

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-13

P11-99-13

В.М.Котов, Н.М.Никитюк

АТМ-ТЕХНОЛОГИЯ

1999

Рассматриваются характеристики и особенности одной из наиболее перспективных технологий построения сетей связи — АТМ. Приводится описание АТМ-способа передачи и коммутации данных. Описываются уровни АТМ-модели и обсуждаются вопросы надежности и качества обслуживания. Приводятся блок-схема типичной АТМ-сети и параметры АТМ-коммутаторов.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод авторов

Kotov V.M., Nikityuk N.M.
ATM Technology

P11-99-13

The characteristics and peculiarity of the most perspective ATM-net are considered. The description of ATM-method of the translation and switching of the data is given. The layers of the ATM-model and the questions of the safety and the quality services of the parameters are discussed. The block-diagram of typical ATM-net and parameters of ATM switches are given.

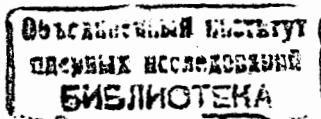
The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Главным (основным) направлением в развитии современных сетей всех уровней является повышение их пропускной способности, масштабируемость и гарантированное качество обслуживания, что особенно важно для внедрения систем мультимедиа. В то время как вычислительная мощность современных микропроцессоров достигает сотни миллионов операций в секунду, скорость передачи информации по сетям становится «узким местом» при создании распределенных вычислительных систем. В настоящее время разработана и внедряется сетевая аппаратура на базе АТМ-технологии, обеспечивающая пропускную способность от сотен Мбит до нескольких Гбит в секунду, для внедрения которой необходимо обеспечить плавный переход от существующих многочисленных сетей стандарта IEEE802.XX. Одним из таких эффективных путей здесь является переход на коммутируемые технологии для существующих стандартов передачи данных с последующим переходом на создание локальных и глобальных сетей на базе единого стандарта с использованием АТМ-технологии. Со стороны пользователя ресурсы такой сети будут так же доступны, как память на твердых дисках обычного пользователя ПК. Как следствие этого, телекоммуникации ближайшего будущего будут обеспечивать качественное телевидение высокой четкости, обработку и распознавание речи, высококачественные телеконференции, создание быстрореагирующих триггерных систем в экспериментах по физике высоких энергий и т.д.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АТМ-ТЕХНОЛОГИИ [1]

Одним из основных недостатков синхронного способа коммутации является то, что такая техника может использоваться для передачи данных, следующих с одинаковой скоростью, в то время как в реальности это приводит к существенным потерям пропускной способности каналов. Типичным примером может быть передача данных в телефонии, телевидении и др., скорость передачи которых может меняться от 64 кбит/с до 140 Мбит/с и более. Некоторые пакеты могут вообще не содержать никакой информации, а на коммутаторной станции все равно для них выделяется временное окно. Кроме того, техника передачи информа-



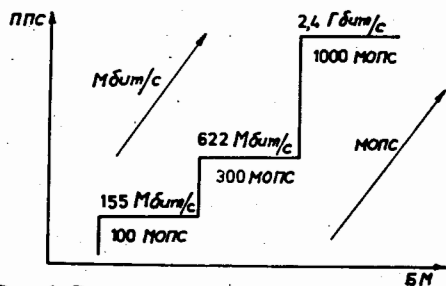


Рис. 1. Рост пропускной способности сетей и производительности микропроцессоров. ППС — полоса пропускания сетей, БМ — быстродействие микропроцессоров, МОПС — миллион операций в секунду

ции достигла такого уровня, что используемые ранее способы передачи информации не удовлетворяют все возрастающим требованиям. По оптоволоконному кабелю с использованием стандартных средств электроники можно поддерживать до 32000 телефонных вызовов и до тысячи цифровых телевизионных каналов. Пропускная способность оптоволоконной линии позволяет передавать до 10^{12} бит/с, применяя мультиплексную моду передачи данных с использованием нескольких частот. Техника передачи

данных с использованием витой пары проводов имеет максимальную скорость передачи 10^8 бит/с в обычных локальных сетях. На рис. 1 приведен график, иллюстрирующий рост пропускной способности современных сетей и производительности микропроцессоров в МОПС (миллион операций в секунду). Видно, что производительность современных микропроцессоров может быть адекватной скорости передачи данных по сетям в случае применения оптоволоконной [2].

Сегодня наиболее перспективной технологией построения сетей является асинхронный пакетный способ передачи, или ATM-способ (ATM — Asynchronous Transfer Mode). Две организации, CCITT (Comite' Consultatif International de Telegraphie et Telephonie) и ITU (International Telecommunications Union), в 1990 г. [3] разработали ATM-технология для телефонии. Затем ATM-FORUM в 1991 г. предложил использовать эту технологию в вычислительных сетях [4]. Последние новости ATM-FORUM, касающиеся данного направления, можно найти в сети Internet [5]. В этой технологии использованы все лучшие достижения трех современных базовых технологий: полупроводниковой технологии, волоконно-оптической технологии и программного обеспечения, позволяющие существенно повысить пропускную способность сетей путем эффективного использования всех ресурсов сети всеми источниками информации. Асинхронным он называется потому, что имеют место асинхронные операции между тактовыми импульсами источников данных и приемником данных. В отличие от других сетей, которые не могут расширяться не только по технологическим причинам, но и в силу архитектуры, ATM-сеть теоретически может расширяться до бесконечности.

ATM — это стандарт, разработанный для вычислительных и телекоммуникационных высокопроизводительных сетей, которые поддерживают мультимедиа, распределенные вычислительные сети, и где информация представляется только в цифровой форме. Использование ATM-стандарта предполагает малую задержку, коммутацию пакетов практически без блокировки и работу с различными по-

требителями. Она позволяет довольно просто наращивать полосу пропускания и передавать по одной сети различную по своей природе информацию, такую как данные, видео, звук, графику, тексты и т. д. С целью достижения гибкости и высокой пропускной способности используется способ передачи информации с помощью небольших пакетов фиксированной длины, при котором данные передаются в сочетании со служебной информацией. Применительно к ATM-технологии такие пакеты обычно называются ячейками (cells).

