



# На острие современных сетевых технологий

## Часть 1. Корпоративная мультисервисная пакетная сеть ЗАО «Утел»

Об особенностях построения корпоративной мультисервисной пакетной сети для ЗАО «Утел» с использованием технологий MPLS компании Cisco рассказывают специалисты PrioCom Corp., силами которых был реализован этот проект.

Андрей БУРГОМИСТРЕНКО, Евгений ЗИМИН

**П**ерезазируя классиков, можно сказать, что настоящей публикацией компания PrioCom начинает серию статей, посвященных проектам, выполненным и выполняемым специалистами компании в области компьютерных сетей и телекоммуникаций.

И если продолжить аналогию с бессмертным произведением, то следует вспомнить, что «стулья» изготавливал мастер своего дела и они были отличного качества, притом с некоей «изюминкой». Следовательно, мы попытаемся рассказать не просто о проектах, пусть даже и весомых (с финансовой точки зрения), но, прежде всего, интересных и новаторских (с точки зрения примененных технологий, используемого оборудования и программного обеспечения).

### Корпоративная пакетная сеть ЗАО «Утел»

Итак, первый проект, о котором мы расскажем, носит название «Организация пакетной корпоративной сети ЗАО «Утел»». Проект выполнялся на протяжении 2000–2002 годов, а к настоящему времени про-

граммно-аппаратный комплекс уже сдан в промышленную эксплуатацию и успешно функционирует.

«Изюминкой» проекта является применение одной из самых передовых сегодня технологий в области телекоммуникаций — *технологии MPLS*. Кроме этого, следует отметить общенациональный масштаб проекта и рекордные сроки его реализации: от разработки технического проекта до подписания актов сдачи в эксплуатацию прошло около полутора лет.

Сразу же хочется отметить энтузиазм и высокий профессионализм наших партнеров, без которых достижение цели было бы нереальным, — специалистов компании Cisco Systems, прежде всего, Александра Яхничу и Виктора Солодкова, а также сотрудников ЗАО «Утел» Владимира Пашука, Ивана Шевчука, Василия Игнатъева, Александра Овдиенко, Александра Тарана, Владимира Лемешова, Сергея Романенко.

### Обоснование выбора производителя

При выполнении описываемого проекта большое значение имел вы-

бор компании-производителя оборудования и программного обеспечения для построения сети. Это всегда важно, а в этом проекте особенно, поскольку закладывались основы функционирования сети ЗАО «Утел» на многие годы.

На практике выбор пути, которым следует идти при модернизации магистрали, во многом зависит от трех составляющих:

- существующей схемы сети;
- темпов роста различных типов трафика;
- производителя оборудования.

Оглядываясь на ведущих зарубежных операторов, вспомним компанию Sprint, чей опыт использования фирменной технологии Cisco Systems позволил построить национальную опорную IP-сеть на базе технологии MPLS.

Сегодня свои решения по построению именно MPLS-сетей предлагают такие производители как AcceLight Networks, Alcatel, Avici Systems, Cisco Systems, Cienna (WaveSmith), CoSine Communications, Ericsson, Juniper Networks, Lucent (Ascend), Marconi, Nortel Networks, Riverstone Networks, Universe Networks. Практически все

производители предлагают классическое решение — MPLS поверх ATM. И только Cisco Systems, помимо классического, предлагает решение, позволяющее интегрировать лучшее в IP- и ATM-технологиях при помощи MPLS. Такое решение получило название *IP+ATM*.

Выбор базового производителя оборудования для указанного проекта, как и следовало ожидать, пал на компанию Cisco Systems — мирового лидера в области производства оборудования и программного обеспечения для построения сетей на базе протокола IP.

Технология MPLS сравнительно недавно начала использоваться при создании WAN-сетей (достаточно упомянуть, что рабочая группа IETF по MPLS была создана только в апреле 1997 г.), но считается очень перспективной в мире IP-сетей. Предполагается, что те операторы или провайдеры, которые сумеют развернуть IP-сети на базе MPLS и воспользоваться всеми преимуществами этой технологии, станут лидерами следующей волны развития WAN-сетей.

### Основные сервисы сети «Утел»

Мультисервисная сеть ЗАО «Утел» предназначена для решения следующих основных задач, а именно:

- предоставление интегрированных Интернет-услуг высокого качества;
- предоставление услуг виртуальных частных сетей (VPN);
- предоставление гарантированных услуг клиентам (Service Level Agreement);
- инжиниринг трафика (Traffic Engineering) — технологии управления потоками данных.

