**Технологии создания магистральных сетей: современное состояние и перспективы**

Герхард Кафка

Tакие явления, как банкротство, отрицательный баланс и сокращение штатов у потребителей и поставщиков сетевых услуг, оказывают значительное влияние на состояние телекоммуникационного рынка. Тем не менее мы можем говорить о начале всеобщего прорыва в области конвергенции сетевых архитектур в мировом масштабе. Имеющие непосредственное отношение к этому процессу предприятия единодушно заявляют о том, что остановить его уже невозможно, а его реализация — вопрос времени. Сверхзадача следующего поколения сетей состоит в том, чтобы объединить лучшие качества старых и новых технологий. От операторов требуют повышения надежности системы с открытой архитектурой и, в конечном итоге, замены до сих пор раздельных и параллельно функционирующих сетей, каждая из которых рассчитана на определенный круг приложений. Новейшие сети должны обладать высокой степенью готовности, безопасности и качества услуг наряду с большой гибкостью, масштабируемостью и экономичностью. Чтобы в будущем все без исключения телекоммуникационные услуги можно было оказывать на должном уровне на основе единой платформы, кроме всего прочего, необходимо выполнение перечисленных далее предпосылок:

1. Гибкие механизмы для быстрой организации новых видов сервиса. Имеющиеся опции должны при необходимости позволять клиентам самим конфигурировать услуги.

2. Шлюзы и концентраторы для согласования уже существующих приложений. Так называемые интегрированные устройства доступа (Integrated Aceess Device, IAD) предлагают для этого традиционные интерфейсы (V.24, ISDN, Ethernet и др.) и отвечают за конвертацию в протокол глобальной платформы.

3. Широкополосный доступ для преодоления имеющихся до сих пор узких мест при переходе от локальной сети к глобальной. Временные решения, например цифровая абонентская линия (xDSL), беспроводная местная линия связи (WLL), Powerline и кабельный модем, задействуют уже функционирующие инфраструктуры, на смену которым в долгосрочной перспективе должно прийти оптическое волокно.

4. Неблокирующие и работающие в режиме реального времени магистральные сети с возможностью гибкого предоставления ступенчатого качества услуг для различных применений. Ethernet и TCP/IP теснят все в большей степени традиционные технологии передачи данных WDM, SDH/SONET и ATM.

4. Последовательный ввод компонентов сети связи. Помимо высокой степени готовности на уровне 99, 999% должны быть соблюдены такие условия, как масштабируемость и оснащенность.

ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО

Проложенное по всему миру оптическое волокно предоставляет избыточную емкость: из пригодных для использования длин волн, согласно исследованиям рынка географии телекоммуникаций, до сих пор задействовано лишь 1-2%. Если взять за основу закон Глидера — объем предаваемой информации увеличивается каждый год, — тогда имеющейся транспортной емкости хватит на долгие годы.

Новые успехи в науке и технике должны способствовать достижению теоретического максимума пропускной спасобности 100 Tбит/с, распространению технологии всеволнового оптического волокна, применение которого открывает до сих пор не используемую область из-за присутствия ионов воды 1400 нм (см. врезку «Всеволновое оптическое волокно»), WDM, новых технологий модуляции и техники солитоновой передачи (метод передачи путем специальных оптических импульсов со свободной регенерацией). Современные коммерческие системы достигают пропускной способности свыше 1 Tбит/с; в лабораторных условиях уже продемонстрирована возможность передачи со скоростью свыше 10 Tбит/с.

WDM КАК КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Ключевой технологией для интегрированных телекоммуникационных сетей и высокоскоростных сетей передачи данных является технология спектрального уплотнения (Wavelength Division Multiplexing, WDM). Она позволяет одновременно передавать через оптическое волокно несколько сигналов. Каждый сигнал при этом подается со слегка отличной несущей частотой и имеет, к тому же, свой цвет. WDM — нейтральная по отношению к услугам транспортная платформа. В рекомендациях Международного телекоммуникационного союза G.692 в области 1550 нм предусматривается 40 каналов DWDM (плотное спектральное уплотнение), ширина полосы каждого из них составляет 100 ГГц (приблизительно 0, 8 нм). Каждая длина волны (лямбда) несет нагрузку в 2, 5 либо 10 Гбит/с. Дальнейшее развитие предусматривает ширину канала в 0, 4 и 0, 2 нм, за счет чего число лямбд повысится, соответственно, на 80 и 160. Разработчики хотят довести скорость передачи до 160 Гбит/с.

