

Всемирная сеть Ethernet?

В настоящее время технология Ethernet [1] стала доминирующей на рынке локальных сетей. Кроме того, Ethernet вытесняет другие технологии в секторах корпоративных магистралей и магистралей операторов связи. Стандарты 1Гбит/с и 10Гбит/с Ethernet позволяют использовать её там, где традиционно применялась технология PDH/SDH (STM). В особенности, скорость передачи 10Гбит/с удобна при реализации DWDM магистралей; она соответствует максимальной скорости передачи для отдельной длины волны, и позволяет обеспечить передачу потока 40Гбит/с по 40 доступным длинам волн DWDM. Таким образом, Ethernet становится универсальной технологией канального уровня, постепенно вытесняя другие технологии.

В большинстве телекоммуникационных сетей поверх Ethernet работают протоколы семейства TCP/IP [2]. Популярность этого семейства завоевана способностью именно протоколов сетевого-сеансового уровней IP, TCP, UDP интегрировать различные канальные технологии и, таким образом, объединять различные сети канального уровня. Багаж приложений взросших в среде TCP/IP, таких как всемирная паутина HTTP, электронная почта SMTP, телефония VoIP, является основной ценностью указанного семейства протоколов.

В условиях когда и оконечные локальные сети, и магистрали построены на основе одной и той же технологии (Ethernet) протоколы сетевого-сеансового уровней, а именно IP, ICMP, TCP, UDP, в семействе TCP/IP становятся избыточными. Практически все задачи, решаемые этими протоколами, могут быть решены с помощью протоколов Ethernet. Адресация хостов может быть успешно выполнена с помощью MAC-адресов Ethernet; фрагментация при тотальном применении Ethernet не требуется; передача данных с установлением соединения алгоритмами скользящего окна может быть реализована Ethernet LLC2. Необходимыми дополнениями к стандартным возможностям Ethernet являются лишь: структурирование MAC-адресов для маршрутизации, включение номеров портов в стандартные заголовки Ethernet. Таким образом, от сетевых-сеансовых протоколов семейства TCP/IP остаётся лишь пара номеров портов для адресации сетевых приложений. Ликвидируются избыточные заголовки IP, TCP, минимальная длина которых составляет 40 байтов, а также множество вспомогательных протоколов, таких как ARP/RARP, DHCP и других.

Целью настоящей работы является построение схем реализации глобальных сетей на основе тотального применения Ethernet, аннулирования протоколов IP, ICMP, UDP, TCP с полным сохранением интерфейсов прикладного уровня.

1. Выбор схемы адресации

Рассмотрим необходимость применения двойной адресации (MAC-адрес, IP-адрес) в сети, полностью построенной на основе технологии Ethernet. Вначале изучим более подробно указанные адреса. MAC-адрес интерфейса Ethernet состоит из 6 байтов: первые 3 байта хранят код фирмы-изготовителя, 3 следующих байта представляют собой индивидуальный номер устройства. Ethernet предусматривает также широковещательный адрес, состоящий из двоичных единиц, и групповые адреса. Аппаратные средства (сетевые адаптеры, коммутаторы) не интерпретируют индивидуальные адреса, а используют их лишь как ключевую информацию для сравнения (полного совпадения) в таблицах коммутации. Таким образом, применение индивидуальных неструктурированных адресов приводит к необходимости использования таблиц, содержащих перечень всех индивидуальных адресов,

что является практически неосуществимым для глобальных сетей. Как правило, реальные коммутаторы позволяют создавать таблицы, насчитывающие от тысяч до десятков тысяч записей. Ещё одним негативным последствием применения неструктурированных адресов являются широковежательные штормы, губительные для производительности крупномасштабных сетей.

Следует отметить, что в настоящее время практически все интерфейсы Ethernet, поддерживаю возможность программного назначения MAC-адреса, что является одной из важнейших предпосылок для построения глобальных сетей. Кроме того, практически все проводные сети Ethernet микросегментированы, то есть к каждому порту коммутатора (маршрутизатора) подключено только одно терминальное/сетевое устройство.