Это решение обеспечивает *сквозную передачу голоса по сети пакетной коммутации*, а также позволяет предоставлять *комплексные интегрированные услуги передачи данных, голоса и видео*. Особенностью решения является то, что оператор, используя единую платформу, получает возможность предоставления полного спектра услуг.

Чтобы понять особенности данного проекта, оставим пока в сторо-

не технические детали его реализации и рассмотрим ближе технологию MPLS, лежащую в его основе.

### Краткое введение в MPLS

Технология *многопротокольной коммутации меток*, или Multiprotocol Label Switching (MPLS), представляет собой высокопроизводительный метод передачи пакетов (фреймов) в сети. Идея, лежащая в основе технологии, чрезвычайно проста и элегантна, а именно: предоставить возможность IP-маршрутизаторам на периферии сети присваивать пакетам метки (labels),

при этом метка базируется на передаче по сети информации о достижимости подсетей данной сети. Во время прохождения пакета в сети каждый маршрутизатор извлекает всю информацию из заголовка пакета, относящуюся к процессу принятия решения по передаче этого пакета. Эта информация затем используется в качестве индекса при поиске в таблице маршрутизации для определения следующего пункта сети, куда и передается пакет. И это повторяется в каждом пункте сети и в каждом маршрутизаторе этого пункта для определения оп-

Проект корпоративной мультисервисной пакетной сети ЗАО «Утел» — первый в Украине проект построения MPLS-сети на базе оборудования Cisco, введенный в промышленную эксплуатацию.

а ATM-коммутаторам или существующим маршрутизаторам в ядре (или магистрали сети), в свою очередь, коммутировать «помеченные» пакеты в соответствии с этими метками. Такой подход позволяет магистральным коммутаторам или маршрутизаторам добиться *минимизации процессорной нагрузки* при выполнении операций поиска наилучшего маршрута на пути к пункту назначения пакета.

Вспомним, как осуществляется обычная IP-маршрутизация третьего уровня. В отличие от коммута-

тимального участка пути прохождения пакета от исходного до пункта назначения! При этом информация, на основании которой принимается решение, достаточно ограничена — это, как правило, просто IP-адрес конечного узла сети. В связи с этим весь трафик с одинаковым адресом пункта назначения обычно обрабатывается одинаково, и потому чрезвычайно сложно выполнять, например, так называемый *инжиниринг трафика* и ряд других востребованных современными сетями функций.

Как мы помним, в центре технологии MPLS стоит понятие метки,

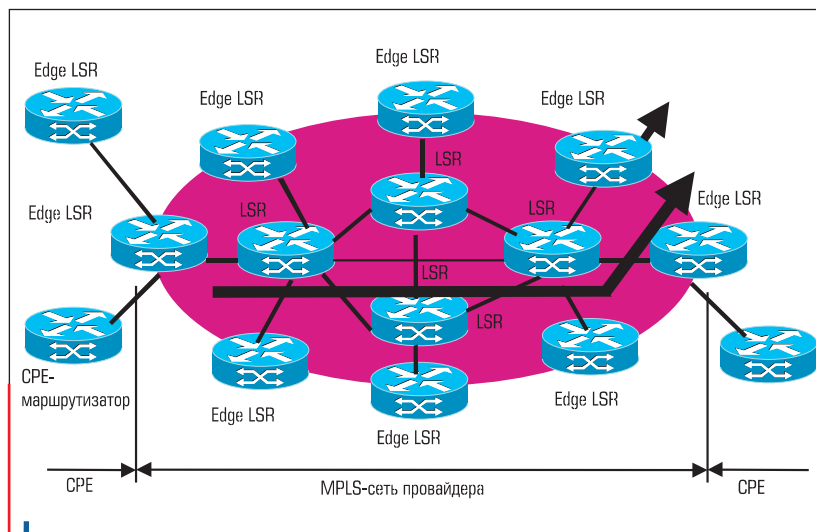


Рис. 1. Типичная сетевая структура MPLS

**Таблица.** Коммутаторы нового поколения для ядра и границы магистрالی

Граница	Ядро	Граница или ядро
AFC Telliant 5000	Alcatel 7670 MSP	Cisco MGX 8850
Alcatel 7470	Cisco MGX 8950	Gotham GN 1600
Aplion Orchestra	Equipe 3200	Lucent GX 550
Cisco MGX 8830	Lucent TMX 880	Marconi ASX-4000M
Gotham GN 400	Marconi BXR-48000	Marconi TNX-1100
Lucent CBX 500	Nortel Passport 20000	Vivace Viva 5100
WaveSmith DN 4100		
WaveSmith DN 2100		

