результате которой может появиться асимметрия маршрутов. И поскольку в основном альтернативные каналы проходят через разных ISP, то контроль со стороны абонента потоков по этим каналам затруднен.

Влияние маршрутной асимметрии на работу сетевых служб

Асимметрия путей может сказываться на работе сетевых служб, учитывающих состояния потоков (измерение и учет трафика, трансляция сетевых адресов, контекстный и рефлексивный контроль доступа, распределение нагрузки между сетевыми экранами). Так же, отличие пря-

мого и обратного маршрута может затруднять многоадресную передачу пакетов и применение функции RPF (Reverse Path Forwarding – проверка обратного маршрута при принятии решения о продвижении пакета). Т.е. обработка односторонних потоков перечисленными службами будет затруднена или вовсе невозможна.

Балансировка трафика по нескольким альтернативным каналам при избыточности каналов увеличивает разброс задержки передачи, усложняет ее оценку и тем самым пагубно сказывается на качестве обслуживания, (например с случае передачи голосового или другого трафика реального времени). Кроме того, многие прикладные службы, явно оценивающие величину круговой задержки и разброс величин задержек, показывают снижение производительности. Например, служба синхронизации времени NTP использует предположение, что сквозное время доставки пакета равно половине круговой задержки (неявное предположение о симметрии маршрутов), поэтому с увеличением асимметрии задержки будет нарастать ошибка синхронизации времени.

Известная оценка максимальной производительности TCP-соединения [4] обратно пропорциональна величине круговой задержки (RTT – Round Trip Time) и вследствие этого увеличение вариации RTT снижает эффективность TCP-соединения. Собственно говоря, при наличии асимметричных маршрутов эвристическая оценка доступной пропускной способности, используемая TCP оказывается менее точной, чем при симметрии маршрутов.

Некоторые сетевые службы (например, мультикастовые службы трансляции видео в реальном времени или сети распространения контента) используют оценку величины круговой задержки как критерий выбора сервера (оценку удаленности сервера). В данном случае полезней будет использовать оценку односторонней задержки (OWD – One-way delay) (RFC 2679) в направлении основного потока передаваемых данных. Однако, сложность такой оценки вызвана отсутствием стандартных средств и проблемой точного измерения времени и синхронизации часов [5]. Исследования поведения односторонней задержки в Интернет показали слабую корреляцию колебаний OWD и RTT,

однако более сильную зависимость колебаний OWD от изменения маршрутов.

При наблюдении за трафиком сетевых приложений практически невозможно оценить асимметрию задержки, поскольку в протоколах TCP и UDP отсутствуют временные метки. Популярные диагностические приложения (ping, traceroute...) дают оценку круговой задержки. То же касается оценки круговой задержки в протоколе TCP (используемой при установке таймера ожидания подтверждения). Более того, эта оценка не учитывает стратегию отложенного подтверждения в TCP (задержка подтверждения до 200 мс в ожидании попутных сегментов данных).

Стоит отметить, что службы, использующие протоколы UDP и ICMP, часто по природе своей асимметричны, т.е. не предполагают ответных пакетов на каждый единичный пакет. Диагностика маршрутной асимметрии посредством анализа трафика таких приложений представляет собой гораздо более сложную задачу, нежели для приложений симметричных. Кроме того, в процессе анализа сетевого трафика обнаруживается существование некоторого количества необусловленного (unsolicited) трафика, например трафика сканирования, на который отсутствует ответный трафик.

При балансировке между альтернативными маршрутами возможно переупорядочивание пакетов. Реакцией TCP – протокола на переупорядоченные пакеты будет дублирование подтверждений, запускающее после получения трех одинаковых подтверждений механизм быстрой повторной передачи (RFC 2581). Такое поведение протокола снижает эффективность соединения, а повторные передачи – эффективность утилизации пропускной способности. Другими причинами переупорядочивания пакетов могут быть особенности архитектуры маршрутизаторов или трафик-инжиниринг.

В целом, трудно оценить асимметрию маршрутов на качественном уровне. Например, утилита «traceroute» не всегда однозначно отображает адрес маршрутизатора, что делает невозможным сопоставление прямого и обратного маршрута. Однако, немалый процент асимметричных маршрутов имеют отличие лишь в одном звене (как правило, по причине балансировки трафика). Такая минимальная асимметрия

минимально влияет на отличие прямой и обратной задержек, однако делает возможным перепорядочивание пакетов. Количественная оценка асимметрии представляет собой более сложную задачу. Так, без синхронизации часов проблематично вычислить разницу задержки прямого и обратного пути.

Моделирование асимметрии маршрутов

Для иллюстрации влияния маршрутной асимметрии на производительность сетевых приложений рассмотрим простой эксперимент в следующей топологии с минимально возможной пространственной асимметрией на одном участке (Рис.2):

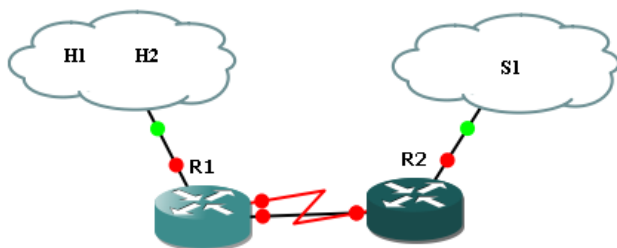


Рис. 2. Топология эксперимента

Будем сравнивать колебания круговой задержки пакетов между хостами H1 и S1 в условиях свободных каналов и в условиях загруженных каналов (передача некоторого большого файла между H2 и S1). В зависимости от настройки маршрутизаторов, получим несколько различных тестов:

- один симметричный маршрут между конечными хостами (асимметрия отсутствует);
- различные прямой и обратный маршрут между R1-R2, каналы R1-R2 с разной пропускной способностью (ПС);
- симметричная балансировка трафика на участке R1-R2; каналы R1-R2 с равной ПС;
- симметричная балансировка трафика на участке R1-R2; каналы R1-R2 с разной ПС;
- асимметричная балансировка трафика на участке R1-R2; каналы R1-R2 с разной ПС.