Достоинством IP-адресации является структурирование адреса с помощью разделения на адрес IP-сети и адрес хоста внутри сети. IP-адрес состоит из 4 байтов. В настоящее время в бесклассовой системе адресации CIDR наиболее простым способом задания структуры является указание количества битов адреса сети:

194.46.88.237/12.

что соответствует классическому способу:

IP-адрес: 194.46.88.237, маска сети: 255.240.0.0

Структурированный адрес позволяет использовать в таблицах маршрутизации одну запись для всей IP-сети и таким образом сократить размер таблиц маршрутизации. Ещё одной возможностью для сокращения размеров таблиц маршрутизации является агрегирование адресов нескольких IP-сетей под общей маской, что является весьма эффективным средством при назначении IP-адресов близком к оптимальному. Например IP-сети

194.224.0.0/12 и 194.208.0.0/12

можно агрегировать в IP-сеть

194.192.0.0/10

Предлагаем ввести структурирование MAC-адресов для полного отказа от использования промежуточных IP-адресов. Действительно, поле кода производителя не интерпретируется аппаратно; MAC-адреса современных интерфейсов Ethernet можно назначить программно. Таким образом, можно использовать все 6 байтов адреса для создания новой системы адресации Ethernet интерфейсов.

В результате предварительного анализа выбрано три следующих перспективных схемы адресации:

Е6. Использование всех 6 байтов в качестве сетевого адреса с дополнительным его разделением на адрес сети и адрес хоста с помощью маски (количества битов сетевого адреса).

Е6-4. Сохранение существующего IP-адреса в последних 4 байтах MAC-адреса; первые два байта заполняются нулями и не используются.

Е4Р. Сохранение существующего IP-адреса в первых 4 байтах MAC-адреса и номера порта в оставшихся 2 байтах.

Перечисленные схемы адресации имеют как свои достоинства, так и недостатки:

Схема Е6 даёт возможность решить существующую проблему дефицита IP-адресов, увеличив количество доступных адресов в $2^{32} \approx 65000$ раз. Она не требует существенного изменения алгоритмов работы интерфейсов. Однако возникает необходимость размещения 4 байтов номеров портов источника и приёмника либо в существующих заголовках кадров Ethernet либо в дополнительном заголовке (формата сокращённого UDP). Кроме того, этот способ требует преобразования системы DNS для использования 6 байтовых адресов и модификации прикладных интерфейсов.

Схема Е6-4 обеспечивает преемственность существующей IP-адресации, она не требует внесения изменений в приложения и систему DNS и существенного изменения алгоритмов работы интерфейсов. Однако, как и в Схеме Е6 возникает необходимость размещения 4 байтов номеров портов источника и приёмника либо в существующих заголовках кадров Ethernet либо в дополнительном заголовке (формата сокращённого UDP).

Схема Е4Р не требует создания дополнительных заголовков кадра Ethernet для номеров портов; она позволяет полностью сохранить существующую систему IP-адресации. Однако требует существенного изменения алгоритмов работы интерфейсов и коммутаторов (маршрутизаторов), которые должны игнорировать 2 байта номера порта при сравнении адресов.

2. Интерфейсы прикладного уровня

Предлагается свести к минимуму модификации интерфейсов прикладного уровня для обеспечения работы всех имеющихся сетевых приложений таким образом, что изменения стека протоколов будут незаметными для конечного пользователя.

Без использования протоколов уровня представления информации, таких как SSL, интерфейсы прикладного уровня достаточно просты. Они состоят в указании сокетов отправителя и получателя и номера протокола (UDP, TCP) в командах чтения/записи для клиентов/серверов и командах прослушивания сокета для серверов. Сокет состоит из пары: IP-адрес, номер порта.

Номер протокола достаточно просто моделируется использованием Ethernet LLC1 для протокола UDP и Ethernet LLC2 для протокола TCP, обеспечивая простую передачу кадров без установления соединения и подтверждений в первом случае и передачу кадров с установлением соединения и алгоритмом скользящего окна во втором случае.