назначаемой пакету, проходящему в сети, и коммутаторы выполняют исключительно простую операцию — поиск соответствия этой метки адресу Layer 2 (например, паре VPI/VCI) для определения следующего пункта передачи пакета. В момент присвоения метки можно учесть и

- QoS из протокола Resource Reservation Protocol (RSVP);
- маршрут для пакета, который выбран методом инжиниринга трафика.

Поскольку решения о передаче пакета, базирующиеся на некоторых или всех вышеприведенных данных,

выполняется один раз при присвоении метки пакету на так называемом *периферийном коммутирующем метки маршрутизаторе (Edge Label Switch Router, LSR)*. Далее в ядре сети коммутаторы или маршрутизаторы *принимают решения по передаче пакетов исключительно на основе анализа присвоенных меток*, и только на периферийном устройстве сети непосредственно перед пунктом назначения пакета происходит обратная операция по удалению метки из пакета. При этом пункт назначения сети даже «не догадывается» о манипуляциях с пакетом в сети!

Типичная структура сети провайдера (оператора или ISP), работающей по технологии MPLS, представлена на **рис. 1**.

Базовыми элементами сети, коммутирующей метки, являются:

- Edge Label Switch Routers — периферийные коммутирующие метки маршрутизаторы, располагающиеся на границе сети и реализующие различного рода сетевые сервисы, а самое главное, присваивающие или исключают метки в пакетах;
- Label Switch Routers — коммутирующие метки маршрутизаторы, располагающиеся в ядре сети и коммутирующие помеченные пакеты или ячейки на базе меток; эти устройства могут также поддерживать полную маршрутизацию Layer 3 или коммутацию Layer 2 в дополнение к коммутации по меткам;
- Label Distribution Protocol — протокол распределения меток, использующийся в сочетании со стандартными протоколами маршрутизации для распространения информации о метках между устройствами в сети, коммутирующей метки.

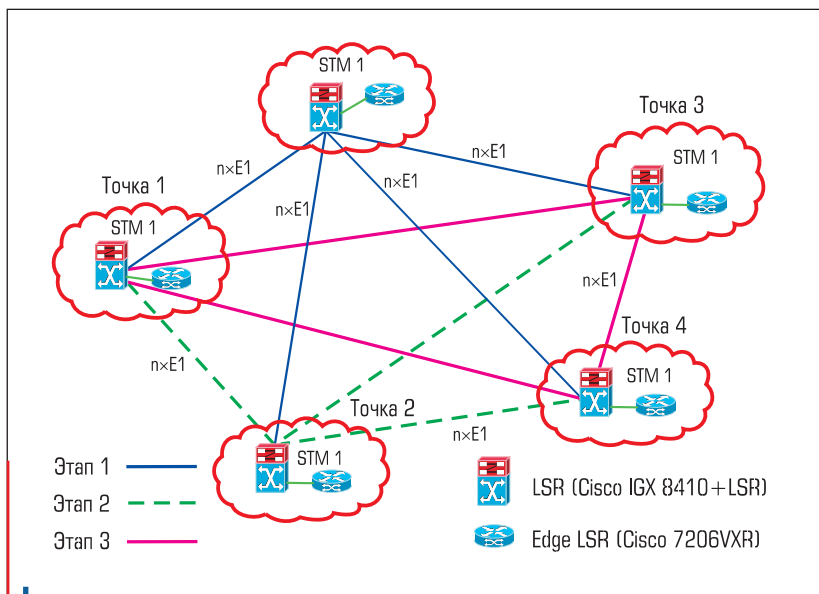
Также следует обратить внимание на принадлежность устройств, представленных на **рис. 1**. Так, устройства, принадлежащие пользователям сети (Customer Premises Equipment, CPE), обычно ничего не «знают» о MPLS и выполняют стандартные функции передачи IP-пакетов. Если все же CPE используют технологию MPLS, то это происходит независимо от провайде-

В ядре MPLS-сети коммутаторы или маршрутизаторы принимают решения по передаче пакетов исключительно на основе анализа присвоенных им меток; и только на периферийных сетевых устройствах непосредственно перед пунктом назначения пакета происходит обратная операция по удалению метки из пакета.