Сама по себе идея пакетного способа передачи данных использовалась еще в 60-х годах в сети типа X.25 [6]. Однако невысокая надежность используемых электронных компонентов сказывалась на надежности сети. В свою очередь это приводило к необходимости усложнения протокола с целью обнаружения ошибок во время передачи и необходимости контроля прохождения информации к приемнику данных. Кроме того, в некоторых сетях с пакетным способом передачи используется так называемый datagram-метод транспортировки пакетов, при котором каждый пакет посылается и принимается в соответствии с адресом конечной станции, содержащемся в пакете, независимо один от другого и без подтверждения доставки. Здесь мы имеем прямой аналог обычной почты. Другими словами, такой метод доставки пакетов называется «Доставка без подтверждения соединения» (connectionless service).

В широкоизвестной локальной вычислительной сети (ЛВС) Езернет в пакете переменной длины наряду с данными содержится также адрес источника и приемника информации. При этом не проверяется доступность устройства назначения, а просто посылается пакет с информацией на общую магистраль. Все это в конечном итоге сказывается на пропускной способности сети в целом. Кроме того, пакеты имеют переменную длину и содержат адреса источников и приемников данных. При этом все устройства сети проверяют соответствие своего адреса и адреса назначения. В ATM-сети используется принцип виртуального соединения, который заключается в том, что предварительно с помощью сигнального протокола конфигурируется по определенным правилам виртуальное соединение. Как только станция-источник определяет доступность станции-приемника, между ними устанавливается соединение. Современная технология позволяет установить такое соединение за весьма короткое время. Здесь уже мы имеем пример передачи цифровой информации, ориентированной на предварительное соединение (connection-oriented service). При такой связи гарантируется безопасность от несанкционированного подключения к данному каналу третьего абонента. В ряде работ [7—9] при пояснении принципа работы ATM-сети приводится аналогия работы обычной телефонной связи с передачей данных с помощью ATM-сети. Вначале собеседники (конечные станции) должны зарегистрироваться, т. е. получить свои телефонные номера. Далее, для того, чтобы начать разговор, один собеседник должен позвонить другому. После этого сеть будет знать ме-

сто расположения конечной станции и путь, по которому можно передавать информацию.

3. ПРОТОКОЛЫ АТМ-ТЕХНОЛОГИИ

Ниже кратко будет рассмотрена суть стандарта. Идея асинхронного способа передачи малыми пакетами фиксированной длины возникла в 1974 г. и использовалась в цифровой телефонной связи [10]. В настоящее время она применяется в сетях с высокой пропускной способностью типа ISDN и B-ISDN (B-ISDN — Broad Integrated Digital — Network — интегральная сеть с широкой пропускной способностью). Суть стандарта АТМ подробно изложена в [11,12], а также в серии статей [13—21]. Стандарт АТМ можно наглядно представить в виде модели [13], которая имеет некоторое сходство с OSI-моделью и содержит четыре платформы (рис.2): пользовательскую — для передачи информации пользователя, контрольную — для обработки контрольной информации, платформу сетевого взаимодействия — для выполнения всех сетевых функций и платформу управления — для управления тремя предыдущими платформами. Все платформы АТМ-модели разделены на четыре уровня: физический уровень, АТМ-уровень, уровень адаптации (AALn — ATM Adaption Layer, $n = 1-5$ — индекс) и пользовательский уровень. Мы начнем с описания АТМ-уровня, который является общим для всех потребителей и не зависит от физической среды передачи. Он отвечает за создание АТМ-ячеек, путем приема 48-байтных ячеек с уровня адаптации

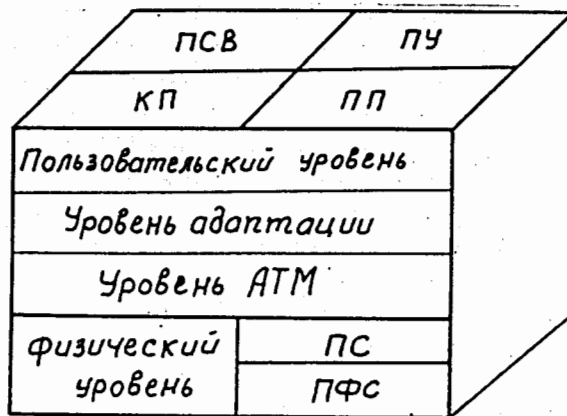


Рис. 2. АТМ-модель. ПП — пользовательская платформа, КП — контрольная платформа, ПСВ — платформа сетевого взаимодействия, ПУ — платформа управления, ПС — подуровень сходимости; ПФС — подуровень физической среды

и добавляет 5-байтный заголовок [11,12,14]. Причем на этом уровне данные не обрабатываются, а передаются на выходные порты коммутаторной станции.

На рис.3 приведен формат АТМ-ячейки. Принято, что информация (речь, изображения и др.) передается с помощью малых, фиксированной длины ячеек, содержащих 53 байта, среди которых 48 байта несут данные, которые надо передать через сеть, и 5 байтов используются в качестве заголовка. Таким образом, для того, чтобы уменьшить время прохождения через коммута-

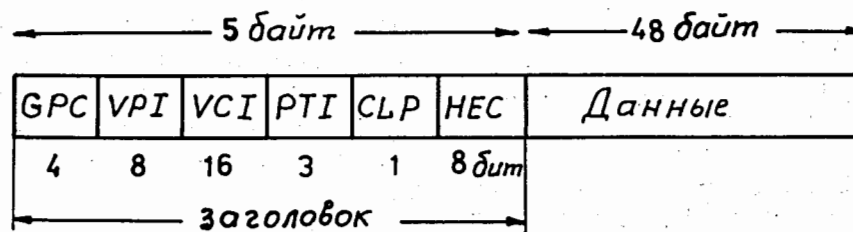


Рис. 3. Структура ячейки (данные и заголовок). GPC — резервные разряды; VPI — идентификатор виртуального пути; VCI — идентификатор виртуального канала; PTI — идентификатор информационной части ячейки; CLP — разряд для задания приоритета ячейки; HEC — синдром корректирующего кода