Номер порта предлагается оставить неизменным для адресации сетевых приложений внутри хоста с сохранением всех стандартных назначений хорошо-известных видов сервиса и делением на порты серверов и клиентов.

IP-адрес также остаётся неизменным при использовании Схем адресации Е6-4, Е4Р с полным сохранением существующей системы имён DNS.

Применение 6 байтовых адресов при использовании Схемы адресации Е6 требует полной перекомпиляции всех приложений с единственной модификацией кода, состоящей в увеличении числа байтов адреса. Кроме того, требуется модификация существующих таблиц системы DNS.

В простейшем случае можно поместить существующие IP-адреса в младшие 4 байта Е6-адреса, дополнив его некоторым начальным номером сети, например 1.0 слева до 6 байтов, что позволит воспринять полностью существующую де-факто систему назначения IP-адресов. В дальнейшем возможно использование полного адресного пространства, дающее возможность расширить сети до размера, сопоставимого с IPv6. Модификация таблиц системы DNS может быть выполнена несложными конверторами, дополняющими адрес начальным номером сети слева: 1.0.194.46.88.237.

Однако представляется целесообразным выполнить оптимизацию распределения адресного пространства при переходе на новую систему адресации Е6 с учётом топологии маршрутизации и перспектив дальнейшего расширения.

3. Стек протоколов

Стандартный стек протоколов семейства TCP/IP модифицируется таким образом, что множество протоколов уровней сетевой-сеансовый заменяется единственным уровнем адаптации Е6/Е6-4/Е4Р (рис. 1). Для простоты уровень представления информации (SSL и другие протоколы) исключены из рассмотрения, но они также могут быть интегрированы в Схемы Е6/Е6-4/Е4Р.

OSI-ISO	TCP/IP		Е6/Е6-4/Е4Р
Прикладной	HTTP, FTP, SMTP, VoIP		HTTP, FTP, SMTP, VoIP
Сеансовый	TCP		Согласование Е6/Е6-4/Е4Р
Транспортный		UDP	
Сетевой	IP		
Канальный	Ethernet		Ethernet

Рис. 1. Стеки протоколов: OSI-ISO, TCP/IP, Е6/Е6-4/Е4Р

Функции уровня согласования Е6:

- выбор LLC0 вместо UDP, LLC2 вместо TCP;
- размещение Е6-адреса отправителя в MAC-адресе отправителя;
- размещение номера порта отправителя в дополнительном заголовке HP2;
- размещение Е6-адреса получателя в MAC-адресе получателя;
- размещение номера порта получателя в дополнительном заголовке HP2;
- размещение информации QoS в поле приоритета заголовка 802.1p/Q.

Функции уровня согласования Е6-4:

- выбор LLC0 вместо UDP, LLC2 вместо TCP;
- размещение IP-адреса отправителя в последних 4 байтах MAC-адреса отправителя, заполнение первых 2 байтов нулями;
- размещение номера порта отправителя в дополнительном заголовке HP2;
- размещение IP-адреса получателя в последних 4 байтах MAC-адреса получателя, заполнение первых 2 байтов нулями;
- размещение номера порта получателя в дополнительном заголовке HP2;
- размещение информации QoS в поле приоритета заголовка 802.1p/Q.

Функции уровня согласования Е4Р:

- выбор LLC0 вместо UDP, LLC2 вместо TCP;
- размещение IP-адреса отправителя в первых 4 байтах MAC-адреса отправителя;
- размещение номера порта отправителя в последних 2 байтах MAC-адреса отправителя;
- размещение IP-адреса получателя в первых 4 байтах MAC-адреса получателя;
- размещение номера порта получателя в последних 2 байтах MAC-адреса получателя;
- размещение информации QoS в поле приоритета заголовка 802.1p/Q.

Формат заголовка HP2 (сокращённый UDP):

Номер порта отправителя (SPN) 16 бит	Номер порта получателя (DPN) 16 бит
--------------------------------------	-------------------------------------

В простейшем случае заголовок HP2 в Схемах Е6, Е6-4 может быть добавлен с помощью обычной инкапсуляции, как и при реализации стека TCP/IP. Возможно также его размещение в дополнительных заголовках Ethernet, например SNAP, TCI.