аккумулировать, например, следующую информацию о пакете:

- пункт назначения пакета (destination);
- приоритет пакета (precedence);
- принадлежность пакета виртуальной сети (VPN membership);

могут быть достигнуты одним просмотром таблицы по метке фиксированной длины, то решения, базирующиеся на более чем просто адресе назначения, становятся осуществимыми. При этом полный анализ заголовка пакета третьего уровня



**Рис. 2.** Общая схема корпоративной сети «Утел» после реализации первой стадии проекта

ра! Важным также является факт принадлежности периферийных LSR-устройств провайдеру, поскольку эти устройства являются критическими в предоставлении услуг MPLS. Конечно, провайдер может иметь свои обычные маршрутизаторы на территории пользователя, но опять же это происходит вне сети MPLS.

### MPLS открывает новые возможности

Несмотря на простоту идеи, технология MPLS обусловила появление принципиально новых и чрезвычайно мощных возможностей в уже существующих разделах сетевых технологий, в первую очередь таких, как *предоставление качества сетевых услуг и построение частных виртуальных сетей*.

MPLS позволяет совместить преимущества по *производительности и управлению трафиком* коммутирующих устройств Data Link Layer 2 с преимуществами масштабируемости и гибкости маршрутизирующих устройств Network Layer 3 в одном устройстве. По-видимому, это основное революционное достижение технологии. Вообще говоря, такой подход применим к сетям, использующим любую технологию Layer 2, но наибольшие «дивиденды» можно извлечь, применяя технологию MPLS к ATM-сетям, совмещая маршрутизацию IP-пакетов с коммутацией ATM-ячеек.

Привлекательность технологии MPLS в отношении производительности настолько велика, что ведущие производители вынуждены были принципиально модернизировать коммутаторы ATM, чтобы отодвинуть на некоторое время переход операторов, использующих технологию ATM в магистралах, на технологию MPLS. В результате на рынке появилось новое поколение коммутаторов ATM с очень высокой общей производительностью: от 1,2 до 480 Гбит/с. В своем обзоре компания Optical Oracle включила в число мультисервисных коммутаторов нового поколения целый ряд устройств (таблица).

Большинство этих коммутаторов поддерживает скорость 2,5 Гбит/с,

## MPLS VPN доказывают надежность

Консорциум MPLS Forum, который в скором будущем может изменить свое название и структуру, объявил о завершении серии успешных испытаний оборудования 13 производителей, проведенных совместно с европейским центром сетевого тестирования EANTC и комитетом ETSI. В рамках исследований была проверена совместная работа MPLS-устройств при организации виртуальных частных сетей (VPN), обладающих достаточной степенью масштабируемости и надежности. В последнем случае были испытаны средства быстрого перенаправления трафика (MPLS Fast Reroute), с помощью которых операторы могут гарантировать ка-

чество своих услуг, предоставляемых на базе MPLS-сетей. Таким сервисом, в частности, является эмуляция выделенных каналов (TDM over IP over MPLS), требующая стандартного для операторских сетей SONET/SDH времени восстановления работоспособности (менее 50 мс).

Представители форума заявили о положительных результатах тестирования. «Испытания MPLS VPN проводились в реально действующих сетях, в которых были установлены граничные устройства различных производителей, — отметила один из руководителей проекта Ананда Сен Гупта. — Можно говорить, что технология RSVP-TE Fast

Reroute, в которую включены оба механизма обеспечения надежности, обещаемые в настоящее время в IETF, сделала еще один шаг навстречу своему признанию в MPLS-сетях. В целом прошедшее событие еще раз подтвердило, что многопротокольная коммутация по меткам является сегодня верным выбором для любого оператора, она поддерживает как новые высокодоходные услуги, так и традиционные сервисы».

В испытаниях MPLS Forum задействовались оборудование таких производителей, как Alcatel, Avici Systems, Cisco Systems, Nortel Networks, RAD Data Communications, Riverstone Networks и других.

которую в пакетных сетях обеспечивают маршрутизаторы уровня Cisco GSR или Juniper M160.