Другой трафик отсутствует (не берем в расчет служебный трафик протоколов OSPF, ARP, DNS, и т. д. в сумме потребляющий менее 1% пропускной способности каналов). Результаты моделирования в приведенной топологии свидетельствуют, что при наличии альтернативных маршрутов оценка RTT может варьироваться в

зависимости от доли пакетов, прошедших по тому или иному маршруту. Если альтернативные каналы к тому же имеют разные скорости, то это увеличивает разброс значений RTT. Увеличение круговой задержки в свою очередь пропорционально снижает производительность TCP – соединения. Использование балансировки трафика пропорционально доступной ПС, как и следовало ожидать, позволяет снизить колебания круговой задержки и оптимизировать загрузку каналов.

Что касается пропускной способности, то в случае множества альтернативных маршрутов доступная пропускная способность увеличивается, а оценка доступной пропускной способности соединения при асимметрии путей будет равна минимуму пропускной способности прямого и обратного маршрута. В частности, для асимметричных приложений, передающих большие объемы данных по запросам (HTTP, FTP, ...) и работающих через протокол TCP, асимметрия пропускной способности не снижает производительности данных приложений, если соответствует асимметрии объемов передаваемых потоков данных.

При разработке сценария моделирования и настройке маршрутизаторов использовался эмулятор Dynamips [6]. Эксперименты проводились на маршрутизаторах Cisco 3620 с IOS 12.4. И хотя виртуализированные маршрутизаторы не могут служить платформой для исследования производительности, качественное соотношение результатов тестов было одинаковым и на виртуальной и на реальной платформе.

Выводы

В статье впервые были систематизированы причины и последствия асимметричной маршрутизации в Internet. Причем последствия асимметрии могут проявляться как в сетях со сложной топологией, так и в небольших оконечных сетях. Влияние асимметрии на характеристики трафика наблюдаются даже в сетях с простой топологией, что подтверждается путем моделирования как на реальном оборудовании, так и на виртуализированной платформе.

В дальнейшем планируется исследование особенностей численной оценки асимметрии. Учитывая описанное влияние асимметрии на

шрутов, желателно минимизировать возможность возникновения асимметрии еще на этапах проектирования и развертывания сетей. Частично сгладить последствия существования асимметрии маршрутов можно путем правильного выбора стратегии планирования при балансировке трафика (по-пакетно, по адресу отправителя, по адресу получателя, по паре адрес отправителя + адрес получателя). Этим можно уменьшить количество переупорядоченных пакетов и снизить колебания задержки. Однако, полностью исключить асимметричную маршрутизацию практически невозможно, а искусственная симметрия при ручной подстройке будет оказывать негативное влияние и расплатой

будет уменьшение избыточности топологии, повышение сложности администрирования и диагностики неисправностей.

Таким образом, асимметрия маршрутов является фактором неопределенности в работе сетей, важным аспектом измерения характеристик трафика, моделирования и управления сетями. Исходя из этого, с явлением асимметрии придется считаться и в Интернете и в больших объединенных сетях с избыточно структурой. Так, по некоторым оценкам [5,7], в будущем маршрутная асимметрия будет усиливаться, и приближаться к периферийным сетям.

Список литературы

1. V. Paxson. Measurements and Analysis of End-to-End Internet Dynamics. Technical report, U.C. Berkeley, 1997. Ph.D. Thesis.
2. Y. He, M. Faloutsos, and S. Krishnamurthy. Quantifying routing asymmetry in the internet at the AS level //In *Proceedings of the GLOBECOM 2004 Conference*, Dallas, Texas, USA, 2004. IEEE Computer Society Press.
3. Z. Morley Mao, L. Qiu, J. Wang, and Y. Zhang. On AS-level path inference // *Proceedings of the 2005 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modelling of computer systems*, pages 339–349, New York, NY, USA, 2005. ACM.
4. Столлингз В. Современные компьютерные сети.: Пер. с англ.– СПб.: Питер, 2003.– 783с.
5. M. Crotti, F. Gringoli, and L. Salgarelli, Impact of Asymmetric Routing on Statistical Traffic Classification // *IEEE GLOBECOM*, Honolulu, Hawaii, USA, 2009.
6. Демчинский В.В., Дорогой Я.Ю., Дорошенко Е.С. Виртуализация сетей передачи данных в dynamips //Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: Век+, - 2009. - №51. – 144 -146 с.
7. W. John, S. Tafvelin, and T. Olovsson, Passive Internet Measurement: Overview and Guidelines based on Experiences // *Computer Communications*, vol. 33, no. 5, pp. 533..550, 2010.