



ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ETHERNET НА АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Николаев А.Ю., директор комплексных проектов АО "ТЕЛЕКОМ"

В статье приведены основные принципы построения сетей Ethernet на атмосферных оптических линиях. Даны расчеты необходимой пропускной способности линий связи для различных услуг, предоставляемых абонентам. Приведены структурные схемы построения узлов сети. Дано сравнение стоимости строительства сетей Ethernet на атмосферных оптических и волоконно-оптических линиях связи.

Быстродействие сетей Ethernet, других сетей, работающих на скорости до 10 Мбит/с, в настоящее время удовлетворяет требованиям большинства задач, но в ряде случаев даже этого оказывается недостаточно. Особенно это касается ситуаций, когда необходимо строить сети с большим количеством абонентов, требующих высокой интенсивности обмена или подключать к сети современные высокопроизводительные видеосерверы. Скорость компьютеров непрерывно растет, они обеспечивают все более высокие темпы обмена с внешними устройствами. Например, все более широко применяется видеоконференц-связь, вещание видео по сети, высокоскоростная передача данных между абонентами, сетевая обработка трехмерных динамических изображений при доступе к игровым серверам и коллективные сетевые игры, видеонаблюдение.

В результате сеть может оказаться наиболее слабым местом системы, и ее пропускная способность будет основным сдерживающим фактором в увеличении быстродействия. Работы по достижению скоростей передачи в 100 и 1000 Мбит/с ведутся в последние годы интенсивно по нескольким направлениям.

Сети Fast Ethernet и Gigabit Ethernet - это естественный, эволюционный путь развития концепции, заложенной в стандартной сети Ethernet. Они имеют те же недостатки, что и их предше-

ственники, в том числе негарантированное время доступа к сети. Однако огромная пропускная способность приводит к тому, что загрузить сеть до тех уровней, когда этот фактор становится определяющим, довольно трудно. Зато сохранение преемственности позволяет легко и просто соединять сегменты Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet в единую сеть, и, самое главное, переходить к новым скоростям постепенно, вводя гигабитные сегменты только на самых напряженных участках сети. Учитывая, что во многих домах уже имеются, по крайней мере, домовые сегменты Ethernet, сохранение преемственности является наиболее важным фактором.

К тому же далеко не везде столь высокая пропускная способность действительно необходима. Если же говорить о конкурирующих гигабитных сетях, то их применение может потребовать полной замены сетевой аппаратуры, что сразу же приведет к огромным затратам средств.

На базе высокоскоростной мультисервисной сети, объединяющей жилые дома и административные здания, возможно оказание как традиционных услуг доступа в Internet (телефонных, но с более высоким качеством), так и принципиально новых - видео по запросу, высокоскоростной передачи данных между абонентами, доступа к игровым серверам, видеонаблюдения. Известны также случаи проведения удаленных врачебных осмотров и консультаций посредством видеоконференций.

Широкополосный и постоянно доступный канал в Internet позволяет решить проблемы, присущие коммутируемому (dial-up) способу доступа: занятая телефонная линия, необходимость дозвона к провайдеру, низкая скорость передачи данных.

При значительном числе абонентов видеовещание требует максимальных ресурсов сети по сравнению с другими видами трафика, поэтому, если пропускная способность сети достаточна для передачи видеoinформации, в частности, видеофильмов, то можно считать, что сеть спроектирована правильно.

При значительном числе абонентов видеовещание требует максимальных ресурсов сети по сравнению с другими видами трафика, поэтому, если пропускная способность сети достаточна для передачи видеoinформации, в частности, видеофильмов, то можно считать, что сеть спроектирована правильно.

Вещание видео по сети может осуществляться двумя различными способами. Первый - передача потока видео от источника (сервера, находящегося в центре сети, на который передаются данные из студии) к каждому получателю (клиенту) в отдельности. Такая технология вещания называется unicast. Этот способ вещания может использоваться для осуществления доставки так называемого "видео по запросу" и не требует использования специализированного оборудования и программного обеспечения (ПО) на пути следования пакетов от источника к получателю. Однако в случае "эфир-

Таблица 1.