Появление таких высокоскоростных интерфейсов у коммутаторов ATM дает возможность операторам нарастить пропускную способность ядра своей сети ATM за счет введения узлов нового уровня иерархии. Однако такие шаги не исключают необходимости перехода на MPLS-технологию, а лишь отодвигают ее на неопределенное время.

Понимая неизбежность перехода на MPLS, производители пытаются защитить инвестиции в оборудова-

Собственно, это даже не схема, а *стратегия постепенной миграции магистралах ATM к магистралах IP/MPLS*. По мере установки в сеть ATM все большего количества коммутаторов нового поколения с поддержкой MPLS, оператор сможет увеличить и количество путей LSP между граничными устройствами, не отказываясь в то же время от уже работающих виртуальных ATM-соединений. При этом производители таких коммутаторов (например, Equipe Communications, WaveSmith) рекомендуют операторам начать с перевода на MPLS не

Особенностью коммутаторов нового поколения является одновременная поддержка протоколов IP/MPLS и ATM.

ние операторов связи. Поэтому *еще одной особенностью коммутаторов нового поколения* является их повсеместная *поддержка IP/MPLS помимо ATM*. Одновременная поддержка в магистральных коммутаторах ATM и IP/MPLS дает возможность операторам реализовать еще одну схему их взаимодействия — смешанную.

требовательного к качеству обслуживания трафика, для которого оператор не обязан гарантировать клиентам каких-либо количественных характеристик QoS. И только «попрактиковавшись» с трафиком подобного класса и накопив опыт работы с MPLS, операторы могут обратиться к переводу на пути LSP других

## Из досье СЕТИ & БИЗНЕС

PrioCom Corp. ([www.priocom.com](http://www.priocom.com)) — оператор международной сети пакетной коммутации на базе Интернет-протокола (IP), предоставляющий широкий спектр телекоммуникационных услуг.

Высокие требования, предъявляемые клиентами компании к качеству оказываемых услуг, обусловили стратегическое

партнерство PrioCom Corp. с лидерами мировой телекоммуникационной индустрии: Cisco Systems, Sun Microsystems, RAD Data Communications, Oracle, Hewlett Packard и R&M.

Компания PrioCom успешно выполнила более 60 проектов, заказчиками которых выступили АНТК «Антонов», ОАО «Укртелеком», ЗАО «Утел», ООО «Гол-

ден Телеком», ОАО «Государственный экспортно-импортный банк Украины», АППБ «Аваль», ЗАО «Микрофинансовый банк», АКБ «Мрия», АКБ «Райффайзенбанк Украина», АКБ «Укрсоцбанк», Coca-Cola Beverages Ukraine Ltd., ДК «Укргаздобыча», а также другие ведущие компании Украины, посольства и представительства.

классов трафика (в том числе и чувствительных к задержкам), передающихся сегодня с помощью служб CBR и VBR-RT ATM.

чение IP-маршрутизации и LDP располагается непосредственно на ATM-коммутаторах. Следовательно, MPLS позволяет опти-

Сегодня MPLS используют, по крайней мере, четыре ведущих мировых оператора — Sprint, AT&T, Equant, Cable&Wireless.

Как результат, сегодня MPLS используют, по крайней мере, четыре ведущих мировых оператора: Sprint, AT&T, Equant, Cable&Wireless.

И, наконец, главными приложениями технологии MPLS являются:

- **интеграция IP+ATM** — технология MPLS полностью интегрирует IP-сервисы прямо в ATM-коммутаторы. Программное обеспе-

чительно поддерживать IP-Multicast, IP-CoS, RSVP, VPN и т.п. Эта оптимальная интеграция означает, что MPLS в случае IP+ATM является куда более масштабируемой и менее сложной, чем оверлейные схемы типа MPOA, CSI или IP Navigator;

- **сервисы IP виртуальных частных сетей** — инфраструктура управ-

ляемых intranet- и extranet-услуг, предлагаемых провайдерами многим корпоративным клиентам. Обычно это очень большие IP-сети. Технология MPLS в сочетании с протоколом Border Gateway Protocol (BGP) позволяет одному оператору поддерживать тысячи виртуальных частных сетей, предлагая очень гибкое, масштабируемое и управляемое решение. Причем даже для небольших провайдерских сетей гибкость и управляемость услуг MPLS+BGP VPN представляет собой главное преимущество;

- **прозрачная IP-маршрутизация и инжиниринг трафика.** Одной из важнейших проблем в современных IP-сетях является отсутствие возможности окончательно приспособить потоки IP-трафика для оптимального использования пропускной способности сети. Также нет возможности посылать отдельные потоки по определенным путям, например, выбрать защищенные маршруты для некоторых классов трафика, — это своего рода плата за «простоту» пакетных сетей в отличие от сетей коммутации каналов. Технология MPLS использует пути коммутации меток (Label Switched Paths, LSP) — своего рода «облегченные» VC.