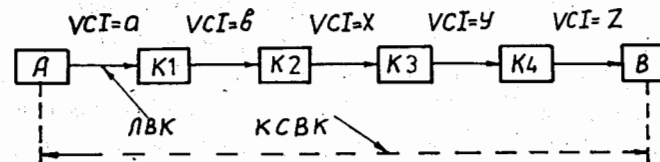


Рис. 4. Пример виртуального канала между конечными станциями А и В. К1— К4 — коммутаторы, ЛВК — линк (связь) виртуального канала, КСВК — конечный путь виртуального канала

торную станцию, информационное поле ячейки выбрано относительно малым. Такой размер ячейки гарантирует то, что она может быть скомутирована АТМ-коммутатором за очень короткий промежуток времени. Кроме того, маленькие ячейки позволяют мультиплексировать данные, голос и видео в одном канале передачи. В свою очередь 3 байта (24 бита), относящиеся к заголовку (VPI и VPC), представляют собой виртуальный адрес, с помощью которого на коммутаторной станции задается маршрут той или иной ячейки. Другими словами, маршрутизация осуществляется прежде всего с помощью заголовка ячейки. Такой процесс получил название автомаршрутизации (self-routing). Причем 16 бит виртуального заголовка (VCI) задают виртуальный канал (адрес от входной точки или линка к выходному линку коммутаторной станции). В свою очередь 8 бит заголовка (VPI) определяют виртуальный путь внутри коммутаторной станции. Такое разделение заголовка на две части, VCI и VPI, позволяет в случае необходимости группировать определенное количество виртуальных каналов, выполнять внутреннюю коммутацию отдельных каналов коммутаторной станции с целью получения общего виртуального пути в сети (рис. 4 и 5) (см. подробное описание АТМ-стандарта [11]).

В процессе прохождения пакета на коммутаторной станции ему присваивается новый виртуальный адрес и т. д. (полагаем, что в сети имеется несколько ком-

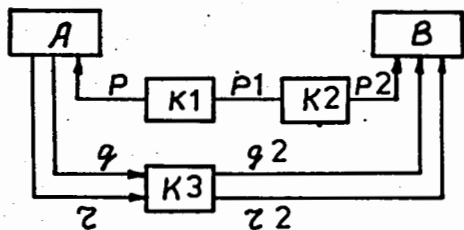


Рис. 5. Пример соединений виртуальных путей. $p, p1, p2, q, q1, q2, r, r2$ — виртуальные пути, А и В — конечные станции, К1—К3 — коммутаторы

которого она идентифицируется и передается через АТМ-сеть в нужном направлении [15]. Тем самым дается ответ на вопрос: каким образом при ограниченных значениях $VCI = 65536$ и $VPI = 256$ можно поддерживать в сети бесконечное число устройств? В [15,16] детально рассматривается вопрос о том, каким образом комбинация VCI / VPI используется для идентификации различных соединений.

Рассмотрим пример. На рис.6 приведена блок-схема АТМ-сети, состоящая из трех конечных станций КС1—КС3, которые одновременно являются источниками и приемниками данных, двух АТМ-коммутаторов К1—К2, работа которых описывается с помощью соответствующих им таблиц соединений Т1—Т2. Конечные станции подключены в сеть с помощью интерфейсов потребителя ИП, причем станция КС1 посылает в сеть и принимает две различные по своему назначению задачи А и В, для которых установлены соединения со станциями КС1 и КС2 через коммутаторы К1 и К2 соответственно. И наоборот, станции КС2 и КС3 могут посылать данные на станцию КС1. Из рисунка видно, что у каждой задачи имеется свое соединение. Так, задача А на станции КС1 передает и посылает данные от задачи А на станции КС3 с помощью тех же значений $VPI = 5$ и $VCI = 30$. С другой стороны, задача А станции КС3 передает и принимает данные от задачи А на станции КС1 через ту же самую пару $VPI = 28$ и $VCI = 53$. Причем величины VPI/VCI имеют только локальное значение и смысл — только для физически взаимосвязанных портов. Комбинация VPI/VCI создается интерфейсом пользователя и коммутатором. Критерием для их выбора служит следующий свободный путь и следующий свободный канал, что является следствием того, что коммутация данных в АТМ-коммутаторе носит статистический характер. Если учесть, что один виртуальный путь может содержать до 2^{16} виртуальных каналов и любая конечная станция — до 2^8 виртуальных путей, то получается, что любая КС может поддерживать одновременно (естественно, с учетом статистического

мутаторных станций, с помощью которых происходит передача ячеек от первоисточника к конечному потребителю). Важно отметить, что значения VCI и VPI в заголовке ячейки не являются ни адресом источника, ни адресом приемника информации. Они позволяют коммутатору задавать маршрут ячейки в сети и могут меняться на каждом коммутаторе АТМ-сети. Другими словами, комбинация VPI/VCI является своего рода паспортом АТМ-ячейки, с помощью

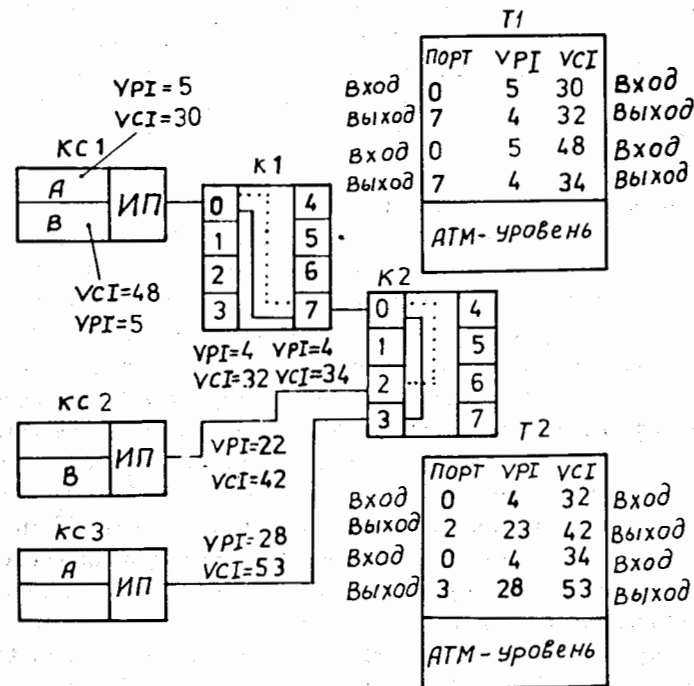


Рис. 6. Блок-схема, иллюстрирующая взаимодействие трех конечных станций КС1—КС3 в АТМ-сети. К1,К2 — коммутаторные станции, Т1,Т2 — таблицы виртуальных соединений, А,В — источники взаимодействия (задачи)