Формат	Минимальные процессорные ресурсы для программного декодирования	Ориентировочное время сжатия 1 часа	Средний объем фильма, Гб	Относительное качество
MPEG1	Pentium 133	20 мин	1	90 (VHS)
MPEG2	Celeron 600	8 час	7	95 (DVD)
MPEG4	Celeron 600	1 час	0,6	80 (VHS)
MPEG4	Celeron 1000	1 час	1,8	95 (DVD)
Без сжатия	Pentium 133	-	140	100 (DVD)

ного" вещания непрерывного потока "живого" видео, когда один поток смотрит множество зрителей, использование технологии **unicast** представляется нецелесообразным из-за высокой нагрузки на сеть передачи данных.

В таких случаях используется иная технология, называемая **multicast**, или "**потокковое видео**". В этом случае пакет от источника доставляется к получателю по установленным маршрутам (с использованием "дерева распространения от источника", *Source Distribution Tree*), причем распределение данных до конечных получателей производится последним в цепочке маршрутизатором. Данные при передаче по схеме **multicast** формируются в виде специальных **multicast**-пакетов, которые транслируются на все сконфигурированные интерфейсы (кроме интерфейса, откуда пришел пакет), на которых находятся зарегистрированные получатели. Таким образом, даже при большом количестве групп получателей с большим количеством клиентов в одной группе с сервера будет транслироваться всего один поток **multicast**-на-

кетов для всех имеющих групп. И лишь далее по пути следования потока его пакеты будут дублироваться для трансляции по разным маршрутам к различным группам получателей.

Существует несколько технологий потокового вещания в сети, например *Windows Media* (активно продвигается фирмой *Microsoft* как стандарт сетевого вещания), *Real Media* (эта технология является пионером потокового вещания в сети и до сих пор активно развивается компанией *RealNetworks*) и др. Однако формат технологий потокового вещания на самом деле является оболочкой для ряда других форматов различных методов сжатия видеoinформации - таких, как *MPEG1*, *MPEG2*, *MPEG4*, *QuickTime* и др. или схожих.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики различных методов сжатия видеoinформации. Сжатие осуществлялось на ПК, оснащенный процессором *Pentium III 1000*. Для всех форматов возможно изменение степени сжатия и/или разрешения, при этом изменяется объем, занимаемый фильмом, и каче-

ство. Данные этой таблицы соответствуют наиболее популярным параметрам, то есть большинству видеофильмов, имеющих в продаже.

После кодирования видеофильмы хранятся в цифровом виде на видеосervere с максимально возможным качеством. Видеосerver представляет собой файловый или WEB-server с большим дисковым массивом и гигабитным сетевым интерфейсом, хранящий фильмы в виде файлов. При использовании современных ATA66 (или ATA100) 160Гб-дисков IDE (максимальный объем диска, доступный на декабрь 2001 г., по разумным ценам), дисковый массив, объемом 1,1Тб будет состоять из 7 дисков (плюс восьмой диск для системного ПО). При необходимости увеличить объем целесообразно установить несколько серверов, так как это повысит надежность и увеличит пропускную способность. В противном случае потребуются использование SCSI-дисков (для установки больше 8 дисков), которые примерно в 2 раза дороже аналогичных IDE.

Ниже приводится сравнительная таблица 2 для видеосervera с дисковым массивом 1Тб (1000 Гбайт) и гигабитным сетевым ин-

Таблица 2.

Формат	Средний объем фильма, Гб	Относительное качество	Количество хранящихся фильмов	Максимальная скорость передачи фильма, Мбит/с	Средняя скорость передачи фильма, Мбит/с	Минимальное количество одновременных зрителей при технологии unicast	Среднее количество одновременных зрителей при технологии unicast
MPEG1	1	90 (VHS)	1000	2,5	1,1	400	900
MPEG2	7	95 (DVD)	143	15	7,8	67	129
MPEG4	0,6	80 (VHS)	1667	1,6	0,7	625	1500
MPEG4	1,8	95 (DVD)	556	4,8	2,0	208	500

Таблица 3.