Для реализации указанных схем выбраны форматы кадров IEEE 802.3/LLC и 802.lp/Q, позволяющие реализовать 3 уровня LLC, предусмотренных стандартами, а также указывать параметры QoS в заголовке TCI виртуальных сетей. Заметим, что при этом максимальная длина поля данных кадра (1500) сокращается на 3-7 байтов.

Следует отметить, что классификация стеков Схем Е6/Е6-4/Е4Р выполнена с точки зрения замещения соответствующих уровней стека TCP/IP. Однако множество существующих подуровней канального уровня Ethernet создали классификационные сложности де-факто. При более точной классификации уровень адаптации Е6/Е6-4/Е4Р может быть охарактеризован как транспортный; подуровень Ethernet MAC – как сетевой уровень, подуровни Ethernet LLC1,2 – как транспортные и сеансовые.

4. Построение сети на основе Схемы адресации Е6

Схема Е6 не требует изменения алгоритмов работы Ethernet интерфейсов. Однако, требуется инкапсуляция заголовка HP2, состоящего из 4 байтов. Кроме того, в общем случае требуется применение специальных коммутирующих маршрутизаторов Е6.

4.1. Сетевые интерфейсы

Логический интерфейс представлен указанием Е6-адреса и маски Е6-сети. Вместо коммутаторов и маршрутизаторов используется коммутирующий маршрутизатор Е6; возможно также применение обычных коммутаторов на периферии сети, которое будет рассмотрено ниже. В случае тотального применения коммутирующих маршрутизаторов Е6 указание Е6-адреса маршрутизатора по-умолчанию излишне.

Физический интерфейс конфигурируется как MAC-адрес, представляющий собой копию адреса Е6. Модификация работы интерфейсов не требуется. Программное обеспечение согласования Е6 копирует MAC-адрес в Е6 адрес, извлекает номера портов из дополнительного заголовка HP2 и передаёт информацию соответствующему приложению.

4.2. Алгоритм работы коммутирующего маршрутизатора Е6

Совмещённый коммутирующий маршрутизатор Е6 (КМЕ6) выполняет непосредственную коммутацию кадра в том случае, если устройство назначения подключено к его собственному интерфейсу и определение номера порта следующего хопа (шлюза) в противном случае. Отличием формата таблиц от классических таблиц коммутации является наличие как записей об индивидуальных хостах так и записей о сетях:

Адрес устройства/сети		Номер порта
Е6-адрес	Число битов адреса сети (маска)	

Единый формат обеспечивается указанием числа битов сети в адресе. Если указанное число битов сети равно 48, то подключено терминальное устройство, в противном случае подключена некоторая сеть, в которую можно попасть через указанный порт (через некоторую последовательность коммутирующих маршрутизаторов). Как и в стандартных алгоритмах маршрутизации, предпочтение отдаётся записи с наиболее специфической маской, таким образом, гарантируется доставка непосредственно подключенному устройству. При использовании микросегментированной Ethernet указанный номер порта однозначно задаёт следующий хоп и не требует его спецификации парой: адрес интерфейса, адрес хопа (шлюза).

В таблицы могут быть включены дополнительные поля метрик для выбора следующего хопа при наличии нескольких альтернативных маршрутов. Таблицы могут задаваться статически. Кроме того, возможна адаптация стандартных алгоритмов динамической маршрутизации RIP, OSPF и других для построения таблиц. Адаптация алгоритмов не является существенной. Требуется, лишь упрощение спецификаций адреса шлюза при замене его номером соответствующего порта.

Для обеспечения целостности системы маршрутизации целесообразно назначение подсети на КМЕ6. Собственная подсеть может быть представлена записью таблицы с указанием несуществующего номера порта, равного 0. Кроме того, для удалённого конфигурирования КМУ6 требуется назначение ему некоторого адреса. Для простоты можно считать, что адрес 1 собственной сети назначен коммутирующему маршрутизатору.