временного мультиплексирования) 16 777 216 соединений через один порт, поскольку каждый из них в сети имеет один и тот же набор значений VPI/VCI . Используемые в АТМ-технологии коммутаторы имеют свойство, при котором каждый порт работает параллельно и независимо один от другого.

Обращаясь к рис.3, мы видим, что одна бита заголовка CLK предназначена для задания приоритета сообщения и используется в процессе появления переполнения на коммутаторной станции. Другими словами, приоритетный бит определяет, какую из ячеек пропустить в случае возникновения затора. Для повышения достоверности передачи ячейки в заголовке выделено 8 бит для синдрома циклического корректирующего кода с целью коррекции и обнаружения ошибок (НСС). В то же время информационная часть пакета не защищена от ошибок, поскольку предполагается, что вероятность потери ячейки с учетом качества современной полупроводниковой технологии составляет $10^{-8} - 10^{-12}$. Хотя и с малой вероятностью в АТМ-сети возможны три вида ошибок: ошибки в отдельных разрядах, потеря ячейки вследствие ошибок в заголовке и потеря данных в процессе

ввода ячейки в буферную память на коммутаторной станции. Три бита (PTI) используются для идентификации информационной части ячейки. Назначение четырех бит (GPC) еще полностью не определено, и они могут использоваться факультативно. Таким образом, функции заголовка ячейки строго ограничены, что позволяет коммутаторной станции быстро мультиплексировать различные пути прохождения ячеек.

АТМ-ячейки поступают на входы коммутаторной станции в произвольные моменты времени (динамически) и коммутируются с помощью сигнального протокола, хранящегося в памяти коммутатора. При этом выходной ячейке присваивается новый виртуальный заголовок. В сложной сети ячейка может получать по очереди несколько виртуальных адресов. Свободные связи могут быть использованы для передачи других ячеек, что приводит к эффективному использованию ресурсов коммутаторной станции. Одним из преимуществ АТМ-способа передачи, которое делает его конкурентоспособным и перспективным, является его расширяемость и возможность создавать гибкие сети для передачи различной по своей природе информации с высокой пропускной способностью. Основными недостатками АТМ-способа коммутации по сравнению с другими методами являются возможность появления заторов в коммутаторной станции и более сложная схема коммутации. Заторы могут возникать в том случае, когда вследствие статистического характера поступления ячеек, скорость поступления пакетов превышает агрегатную пропускную способность коммутаторной станции. Обычно заторы исключаются путем использования буферных ЗУ на входах/выходах коммутаторных станций.

Таблица 1. Таблица соединений

Связи	Входы	VCI	Выходы	VCI
A	1	a	1	u
B	1	b	2	v
C	1	c	2	x
D	2	d	1	y
E	2	d	1	z

С помощью таблицы 1 и рис.7 иллюстрируется принцип коммутации ячеек с помощью АТМ-коммутатора [17]. Ячейки коммутируются между входными и выходными портами коммутаторной станции с помощью виртуального индикатора связи (VPI/VCI), который содержится в заголовке пакета. Коммутаторная станция содержит таблицу соединений, с помощью которой пакет коммутируется на выходной порт. Кроме того, выходной ячейке с помощью контроллера присваивается новое значение VPI/VCT, если это необходимо.

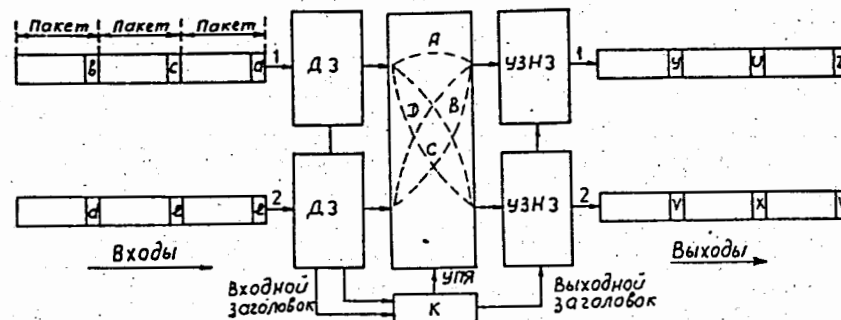


Рис. 7. Пример асинхронного способа коммутации ячеек. а, b, с, d, e — заголовки входных ячеек, ДЗ — дешифратор заголовка, К — контроллер, УЗНЗ — устройство занесения новых заголовков, u, v, x, y, z — заголовки выходных пакетов данных, А, D, B, C — виртуальные каналы, УПЯ — установка пути ячейки

В зависимости от способа, посредством которого устанавливаются таблицы соединений в АТМ-коммутаторе, возможны два основных типа соединений [16]. Постоянные виртуальные соединения, задаваемые вручную, и коммутируемые соединения, устанавливаемые автоматически посредством протокола сигнализации, который посылается в конечное устройство, требующее установить соединение. В каждом АТМ-коммутаторе должен содержаться процессор сигнализации и управления запросами, с помощью которого устанавливаются соединения вдоль всей цепочки от станции-источника до станции-приемника. В свою очередь станция-приемник может отклонить или принять запрос на соединение.

Для сигнального протокола установлены фиксируемые значения VPI = 0 и VCI = 5, с помощью которых резервируется трафик (канал) для протокола сигнализации. После установления соединения по этому же графику будут поступать все информационные ячейки. Все VCI со значением менее 32 зарезервированы для различных целей управления.