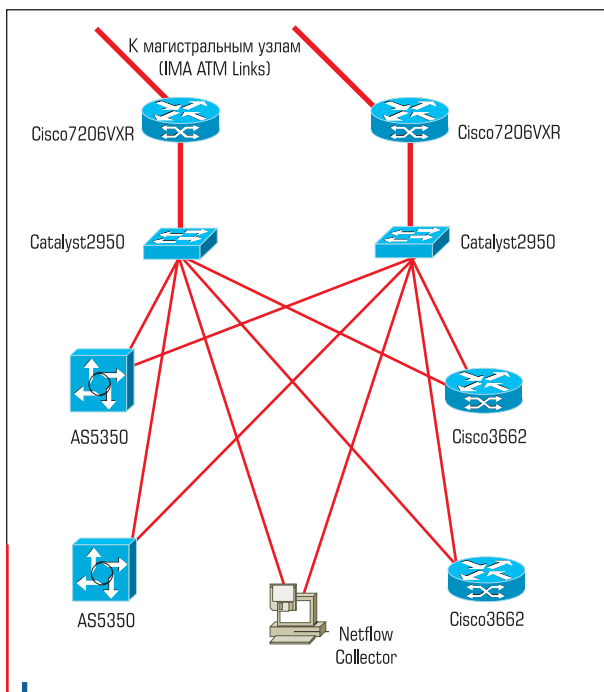


Рис. 3. Региональный удаленный узел MPLS

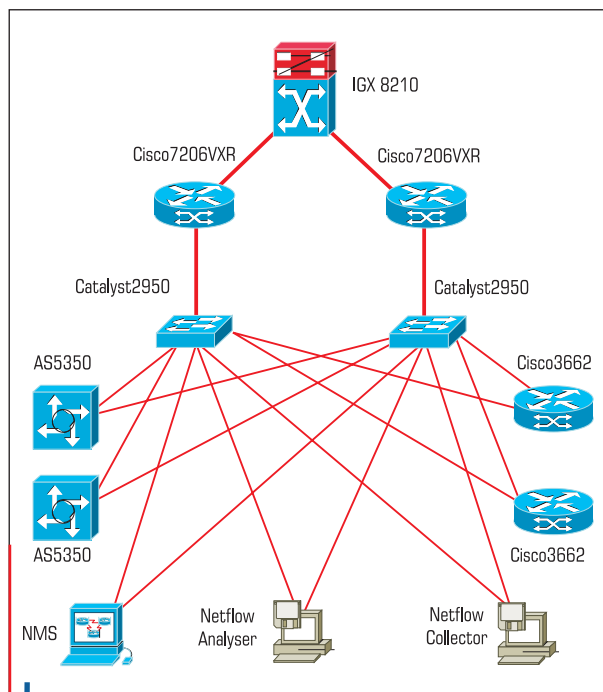


Рис. 4. Магистральный узел MPLS

В заключение необходимо отметить, что выполненный проект соответствует классическому подходу к построению MPLS-сетей и также в полной мере использует все три, описанные выше приложения MPLS. Это, в свою очередь, служит двум основным целям проекта, а именно: *оптимальному использованию национальной глобальной сети компании «Утел» и предоставлению индивидуальным и корпоративным клиентам широчайшего спектра услуг* как традиционных, так и новых.

### Реализация проекта в ЗАО «Утел»

Проект построения пакетной сети ЗАО «Утел» предусматривал несколько стадий.

На первой стадии были выбраны пять наиболее развитых в настоящее время, с точки зрения оказания услуг, городов — областных центров, в которых были установлены узлы ядра сети.

На первом этапе были созданы (рис. 2) пакетное ядро сети, система управления сетью, подключены существующие узлы доступа к Интернету для оказания услуг.

На втором этапе были созданы дополнительные маршруты между областными центрами, построен участок сети с конфигурацией «двойная звезда», а также организованы дополнительные точки присутствия и подключены к ядру сети (рис. 3).