4.3. Пример реализации сети на основе Схемы адресации Е6

Структурная схема сети, состоящей из 5 КМЕ6, 64 терминальных устройств с подключением к глобальной сети представлена на рис. 2.

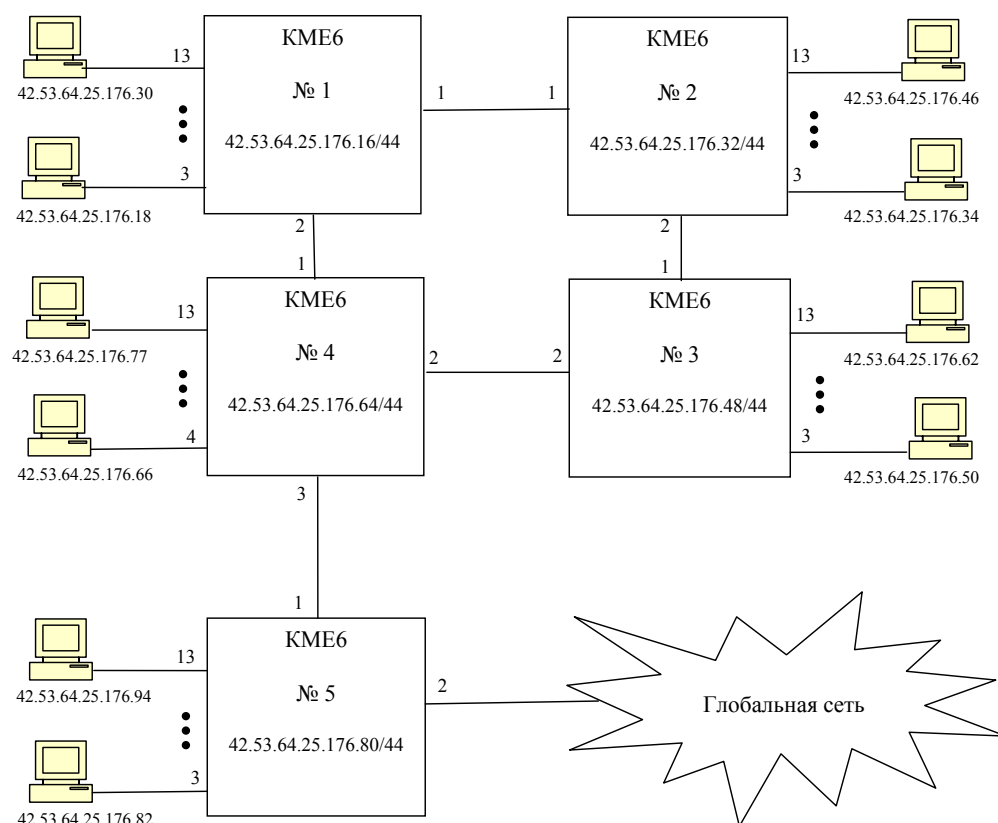


Рис. 2. Структурная схема сети Е6

Заметим, что, так как Е6 адрес интерпретируется также как расширенный до 6 байтов CIDR IP-адрес, то есть адрес со всеми нулевыми битами поля адреса хоста зарезервирован как сетевой адрес, а адрес со всеми единицами - как широковещательный, количество доступных хостов для сетей с различной длиной поля адреса хоста задаётся Таблицей 1.

Таблица 1. Количество терминальных устройств Е6 подсетей

Маска	Битов адреса хоста	Количество устройств	Количество терминальных устройств
46	2	2	1

45	3	6	5
44	4	14	13
43	5	30	29
42	6	62	61
...
4	44	17592186044414	17592186044413
3	45	35184372088830	35184372088829
2	46	70368744177662	70368744177661

Для каждого КМЕ6 на схеме указан его номер, Е6 адрес собственной сети с маской, а также номера портов, подписанные на линиях связи. Кроме того, указаны Е6 адреса терминальных устройств. Заметим, что использованы КМЕ6 с 13 портами для Е6 сетей под маской 44; 4 бита адреса хоста дают 16 значений, из них 0000 - для адресации подсети, 1 1 1 1 - широковещательный, 0001 - собственный адрес КМЕ6.