Как отмечается в [18], вопрос о том, к какому из семи уровней OSI-модели следует относить АТМ-уровень, остается открытым. По мнению одних специалистов АТМ-уровень занимает протокол второго (канального) уровня OSI-модели. Другие специалисты отмечают, что АТМ-уровень обладает в большинстве своем характеристиками третьего, сетевого уровня, такого как IP (Internet Protocol), о чем свидетельствует большая сложность процедур адресации и маршрутизации, которые не зависят от того, работают ли другие протоколы сетевого уровня через АТМ-сеть или нет. В данной работе обсуждаются также протоколы маршрутизации АТМ для сигнальных запросов через узлы коммутации сети. На рис.8 приведена схема прохождения информации с высших уровней через АТМ-модель после установки предварительного соединения [15]. К пользовательским данным

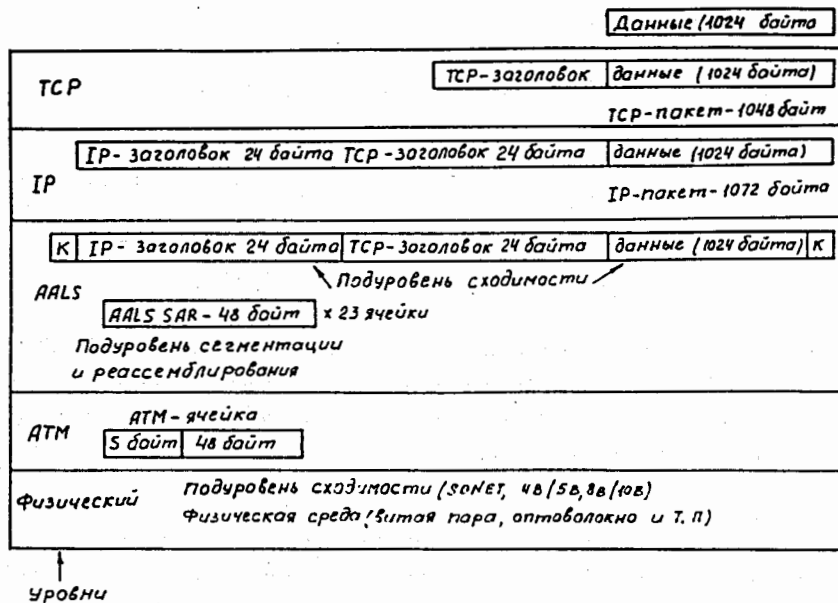


Рис. 8. Схема прохождения информации с высших уровней через ATM-модель. К — контрольные разряды, IP — Интернет-протокол, TCP — (Transition Control Protocol — протокол контроля перехода), SAR — процесс сегментации, ассемблирования и реассемблирования пакетов в ячейки и наоборот; 4B/5B и 8B/10B — процесс преобразования последовательных кодов: четыре бита в пять бит и восемь бит в десять бит

размером 1024 байта добавляются TCP/IP-заголовки, в результате чего получается IP-пакет длиной 1072 байта. Далее подуровень сходимости уровня адаптации и AALS подготавливает IP-пакет к сегментации. При этом добавляется контрольная информация. С помощью подуровня сегментации формируются ATM-ячейки. От уровня ATM ячейки поступают на физический уровень.

Физический уровень ATM-модели. Физический уровень отвечает за передачу ячеек через среду передачи. Вообще говоря, в документах не предусмотрен стандарт на физическую среду. Есть некоторые рекомендации, определяющие тип физической среды, по которой происходит передача ячеек. Она состоит из двух подуровней. Первый подуровень определяет скорость передачи. Скорость передачи может составлять 155 Мбит/с, 622 Мбит/с и 2,5 Гбит/с. В свою очередь второй подуровень стандарта ATM задает физическую среду, с помощью которой выполняется побитовая передача. Определены также временные параметры. Предпочтение отдается стандартному синхронному оптическому каналу

SONET/SDH [19], рекомендуемому для применения в качестве одного из интерфейсов, который может быть использован как в локальных, так и глобальных сетях.

Уровень адаптации. Уровень адаптации обеспечивает доступ информации пользователя к коммутаторам ATM и определяет, каким образом он настраивается на конкретные применения, связанные с временными параметрами: постоянная скорость передачи или переменная скорость передачи (например, видеоинформация), необходимость в реальном времени или нет и т. д. [11, 12, 14]. Всего на данном уровне имеется пять модификаций протокола AAL1—AAL5. Для передачи данных целыми блоками, состоящими из ATM-ячеек без заголовка, используется протокол AAL5. При этом ячейки емкостью 48 байт могут передаваться блоками емкостью до 64 кбайт. В свою очередь AAL-уровень разбит еще на два подуровня: один подуровень обеспечивает разборку и сборку больших пакетов в ячейки, а второй подуровень обеспечивает синхронизацию для различных типов информации. Суть уровня адаптации подробно описана в [11, 14].

Состав аппаратуры. На рис.9 приведена структурная схема типичной ЛВС-сети, в которой используется ATM-стандарт. Она состоит из восьми рабочих станций (персональных ЭВМ — конечных станций КС) и двух ATM-коммутаторов [20]. Каждая ATM-сеть может иметь большое количество коммутаторов и конечных устройств, образуя топологию типа «звезда» и однородную структуру. ATM-коммутаторы, как правило, коммутируют ячейки без блокировки, поэтому все конечные устройства (парами) могут одновременно взаимодействовать с помощью двух стандартных устройств: интерфейса пользователя (ИП), конструк-