Формат	Средний объем фильма, Гб	Относительное качество	Количество Хранимых Фильмов	Максимальная скорость передачи фильма, Мбит/с	Средняя скорость передачи фильма, Мбит/с	Минимальное количество одновременно транслируемых фильмов при технологии multicast	Среднее количество одновременно транслируемых фильмов при технологии multicast
MPEG1	1	90 (VHS)	1000	2,5	1,1	400	900
MPEG2	7	95 (DVD)	143	15	7,8	67	129
MPEG4	0,6	80 (VHS)	1667	1,6	0,7	625	1500
MPEG4	1,8	95 (DVD)	556	4,8	2,0	208	500

терфейсом при передаче потока видео от источника (сервера, находящегося в центре сети, на который передаются данные из студии) к каждому получателю (клиенту) в отдельности (передачи потока видео по технологии **unicast**).

В случае "эфирного" вещания непрерывного потока "живого" видео, когда один поток смотрит множество зрителей, целесообразно использовать передачу потока видео по технологии **multicast**.

В таблице 3 приведен расчет максимального количества одновременно транслируемых программ при использовании технологии **multicast** для видеосервера с дисковым массивом 1Тб (1000 Гбайт) и гигабитным сетевым интерфейсом.

Данные таблицы 3 показывают, что даже при высоком качестве транслируемых программ возможен одновременный показ более 500 фильмов. Таким образом, за 3-4 часа вечернего времени можно показать более 1000 кинофильмов, за неделю - более 10000 фильмов и за месяц - порядка 40000. Так как в редком салоне видеопрока-

та имеется более 3000-4000 фильмов (причем обычно по 2-3 копии), то практически для зрителей ресурсы видеосервера на порядок выше. Некоторое неудобство при использовании технологии **multicast** - это необходимость смотреть видеофильмы и программы по расписанию, поэтому отдельным категориям абонентов по более высоким тарифам можно предлагать "видео по запросу" (технология **unicast**).

Производительность видеосервера обычно достаточна для установки нескольких гигабитных сетевых интерфейсов и обслуживания нескольких тысяч абонентов даже при использовании технологии "видео по запросу".

К распределительным сетям внутри зданий обычно предъявляются следующие требования: низкая стоимость, простота обслуживания, надежность, обеспечение ЭМС с уже проложенными сетями (КТВ, телефонной, домофонной и т.п.). Всем этим требованиям удовлетворяют сети на базе неуправляемого коммутатора и абонентской кабельной проводки, выполненной неэкранированной витой парой 5-

ой категории (UTP5), обеспечивающие скорость передачи домашней сети в 100 Мбит/с. Неуправляемые коммутаторы обеспечивают недорогое (в сравнении с управляемыми) подключение конечных пользователей в сочетании с высокой производительностью.

В таблице 4 приведен расчет максимального количества одновременно транслируемых зрителей при технологии **unicast** и скорости передачи линии 10, 100 и 1000 Мбит/с (Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet).

В типовых домах обычно подключается до 20-30 абонентов, поэтому скорость передачи от одной домашней сети до видеосервера в 100 Мбит/с в настоящее время достаточна. Кроме того, выбор скоростей выше 100 Мбит/с приводит к резкому удорожанию домашних сетей и подключения потребителей, так как сейчас гигабитные сетевые интерфейсы очень дороги по цене.

Для подключения домашних сетей к видеосерверу могут использоваться различные топологии сетей - звездообразная, кольцевая, шинная, древовидная и др. Однако в сетях кольцевой и шин-

Таблица 4.

Формат	Средний объем фильма, Гб	Относительное качество	Средняя скорость передачи фильма, Мбит/с	Максимальное количество одновременных зрителей при технологии unicast и скорости передачи сети, Мбит/с		
				10	100	1000
MPEG1	1	90 (VHS)	1,1	9	90	900
MPEG2	7	95 (DVD)	7,8	1	13	129
MPEG4	0,6	80 (VHS)	0,7	15	150	1500
MPEG4	1,8	95 (DVD)	2,0	5	50	500

Таблица 5.