В точках присутствия для абонентов имеются два типа подключения: коммутируемое и некоммутируемое.

При подключении по коммутируемым каналам предусмотрена возможность ISDN и аналогового соединения между точкой присутствия и оборудованием абонента через ТфОП. Подключение по некоммутируемым каналам связи выполняется с использованием интерфейсов Ethernet (10/100BaseT, 100BaseTX), G.703/G.704, V.35, X.21.

Каждая точка присутствия является универсальной и позволяет передавать как данные, так и конвертированную информацию (данные, голос и видео).

## Список литературы

1. MPLS and IP Quality of Service in Service Provider ATM Networks (Публикация Cisco Systems).
2. Виктор Олифер, Наталья Олифер, Дмитрий Петрусов, «ATM и MPLS — враги или союзники?» // «LAN», 2002, № 12.
3. Web-страница «IP+ATM Solutions» на сайте <http://www.cisco.com/go/ipatm> содержит ссылки на пресс-релизы, брошюры, статьи и другую информацию.
4. Спецификация OSPF version 2 на сайте <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.
5. Спецификация «IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments» на сайте <http://www.ietf.org/rfc/rfc1195.txt>.
6. Документы IETF по MPLS на сайте <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>.

#### Наиболее важные документы:

7. «MPLS Architecture», draft-ietf-mpls-arch-05.txt.
8. «MPLS Label Stack Encodings», draft-ietf-mpls-label-encaps-04.txt.
9. «MPLS using LDP and ATM VC Switching», draft-ietf-mpls-atm-02.txt.
10. «LDP Specification», draft-ietf-mpls-ldp-05.txt.
11. «MPLS Support of Differentiated Services by ATM LSRs and Frame Relay LSRs», draft-ietf-mpls-diff-ext-01.txt.
12. Другие документы IETF по Differentiated Services на сайте <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>.

#### IETF-документы по протоколу Border Gateway Protocol:

13. «A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)», <http://www.ietf.org/rfc/rfc1771.txt>.
14. «Multiprotocol Extensions for BGP-4», <http://www.ietf.org/rfc/rfc2283.txt>.
15. «BGP/MPLS VPNs», RFC 2457, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2547.txt>.

#### Книги по маршрутизации, MPLS и смежным темам:

16. Halabi, B., «Internet Routing Architectures», Cisco Press, 1997.
17. Metz, C., «IP Switching Protocols and Architectures», McGraw-Hill, 1999.
18. Rekhter, et al., «Switching in IP Networks», Morgan Kaufmann, 1998.

#### Полезные журнальные публикации:

19. Feldman, et al., «Evolution of Multiprotocol Label Switching», IEEE Communications Magazine, Vol. 36, No. 5, May 1998.
20. Metz, C., «Ingredients for Better Routing: Read the Label», IEEE Internet Computing, Sept/Oct. 1998.

#### Архивы по MPLS и смежным темам:

21. <http://infonet.aist-nara.ac.jp/member/nori-d/mlr/>.

На третьей стадии проекта была создана полносвязная схема соединения между всеми узлами ядра сети, организовано взаимодействие сети ОКС-7 с IP-сетью. На этой стадии был также установлен узел обработки сигнальных сообщений. Узел обеспечивает возможность подключения серверов доступа Cisco AS5350/5300, расположенных в точках присутствия «Утел», к телефонным коммутаторам телефонной сети общего пользования, используя ОКС-7.

По окончании третьей стадии проекта построения пакетной сети «Утел» в точках присутствия и магистральных узлах (рис. 4) были организованы

- порты коммутируемого ISDN и аналогового доступа;
- порты с доступом по технологии

Ethernet (10/100BaseT, 100BaseTX);

- порты с доступом по протоколу G.703/G.704;
- порты с доступом через интерфейсы V.35 и X.21.

Проект корпоративной мультисервисной пакетной сети связи ЗАО «Утел» на сегодня — одно из самых продвинутых решений, представленных на украинском рынке.

О других особенностях проекта, о сравнительном анализе технологий ATM и MPLS, а также о концепции IP+ATM компании Cisco вы узнаете из нашей следующей публикации.

**Андрей БУРГОМИСТРЕНКО,**  
[andrey\\_burgomistrenko@priocom.com](mailto:andrey_burgomistrenko@priocom.com);

**Евгений ЗИМИН,**  
[eugene\\_zimin@priocom.com](mailto:eugene_zimin@priocom.com)