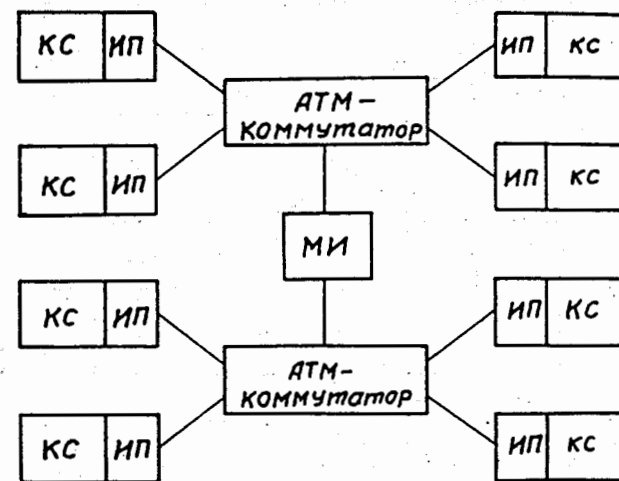


Рис. 9. Типичная архитектура ATM-сети. КС — конечные станции, ИП — интерфейс потребителя, МИ — межкоммутаторный интерфейс

тивно выполненного в виде стандартной платы, совместимой с рабочей (конечной) станцией, и межсетевое интерфейса (МИ), который, по существу, представляет собой интерфейс, соединяющий собой два коммутатора. Как видно из рис.9, интерфейсы пользователей — это те места, где заканчивается сеть. В процессе передачи данных участвуют только источник данных, коммутаторы, которые располагаются в узлах сети, и приемник данных. Формы ячеек для названных интерфейсов имеют некоторые отличия. Это касается первых четырех бит GPI, которые в ячейках МИ используются для расширения поля виртуального пути VPI. Кроме стандартного ИП в сети могут использоваться интерфейсы для подключения ЛВС типа Езернет, оптоволоконный интерфейс и др. или ИП с мультиплексорами для подключения нескольких ЛВС к магистральной АТМ-сети.

В [21—23] рассматриваются вопросы механизма взаимодействия и принципы адресации и сигнализации в сетях АТМ. Так, запрос на соединение от конечной станции-источника распространяется через сеть до тех пор, пока не установится связь, о чем станция-получатель посылает ответное сообщение, если она свободна. Описывается также протокол проверки состояния топологии сети — Р-NNI.

Качество обслуживания и вопросы надежности. В соответствии со стандартом коды, исправляющие ошибки в АТМ-технологии, используются в заголовке ячейки и протоколе ALL5 (общая проверка на весь блок ячеек). Надежность

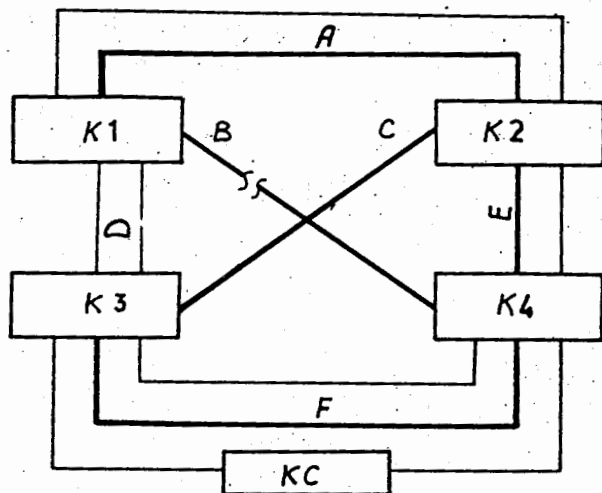


Рис. 10. Блок-схема АТМ-сети с коррекцией повреждений в линиях связи или в коммутаторах. К1 — К4 — коммутаторы, КС — конечная станция, А, В, С, D, Е, F — запасные соединения. Тонкими линиями показаны основные соединения

АТМ-сети обусловлена прежде всего высоким уровнем современной компьютерной технологии. Определенный вид ошибок может возникать из-за пиковых нагрузок на АТМ-коммутаторах, что является следствием того, что все потребители АТМ-сети могут пользоваться одновременно всеми ресурсами. При пиковых нагрузках могут возникать потери ячеек. Однако вероятность потери ячейки весьма мала и составляет от 8—10 до 10—12.

В АТМ-технологии, в отличие от оптоволоконного интерфейса, отсутствует дублирование физических связей. Как показано в [24—26], в АТМ-сети допускаются обрывы физических каналов без нарушения работоспособности сети. Это качество достигается за счет свойств АТМ-коммутаторов, и его необходимо учитывать в процессе проектирования АТМ-сети. Как следует из рис.10, в случае обрыва кабеля В нарушается связь между коммутаторами К1 и К4. Однако за счет связей между коммутаторами К1 и К2 или К3 и К4 (жирные линии) система будет работать корректно. Аналогично проблема решается в традиционных ЛВС, подключаемых к АТМ-сетям [26].

АТМ FORUM определил три негативных параметра, характеризующих качество обслуживания QoS (Quality of Service): задержка в передаче ячейки, вариация в задержке ячейки и отношение потерянных ячеек к переданным. Задержка в передаче ячейки определяется как время передачи между оконечными устройствами, ведущими диалог. Данный параметр зависит от скорости передачи и времени простоя в очередях на входах/выходах коммутатора. Вариация задержки ячейки является функцией задержки мультиплексирования при коммутации ячейки от входа АТМ-коммутатора на один выход и вариации задержки в очередях на его входах и выходах. Что касается третьего параметра, то он зависит от работы алгоритма, устраняющего заторы в коммутаторе. Более детально эти вопросы изложены в [27].

4. КОММУТАТОРНЫЕ СТАНЦИИ И КОММУТАТОРЫ

Коммутаторные станции (Switch fabric). Коммутаторные станции представляют собой аппаратные сети, предназначенные для параллельной передачи данных от N входов на M выходов. Коммутаторные станции применительно к АТМ-способу передачи представляют собой довольно сложные устройства, основу которых составляют параллельные коммутаторы. Основные требования к коммутаторным станциям заключаются в следующем:

- агрегатная, т.е. суммарная пропускная способность должна составлять десятки и более Гбит/с;
- большое количество входов/выходов (свыше 16);
- возможность коммутации данных в обоих направлениях;
- расширяемость по числу входов/выходов;

— возможность быстрого прохождения ячеек в случае возникновения за-
торов;

— архитектура коммутаторных станций должна обеспечивать режим выравнивания частоты поступления ячеек в экстремальных условиях.