Вид топологии сети	Максимальное количество одновременных зрителей при технологии unicast и скорости передачи линий в сети, Мбит/с		
	10	100	1000
Для радиально-звездообразной топологии сети при количестве радиальных линий N = 1	5	50	500
Для радиально-звездообразной топологии сети при количестве радиальных линий N = 10	50	500	5 000
Для радиально-звездообразной топологии сети с установкой серверов в узлах звездообразных сетей при количестве радиальных линий N = 10	1 000	10 000	100 000
При кольцевой топологии сети соединяющей звездообразные сети микрорайонов	10	100	1000

Количество линий в звездообразных сетях n = 20 (подключено 20 домов)

ной топологии используется только одна линия, что при большом количестве домов требует увеличения скорости передачи линии до 1000 Мбит/с. Например, если в микрорайоне имеется более 20 многоэтажных домов, то при увеличении количества абонентов более 400-500 потребует прокладка еще одной линии.

Преимущество звездообразной топологии сети - возможность уменьшить скорость пере-
дачи линии до 100

Мбит/с и, следовательно, использовать более дешевое оборудование при одновременном сохранении высокой суммарной скорости передачи за счет параллельной работы по нескольким линиям.

Расстояние между домами в микрорайоне редко превышает 300-400 м, поэтому при звездообразной топологии для строительства сети можно выбрать один из центральных домов, на котором установить централь-

ный управляемый Ethernet-коммутатор. Это сократит расстояния между центром сети и периферийными домами до 150-200 м и позволит использовать при строительстве сети недорогой многомодовый волоконно-оптический кабель отечественного производства, содержащий от 2 до 10 волокон, который подвешивается между домами на тросах.

Выбор оптоволоконной технологии для построения опорной сети обусловлен тем, что это

Таблица 6.

Вид топологии сети	Стоимости строительства сетей Ethernet при различной скорости передачи линий в сети, тыс.долл.США.					
	Максимальное количество одновременных зрителей					
	10 Мбит/с		100 Мбит/с		1000 Мбит/с	
	АОЛС	ВОЛС	АОЛС	ВОЛС	АОЛС	ВОЛС
Для радиально-звездообразной топологии сети при количестве радиальных линий N = 1	7,0	9,0	9,0	10,0	Не выпускаются	16,0
	5	5	50	50		500
Для радиально-звездообразной топологии сети при количестве радиальных линий N = 10	70,0	90,0	90,0	100,0	Не выпускаются	160,0
	50	50	500	500		5 000
Для радиально-звездообразной топологии сети с установкой серверов в узлах звездообразных сетей при количестве радиальных линий N = 10	100,0	120,0	120,0	130,0	Не выпускаются	160,0
	1000	1000	10 000	10 000		100 000
При кольцевой топологии сети соединяющей звездообразные сети микрорайонов	70,0	90,0	90,0	100,0	Не выпускаются	160,0
	10	10	100	100		1000

Количество линий в звездообразных сетях n=20 (подключено 20 домов)

единственная проводная технология, предназначенная для соединения зданий. Все остальные технологии Ethernet (10Base-T, 100Base-TX, 10Base-2) не предусматривают прокладку кабеля вне помещений, не обеспечивают защиты от грозовых разрядов и, следовательно, не могут использоваться для соединения зданий. Кроме того, оптоволокно обеспечивает масштабируемость сети с 10 Mbit до 1 Gbit без замены кабелей и обеспечивает передачу данных на значительно большие расстояния (до 2 км), по сравнению с электрическими технологиями.

В городах и населенных пунктах с 2-3 микрорайонами достаточно соединить распределительные сети микрорайонов через Центральный узел сети, который будет шлюзом в Internet.

В городах с большим количеством микрорайонов необходимо строить специальную опорную сеть, объединяющую микрорайоны. При этом возможны несколько вариантов реализации такой сети, в том числе на основе волоконно-оптических кабелей и атмосферно-оптические линий связи (АОЛС). В настоящее время отечественной промышленностью не выпускается АОЛС на скорость 1000 Мбит/с, поэтому для сетей с большим количеством абонентов необходимо оптимизировать проектные решения по выбору топологии.