Построим таблицы коммутации/маршрутизации (Таблица 2) для КМЕ6 сети, представленной на рис. 2. В таблицы включено значение метрики, которое в предположении равной скорости портов может быть в простейшем случае оценено как количество промежуточных линий связи (число_хопов + 1).

Таблица 2. Таблицы коммутации/маршрутизации КМЕ6

КМЕ № 1				КМЕ № 2			
Адрес	Маска	Порт	Метрика	Адрес	Маска	Порт	Метрика
42.53.64.25.172.16	44	0	0	42.53.64.25.172.32	44	0	0
42.53.64.25.172.18	48	3	0	42.53.64.25.172.34	48	3	0
...
42.53.64.25.172.30	48	13	0	42.53.64.25.172.46	48	13	0
42.53.64.25.172.32	44	1	1	42.53.64.25.172.16	44	1	1
42.53.64.25.172.64	44	2	1	42.53.64.25.172.48	44	2	1
42.53.64.25.172.48	44	2	2	42.53.64.25.172.64	44	2	2
42.53.64.25.172.80	44	2	2	42.53.64.25.172.80	44	2	2
0.0.0.0.0	0	2	5	0.0.0.0.0	0	2	5

КМЕ № 3				КМЕ № 4			
Адрес	Маска	Порт	Метрика	Адрес	Маска	Порт	Метрика
42.53.64.25.172.48	44	0	0	42.53.64.25.172.64	44	0	0
42.53.64.25.172.50	48	3	0	42.53.64.25.172.66	48	4	0
...
42.53.64.25.172.62	48	13	0	42.53.64.25.172.77	48	13	0
42.53.64.25.172.32	44	1	1	42.53.64.25.172.16	44	1	1
42.53.64.25.172.64	44	2	1	42.53.64.25.172.48	44	2	1
42.53.64.25.172.16	44	1	2	42.53.64.25.172.80	44	3	1
42.53.64.25.172.80	44	2	2	42.53.64.25.172.32	44	2	2
0.0.0.0.0	0	2	5	0.0.0.0.0	0	2	5

КМЕ № 5

Адрес	Маска	Порт	Метрика
42.53.64.25.172.80	44	0	0
42.53.64.25.172.82	48	3	0
...
42.53.64.25.172.94	48	13	0
42.53.64.25.172.64	44	1	1
42.53.64.25.172.16	44	1	2
42.53.64.25.172.48	44	1	2
42.53.64.25.172.32	44	1	3
0.0.0.0.0	0	2	5

Первая строка каждой таблицы задаёт собственную сеть КМЕ6 с помощью выделенного для этих целей номера псевдопорта 0; затем следует таблица коммутации для непосредственно подключенных терминальных устройств с Е6 адресами под маской 48; затем представлена таблица маршрутизации. Альтернативные маршруты равной метрики не включены в таблицы. Заметим, для маршрута по-умолчанию 0.0.0.0.0 во всех таблицах указана одинаковая метрика, превышающую метрику для всех собственных Е6-сетей.

С помощью ручной трассировки несложно проверить доставку каждого кадра по назначению для всевозможных пар Е6 адресов отправителя и получателя для терминальных устройств. Таблицы заданы статически, но их построение может быть также выполнено модифицированными протоколами RIP и OSPF.

4.4. Назначение Е6 адресов

В простейшем случае назначение Е6 адресов интерфейсов и подсетей может быть выполнено вручную. Однако для больших сетей такой способ может оказаться трудоёмким. Представляется целесообразным разработать специальный протокол Е6DCP, аналогичного по назначению DHCP, но существенно отличающегося от него. Наиболее эффективным представляется автоматическое назначение Е6 подсетей каждому КМЕ6, а затем КМЕ6 выполняет назначение Е6 адресов непосредственно подключенным терминальным устройствам. Дополнение существующих стандартов Ethernet протоколом НСР, назначающим адреса хостам позволит аннулировать недостатки Ethernet, связанные с ширококвещательными штормами. При подключении хост передаёт специальный кадр запроса адреса, КМЕ6 удовлетворяет его запрос из адресного пространства собственной Е6 подсети с помощью специального кадра назначения адреса.