Так как оптическое волокно имеет свойство поглощать оптические сигналы, без регенерации или усиления они передаются только на ограниченное расстояние (обычно от 70 до 300 км). Для усиления оптические сигналы необходимо сначала преобразовать в электрические, а затем снова в световые. На электрическом уровне реализуются также функции мультиплексирования, коммутации и ввода/вывода.

ФОТОННЫЕ СЕТИ

Все-таки будущее принадлежит полностью оптическим (фотонным) сетям. Уже сегодня усилители на основе волокна с примесью эрбия (EDFA) в комбинации с усилителями Рамана регенерируют оптические сигналы, так что расстояния свыше 1000 км становятся легко преодолимыми. Кроме того, имеющиеся оптические компоненты коммутации, такие, как микроэлектромеханические системы (MEMS) с крошечными зеркалами, способны маршрутизировать отдельные длины волны.

При помощи 2D-систем реализуются типичные соединения 32 на 32 порта (N); благодаря будущим 3D-системам ожидается увеличение числа портов сначала до 256 и 1024, а затем и до 8192. 2D-системам необходимо на одну лямбду N2 зеркал, тогда как 3D-системам — 2N зеркал. Конечно, управлять ими очень тяжело. Простое управление 2D-системами и масштабируемость 3D-систем должны быть скомбинированы в 1D-системах. Эти системы работают с N зеркалами на лямбду и предвещают тем самым существенную экономию. При пропускной способности коммутации 96 лямбд на порт с коммутатором 2 на 2 реализуется емкость соединения 192 на 192 длин волн. Фотонные соединения без механических деталей, например на основе жидких кристаллов, находятся в фазе тестирования и предлагают сегодня до 16 портов.

Оптическая транспортная платформа, состоящая из оптического волокна, систем DWDM и устройств передачи, является основой для различных технологий передачи данных, применяемых в различных комбинациях. К ним относятся SDH/SONET, ATM, Ethernet и семейство протоколов IP.

SDH/SONET ПРОТИВ ETHERNET

Первоначально для передачи голосовых сигналов были разработаны опробованные на практике технологии TDM первого уровня (мультиплексная передача с временным разделением) с коммутацией каналов: SDH в Европе, SONET в США. Поэтому они — в отличие от IP — не оптимизированы для передачи трафика локальных сетей с Ethernet и коммутации пакетов. Достоинства SDH/SONET состоят в предоставлении гарантированной пропускной способности, гранулированных функций мультиплексирования и кроссировки, а также масштабируемости скорости передачи от 155 Мбит/с до 40 Гбит/с. На настоящем этапе развития технологий возникает необходимость в создании следующего поколения SDH, оптимизированного для Ethernet и IP/MPLS.

Недавно принятый стандарт на 10 Gigabit Ethernet (10 GigЕ) позволяет операторам и поставщикам услуг Internet получить очень большую пропускную способность при незначительных затратах. Новая технология содействует инновационным решениям для городских и глобальных систем, когда требуется соединить географически разнесенные территориальные сети посредством темного оптического волокна, темных длин волн (в случае WDM) или SONET/SDH.

Сквозное применение Ethernet, как технологии передачи, ведет к очень экономичным и проверенным решениям и означает, что смена технологий уже не будет для пользователя дорогостоящей. Вместо применяемых сегодня интерфейсов глобальных сетей — frame relay или ATM на одном маршрутизаторе, — могут быть установлены интерфейсы Ethernet для соединения с глобальной сетью со скоростью передачи локальной сети в 10 Гбит/с или SDH в 9, 95328 Гбит/с. Адаптирующееся пакетное кольцо (Resilient Packet Ring, RPR) способствует при этом избыточности реализации.