Учитывая неравномерное поступление ячеек в АТМ-коммутаторах, все-таки возникают два типа блокировок: блокировка на выходах и блокировка на входах. Первый тип блокировки возникает в тех случаях, когда совпадают хотя бы два адреса приемников данных. В этом случае ячейки будут проходить одни и те же пути и поэтому в конце концов встретятся. Такая блокировка может быть устранена путем установки очередей на выходах с помощью специальной схемы и использования буферных запоминающих устройств. Внутренняя блокировка может возникнуть в тех случаях, когда пути хотя бы двух ячеек пересекаются внутри коммутатора. Избежать такие блокировки можно путем применения специализированного процессора на входах коммутаторной станции. Однако в любом случае это приводит к уменьшению пропускной способности коммутаторной станции.

В доступной литературе одна из коммутаторных станций, разработанная фирмой «ALKATEL», описана в [28,29]. Она состоит из двух функциональных блоков, построенных по модульному принципу, — входного и выходного блока. Входной блок состоит из 128 модулей-терминаторов, обеспечивающих прием, передачу и обработку ячеек и параллельных 128×128 -коммутаторов, которые обеспечивают коммутацию данных, поступающих со скоростью 155 Мбит/с на каждый из входов. Таким образом, агрегатная полоса пропускания станции составляет 155×128 , т.е. свыше 100 Гбит/с. Между входными и выходными блоками имеются еще два блока коммутаторов, созданных на основе однокристалльных параллельных 32×32 -коммутаторов с возможностью наращивания числа входов/выходов. Помимо обычного режима работы, обеспечивающего параллельную коммутацию ячеек (в общем случае и с разной задержкой от канала к каналу), имеется также возможность в случае необходимости коммутировать данные «от одного на все» (радиовещательный режим) или коммутировать любую комбинацию из n входов на n выходов. Входы и выходы АТМ-коммутатора обеспечивают преобразование входного последовательного кода в 8-разрядный параллельный код и наоборот. В зависимости от значения заголовка и другой служебной информации входная ячейка передается на три различных направления. Для обеспечения режима состязания между ячейками и установки очереди между ними имеется блок памяти емкостью 2 кбайт. В качестве временной памяти нередко используют сдвиговые регистры, обеспечивающие малое время доступа.

Архитектура параллельных коммутаторов. Как уже отмечалось выше, параллельные (комбинаторные [32]) коммутаторы являются основной частью коммутаторных станций. Коммутировать ячейки можно, используя общую шину, двухпортовые запоминающие устройства, матричные коммутаторы (crossbar switches), коммуникационные сети, создаваемые на базе 2×2 -коммутаторов, и так называемые коммутаторы с перекрестными связями (crosspoint switches) [30].

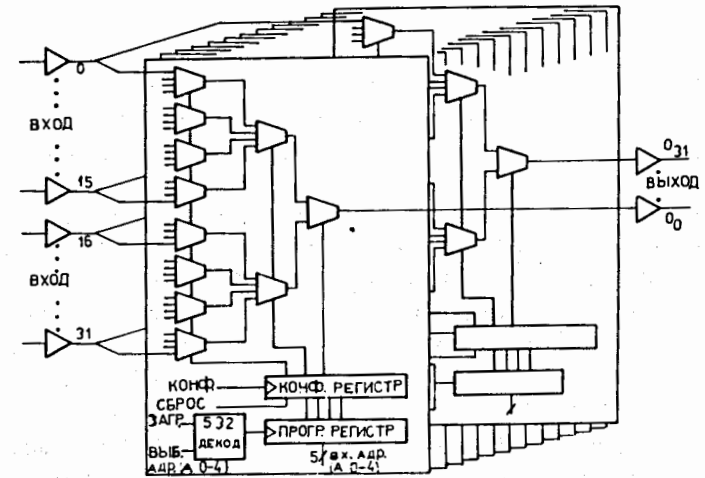


Рис. 11. Блок-схема однокристалльного 32×32 -коммутатора типа «crosspoint». Конф. — вход конфигурационного регистра, Загр. — загрузка, Выб. — выборка, Декод. — дешифратор, Конф. регистр. — конфигурационный регистр, Прогр. — программный регистр, Вх. адр. — входы для кодов адресов, Выб. адр. — выборка адреса

Последний тип коммутаторов создается на основе мультиплексоров. Они имеют наименьшую задержку по сравнению с вышеупомянутыми типами коммутаторов. Общая шина не подходит для коммутации данных в АТМ-сетях в силу ограниченности подключаемых к ней объектов и малого быстродействия, поскольку невозможно одновременно коммутировать несколько каналов. Поэтому более перспективными являются последние три типа параллельных коммутаторов, архитектура которых будет рассмотрена на конкретных примерах. Историческим прототипом матричного коммутатора является коммутатор телефонной станции, где оператор вручную осуществлял связи между абонентами. Применение находят также матричные коммутаторы, выполняемые по технологии перепрограммируемых логических матриц [31]. В узлах матрицы расположены логические ячейки и триггеры. Матрица имеет 48 входных и 48 выходных портов. Путем программирования соединений и занесения данных в соответствующие ячейки можно быстро менять выполняемые функции матричного коммутатора. Первая версия устройства работает с частотой 100 МГц. Наличие на кристалле банка памяти, состоящем из программируемых триггеров, позволяет реализовать контроль за правильностью работы коммутатора с помощью стандартного протокола последовательного типа, специально предназначенного для контроля больших интегральных микросхем. В матричных коммутаторах входной сигнал в зависи-

мости от позиции коммутируемого элемента может проходить все логические элементы, расположенные в строках (столбцах) матрицы, и поэтому быстродействие коммутатора уменьшается с ростом числа его входов/выходов,

Коммутаторы и сети, создаваемые на базе 2×2-переключателей, рассмотрены в обзоре [30]. Как отмечается в данной работе, для коммутации АТМ-ячеек можно использовать многокаскадные коммутаторы типа «баньян», «дельта» и «сеть Клоза», создаваемые на основе 2×2-коммутаторов и обладающие свойствами автомаршрутизации. Практически это значит, что нет необходимости в общем контроллере для управления прохождением ячеек от входов на выходы, поскольку каждая ячейка коммутатора управляется одним битом адреса приемника. В свою очередь такая архитектура коммутаторов обеспечивает их высокое быстродействие. Однако задержка в таких устройствах увеличивается с ростом числа входов/выходов коммутатора.