4.5. Практическая реализация сети

Заметим, что на периферии сети возможно применение обычных коммутаторов Ethernet однако работа сети может быть неэффективной из-за неизбежного ширококвещания при каждом появлении адреса, не содержащегося в коммутируемой подсети. Ширококвещание обеспечит доставку кадра с неизвестным Е6 адресом назначения первому КМЕ6. к которому подключена коммутируемая сеть, но размеры таблиц коммутации будут при этом расти.

Аналогичная проблема в сетях TCP/IP-Ethernet решена с помощью указания адреса шлюза, по-умолчанию на каждом хосте. Предлагается . незначительно модифицировать периферийные коммутаторы Ethernet для Е6 сетей. Коммутатор должен знать адрес коммутируемой Е6' подсети и выполнять ширококвещание только для Е6 адресов этой подсети. Для неизвестных адресов, не принадлежащих коммутируемой Е6 подсети, должна быть обеспечена доставка кадров к КМЕ6. Для этих целей требуется указать лишь выделенный порт, находящийся на кратчайшем маршруте к КМЕ6. Во многих случаях такие модификации могут быть выполнены с помощью специальных патчей микропрограмм коммутатора.

КМЕ6 могут быть реализованы на основе существующих маршрутизаторов. Требуется модификация используемых таблиц, состоящая в расширении адресов до 6 байтов и спецификации шлюза номером порта. Однако наибольшая эффективность построения сети может быть обеспечена специально спроектированными коммутирующими маршрутизаторами E6.

5. Особенности построение сети на основе Схем адресации E6-4/E4P

5.1. Схема E6-4

Схема E6-4 представляет собой некоторый компромисс между преимуществами использования единого сетевого адреса и требуемыми изменениями в работе программных и аппаратных средств. Она не даёт возможности расширения адресного пространства по сравнению с IPv4 адресацией, но сохраняет полную преемственность работы прикладного уровня и требует минимальных изменений протоколов динамической маршрутизации.

Принципы построения сетей остаются теми же, что и для схемы E6, но E6-4 адрес интерпретируется как IP-адрес (32 бита) в работе приложений, программного обеспечения DNS, протоколов динамической маршрутизации, и как Ethernet MAC-адрес в работе интерфейсов.

5.2. Схема E4P

Схема E4P отличается от схемы E6-4 только упаковкой номера порта в MAC-адрес и ликвидацией дополнительного заголовка HP2, что экономит 4 байта в длине каждого кадра. Однако требуется изменения алгоритмов работы Ethernet интерфейсов, что может быть выполнено во многих случаях с помощью специальных программных патчей, модифицирующих микропрограммы устройств. Однако привлекательностью схемы E4P, как было отмечено выше, остаётся полное сохранение интерфейсов и программного обеспечения прикладного уровня, существующей IP-адресации внутри E4P.

Физический интерфейс конфигурируется как произвольный MAC-адрес формата E4P, содержащий в старших 4 байтах IP-адрес хоста. Для определённости можно заполнить 2 байта номера порта нулями. Например, для IP адреса 194.46.88.237 получаем 194.46.88.237.0.0.

Алгоритм работы интерфейса модифицирован таким образом, что любой MAC-адрес назначения, который удовлетворяет сети x1.x2.x3.x4.x5.x6/32 интерпретируется как свой собственный, соответствующий кадр принимается и передаётся в неинтерпретированном виде программному обеспечению адаптации E4P. Программное обеспечение адаптации E4P выделяет номер порта и IP-адрес и передаёт информацию соответствующему приложению.