Форум Metro Ethernet содействует продвижению технологии Ethernet в области городских сетей; специальная рабочая группа IEEE занимается решениями доступа на основе Ethernet на первой миле (Ethernet in the First Mile, EFM). Для приложений, где требуется обслуживание по мере возможности, Ethernet может полностью заменить уровень SDH. В приложениях, где необходимо обеспечить качество услуг, будет оправданной комбинация Ethernet и SDH.

MPLS И ИНЖИНИРИНГ ТРАФИКА

Популярность технологии IP объясняется несколькими словами: простота, быстродействие, дешевизна и постоянная готовность. Ее проникновение на рынок произошло вопреки известным недостаткам, среди которых — использование сетевого протокола без установления соединения, функционирование исключительно в соответствии с принципом «по мере возможности», низкая защищенность при обслуживании обычно разделенных функций адресации и маршрутизации с одним параметром (IP-адрес) и отсутствие поддержки качества услуг. Значительное расширение возможностей IP обещает введение MPLS. Образованная в 1997 г. рабочая группа IETF разработала открытый метод MPLS на основе специально созданных решений для многоуровневой коммутации. Важнейшими целями MPLS являются: улучшение производительности и масштабируемости маршрутизации IP; упрощение явной маршрутизации и инжиниринг трафика; разделение функций маршрутизации и продвижения данных для обеспечения возможности независимого изменения каждой; подготовка единого алгоритма продвижения данных для охвата функциональной области маршрутизации.

MPLS ориентирована на установление соединения и создает предпосылки для сопряжения IP с протоколами второго уровня, GigE, 10 GigE, frame relay и особенно ATM, а также для обеспечения классов услуг — классов эквивалентности продвижения данных (Forwarding Equivalenec Classe, FEC). Кроме того, существующие инфраструктуры IP используются для расширения мультисервисных сетей. Инжиниринг трафика оптимизирует загрузку соединений IP, кроме того, благодаря DiffServ в транспортной сети становится доступным QoS. И наконец, MPLS создает основу для организации виртуальных частных сетей VPN третьего уровня. Состав MPLS согласно IETF подразделяется на три ключевые области: определение метки: метод присвоения «метки» потоку данных; метод продвижения данных: решение о дальнейшем продвижении данных принимается маршрутизатором на основе меток определенной длины вместо анализа многоуровневой информации; распространение меток: он определяет какая из них используется для потока данных.

Доступ к сети осуществляется через пограничный маршрутизатор (Label Edge Router, LER). На нем происходят классификация FEC и создание меток. Затем маршрутизаторы с коммутацией на основе меток (Label Switch Router, LSR) обрабатывают информацию, содержащуюся в заголовке MPLS, при этом заголовки IP и TCP они копируют. Инжиниринг трафика оказывает свое контролирующее воздействие в сетях MPLS только внутри сети и служит для оптимизации использования ресурсов. Мало загруженные направления — пути коммутации меток (Label Switch Path, LSP) — заменяют маршруты, которые автоматически вычисляют традиционные протоколы маршрутизации, например IGP. MPLS влияет только на отдельное физическое соединение, а GMPLS (универсальная MPLS) распространяет этот принцип на логические соединения. К тому же GMPLS объединяет множество физических соединений в один логический путь и сообщает его протоколу маршрутизации. Прежнее понятие LSP расширяется до функций L-LSP (лямбда), WB-LSP (диапазон волн) и F-LSP (оптическое волокно).

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ NGN

Мультисервисные сети следующего поколения (Next Generation Network, NGN) предоставляют значительные преимущества не только операторам сети, но и пользователям, так как для всех коммуникационных услуг необходима единственная транспортная платформа. NGN предлагают и новые услуги, в том числе VPN и VoIP (передача голоса по протоколу IP). За счет возможностей VPN операторы могут поддерживать не только закрытые сети компаний на базе своей глобальной инфраструктуры, но также управляемый сервис «из конца в конец» с высоким уровнем безопасности и готовности. В ближайшее время ожидается разработка новых предложений. В зависимости от архитектуры сети клиент при необходимости может самостоятельно генерировать дополнительные услуги.