Не вдаваясь подробно в анализ возможных топологий сетей, можно предложить следующие топологии:

- радиально-звездообразную;
- радиально-звездообразную с установкой в узлах звездообразных сетей микрорайонов дополнительных серверов;
- кольцевую, соединяющую звездообразные сети микрорайонов.

Радиально-звездообразная топология. Имеется один Центральный узел сети, который яв-

ляется шлюзом во всемирную сеть Ethernet, и звездообразные сети микрорайонов подключаются радиально волоконно-оптическими линиями связи или АОЛС. Преимущество радиально-звездообразной топологии сети - высокая суммарная скорость передачи за счет параллельной работы по нескольким радиальным линиям.

Радиус территории охвата сети ограничен длиной радиальных линий связи. При отсутствии канализации и подвеске волоконно-оптического кабеля между домами на тросах радиус охвата составляет не более 200-300 м, так как при большей длине существенно снижается надежность подвески такой линии. Возможна подвеска волоконно-оптического кабеля между несколькими домами последовательно, но надежность такой линии крайне низка.

В случае большего радиуса охвата территории целесообразно использовать АОЛС, которые могут обеспечить радиус охвата до 2 км. АОЛС обеспечивают пропускную способность (100 Мбит/с) и позволяют создать сеть там, где прокладка кабеля сильно затруднена - через улицы с оживленным движением, трамвайными и троллейбусными проводами. При отсутствии кабельной канализации и значительных расстояниях между микрорайонами АОЛС позволяют значительно снизить стоимость строительства сети.

При радиально-звездообразной топологии с установкой в узлах звездообразных сетей микрорайонов дополнительных серверов имеется один Центральный узел сети, который является шлюзом во всемирную сеть Ethernet и звездообразные сети микрорайонов подключаются радиально волоконно-оптическими линиями связи или АОЛС. В каждом из микрорайонов установлен сервер, обслуживающий только данный микрорайон.

При кольцевой топологии сети, соединяющей звездообразные сети микрорайонов, имеется один Центральный узел сети с сервером, который является шлюзом во всемирную сеть Ethernet и звездообразные сети микрорайонов соединяются друг с другом в кольцо волоконно-оптическими линиями связи или АОЛС.

В таблице 5 приведен расчет максимального количества одновременных зрителей при технологии unicast и скорости передачи сети в 10, 100 и 1000 Мбит/с (Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) для указанных трех топологий сетей при использовании метода кодирования MPEG4, среднем объеме фильма 1,8 Гб и средней скорости передачи фильма Мбит/с 2,0 (см. таблицу 4).

Как видно из данных таблицы 5, даже для средней скорости передачи 100 Мбит/с при радиально-звездообразной топологии с установкой в узлах звездообразных сетей микрорайонов дополнительных серверов можно обслуживать большее количество абонентов. Это обусловлено высокой суммарной скоростью передачи за счет параллельной работы нескольких серверов по многим радиальным линиям.

В таблице 6 дано сравнение стоимости строительства сетей Ethernet при использовании на атмосферных оптических и волоконно-оптических линиях связи при скорости передачи сети в 10, 100 и 1000 Мбит/с (Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) и среднем расстоянии между узлами звездообразных сетей по 1,2 км на атмосферных оптических и 1,5 км на волоконно-оптических линиях связи (удлинение за счет прокладки по кабельной канализации). Стоимость сервера составляет порядка 3,0 тысячи долларов США.