6. Интеграция с современными технологиями магистральных сетей

Следует отметить, что классическая IP-маршрутизация неуклонно оставляет свои позиции в магистральных сетях. Доставка пакетов в магистралах в настоящее время выполняется с помощью технологии коммутации метки MPLS [3]. Таким образом, пакет проходит корпоративную сеть, большая часть которой является коммутируемой Ethernet, затем несколько промежуточных IP-маршрутизаторов, затем, на входе в MPLS сеть пакет дополняется меткой, которая является единственным заголовком для доставки и, наконец, повторяет указанную трассу в обратном порядке к устройству назначения. Таким образом, большую часть пути пакета заголовки TCP, UDP, IP не анализируются и не используются. Не слишком ли это обременительный груз для современных магистралей.

Итак, реально в современных сетях работают лишь заголовки Ethernet кадров и метки технологии MPLS, оставляя протоколам TCP, UDP, IP роль кратковременного посредника между ними. В Ethernet – для доставки кадра к маршрутизатору по-умолчанию и в MPLS

сети – для формирования начальной метки.

Предлагается выполнить интеграцию E6/E6-4/E4P с технологией MPLS. Традиционно заголовки Ethernet кадров, доставленных в MPLS сеть, отбрасываются; анализируются заголовки инкапсулированных IP-пакетов для назначения первоначальной метки и создания маршрутов коммутации меток. Требуется лишь сохранить заголовок Ethernet кадра с E6/E6-4/E4P адресами и далее вставлять метки перед ним.

Для назначения класса эквивалентности доставки (FEC) в MPLS в основном используется пара IP-адресов и информация о качестве обслуживания заголовка IP. Предлагается использовать для аналогичных целей E6/E6-4/E4P адреса и информацию о качестве обслуживания, сохранённую в поле приоритета заголовка 802.1p/Q.

7. Преимущества схем адресации E6/E6-4/E4P

Несомненным преимуществом схем адресации E6/E6-4/E4P является аннулирование дополнительной информации минимально на 40-36 байтов для каждого сегмента за счёт ликвидации заголовков TCP, IP. Кроме того, при разбиении сегмента на пакеты экономится 20-16 байтов заголовков IP для каждого пакета. При рассмотрении пакетов с опциями TCP и IP экономится большее пространство.

И, хотя аннулирование заголовков позволяет высвободить лишь около 3% пространства кадра Ethernet максимальной длины (40 / 1500), преимущества могут быть весьма существенными при передаче VoIP трафика. Размеры TCP/IP заголовков сопоставимы с длиной ячейки ATM технологии, разработанной именно исходя из требований качественной передачи голосового трафика. Заголовки TCP/IP являются слишком обременительным грузом при передаче небольших пакетов IP-телефонии.

Кроме того, ликвидируется двойная адресация в сети и связанные с ней проблемы отображения адресов, обуславливающие разработку дополнительных протоколов, таких как ARP/RARP, DHCP.

Применение схемы адресации E6 позволяет расширить адресное пространство сети в 65 тысяч раз и решить таким образом проблему дефицита адресов.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова готова приступить к разработке детализированного проекта новых схем адресации E6/E6-4/E4P, созданию программного обеспечения стеков E6/E6-4/E4P на платформах Unix и MS Windows, проектированию коммутирующих маршрутизаторов E6/E6-4/E4P и построению опытных сетей в лабораторных условиях и на полигонах заказчика.

Таким образом, в настоящей работе предложены новые схемы адресации глобальных сетей, полностью построенных на основе технологии Ethernet с аннулированием протоколов сетевого-транспортного уровней стека протоколов TCP/IP. Преимуществом предложенного подхода является сокращение доли служебной информации, передаваемой, в сети, более чем на 3%, повышение производительности сети, в особенности, при передаче голосового трафика, расширение пространства сетевых адресов в 65 тысяч раз.

Литература

1. Стандарты Ethernet: IEEE 802.3*, IEEE 802.1*.
2. IETF RFC: 791 – IP, 768 – UDP, 793 – TCP, 894 – IPoverEthernet.
3. IETF RFC: 3031 – MPLS, 3036 – LDP.