Из таблицы 6 видно, что для средней скорости передачи 100 Мбит/с для радиально-звездообразной топологии с установкой в

узлах звездообразных сетей микрорайонов дополнительных серверов стоимость по сравнению с другими топологиями сетей возрастает на 20-30% при росте числа абонентов в 10-20 раз. Кроме того, существенно улучшаются такие характеристики сети, как надежность, пропускная и перегрузочная способность за счет резервирования и параллельной работы нескольких серверов по многим радиальным линиям.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие основные принципы построения сетей Ethernet на атмосферных оптических линиях связи:

- целесообразно использовать звездообразные топологии сетей для увеличения числа обслуживаемых абонентов;
- при предоставлении услуги "видео по запросу" и других услуг, создающих большую нагрузку на сеть, в каждом из микрорайонов желательно установить сервер, обслуживающий только данный микрорайон. Тем самым снимается нагрузка с сети, объединяющей микрорайоны, что позволяет увеличить число абонентов в 10-20 раз и даже при скоростях линий связи 100 Мбит/с обеспечить порядка 10000 абонентов;
- атмосферно-оптические линии связи при оптимизации топологии сети обеспечивают значительное количество абонентов и позволяют быстро спроектировать и построить сеть там, где прокладка кабеля сильно затруднена, - через улицы с оживленным движением, трамвайными и троллейбусными проводами, в отдаленные микрорайоны, не имеющие кабельной канализации;
- увеличение скорости линий связи до 1000 Мбит/с приводит к росту затрат на создание сети на 30-40% и не обеспечивает значительного уве-

личения числа абонентов по сравнению с использованием атмосферных оптических линий связи со скоростью 100 Мбит/с и серверов, обслуживающих отдельные микрорайоны.

MPEG - аббревиатура, расшифровывается как Moving Picture Experts Group (<http://www.mpeg.org/>). Это достаточно большая организация, состоящая из разработчиков аудио-, видео- и компьютерной техники, а также программистов и специалистов, занимающихся разработкой и внедрением стандартов на алгоритмы компрессии, передачи, хранения и воспроизведения аудио- и видеоданных.

Среди разработок этой группы в области цифровой видеозаписи наиболее известными являются:

- Стандарт MPEG-1. Был выпущен в 1992 г. Чаще ассоциируется у пользователей с фильмами на VideoCD. Типичный бытовой формат видео для MPEG-1 в стандарте PAL составляет 352*288 пикселей, 25 кадров в секунду. Аудиочасть - стереозвук с частотой дискретизации 44,1 кГц, сжатый в MPEG-1 Layer II. Полнометражный фильм, записанный в этом формате, занимает два компакт-диска в стандарте VideoCD. Качество изображения на VideoCD -дисках находится на уровне бытовой VHS-видеокассеты.
- Стандарт MPEG-2. Выпущен в 1995 г. Пользователи сталкиваются с этим форматом компрессии видео, главным образом, приобретая DVD-диски с фильмами. Типичный размер кадра для DVD-фильма в видео-стандарте PAL/SECAM составляет 720*576, при 25 кадрах в секунду, или 640*480 при 30 кадрах в секунду в стандарте NTSC. По сравнению с

MPEG-1, в аудиочасти добавлена поддержка многоканального звука (Dolby Digital 5.1, DTS и т.п.). Увеличение битрейта и применение усовершенствованного алгоритма сжатия видеопотока обеспечило DVD-фильмам гораздо лучшее качество изображения, чем на VideoCD.

- Стандарт MPEG-4 (<http://mpeg.telecomitalia.com/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>). Разрабатывать его начали еще в первой половине 90-х гг. прошлого века. В декабре 1999 г. был представлен релиз этого формата, получивший официальный статус стандарта ISO/IEC. MPEG-4 задумывался как способ передачи потоковых медиаданных, в первую очередь видео по каналам с низкой пропускной способностью. Фильмы, записанные в формате MPEG-4, уже успели завоевать заслуженное признание среди широкой аудитории пользователей ПК. Применение более сложных алгоритмов компрессии позволило размещать полнометражные фильмы длительностью полтора-два часа в приемлемом качестве всего на одном компакт-диске.

Более подробно об этих стандартах:

1. <http://mpeg.boom.ru/index.html>, <http://mydivx.da.ru/>
2. Олег Фоминов. Мультимедиа и сети. "Мультимедиа. Цифровое видео", № 5-8, 1997.

Телефоны для контактов:

Тел.: (095) 238-1375

Тел./факс: (095) 230-1645

**Факс: (095) 230-2765,
(095) 230-1645**

E-mail:

nikolaev@aotelecom.ru