На рис.11 приведена блок-схема коммутатора 32×32 направления типа «crosspoint», выполненного в виде большой интегральной микросхемы [30]. Коммутатор может быть использован для одновременной коммутации 32 однобуквенных слов на 32 направления. Применение такого коммутатора в АТМ-сетях, где данные передаются в виде последовательного кода, позволяет использовать для передачи информации с 32 на 32 направления одновременно. Модуль состоит из 32 мультиплексоров и 2 конфигурационных регистров, позволяющих создавать различные режимы работы коммутатора, и в частности радиовещательный режим. Видно, что задержка в таком коммутаторе практически не зависит от количества входов/выходов.

Описанный в [32,33] метод построения параллельных коммутаторов имеет ряд принципиальных отличий от известных. Прежде всего данные не переключаются от входов на выходы, а преобразуются в кодовые слова других кодов, над которыми выполняются логические операции, например совпадение. Поэтому не требуется формирования адресов передатчиков, а адреса приемников получают в результате выполнения простых логических операций. Кроме того, предлагаемые коммутаторы обладают корректирующими свойствами. В качестве корректирующих кодов используются коды Адамара [32] и БЧХ-коды [33].

Применение искусственных нейронных сетей. В течение последних десяти лет существенно возрос интерес к нейронным сетям и их практическому применению (см. обзоры [34—35]). Самый совершенный компьютер трудно сравнить с человеческим мозгом отнюдь не только потому, что он содержит гигантское количество (хотя и весьма медленных) логических ячеек-нейронов. Принципиальное отличие прежде всего состоит в типе выполняемой логики, высокой степени параллелизма и связности между нейронами. Кроме того, данные в нейронных сетях как в естественных, так и искусственных не содержатся в отдельном блоке памяти, как в обычном компьютере. Они распределены, запоминаются и содержатся в весах. Поэтому в нейронных сетях не возникает проблемы

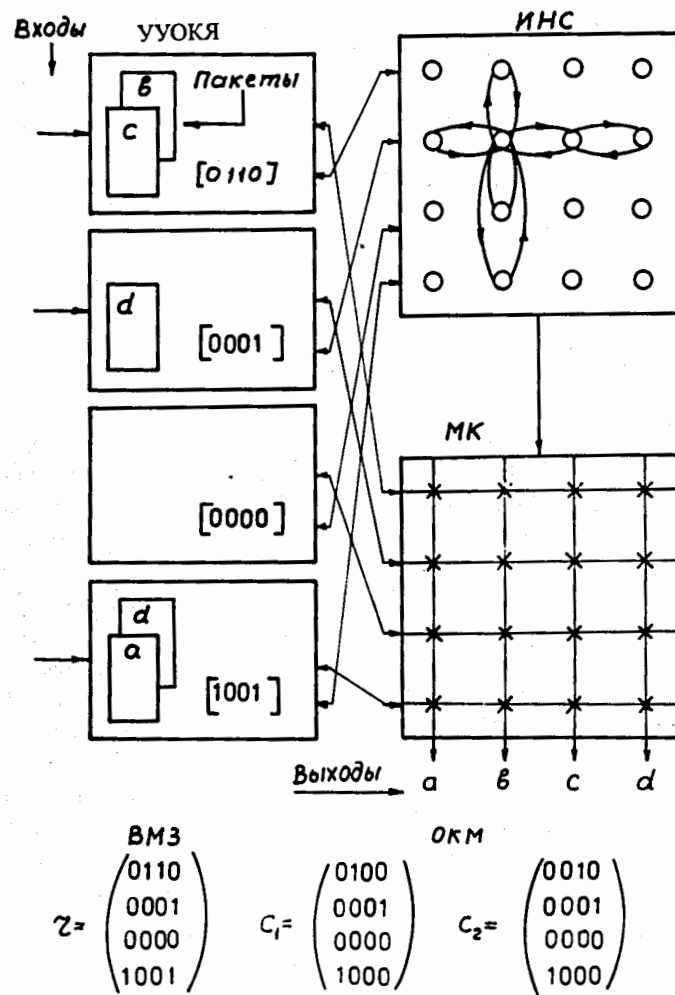


Рис. 12. Блок-схема контроллера на основе искусственной нейронной сети. УУОКЯ — устройство установки очередей коммутации ячеек, ИНС — искусственная нейронная сеть, МК — матричный коммутатор, ВМЗ — входная матрица запросов, ОКМ — оптимальная конфигурационная матрица, a, b, c, d — пакеты данных

коммутирования информации, поскольку эта функция совмещена с вычислениями. В то же время ряд отмеченных качеств нейронных сетей может быть использован для оптимизации задач, связанных с управлением объектами.

Так, в [36—38] предлагается применить нейронную сеть типа «Хопфильда» для управления коммутатором типа «баньян». С этой целью разработан контроллер, выполненный в виде интегральной микросхемы и содержащий 8×8 -нейронную сеть. Показано, каким образом можно использовать нейронную сеть для управления коммутаторами на большое число входов/выходов. Проблема оптимизации пропускной способности коммутатора типа «баньян» иллюстрируется с помощью рис. 12. На рисунке показано, каким образом запросы на обслуживание входных пакетов с помощью $N \times N$ -матричного коммутатора могут быть представлены в виде $N \times N$ -двоичной входной матрицы запросов $r(N=4)$. Строки и столбцы матрицы r ассоциируются с входами и выходами коммутатора соответственно и задаются от устройства установки очередей коммутации ячеек (УУОКЯ). Если на входах коммутатора имеется хотя бы одна ячейка, которую необходимо передать от входа i на выход j , то элемент матрицы $r_{ij} = 1$, в противном случае $r_{ij} = 0$. В свою очередь прохождение ячейки сквозь коммутатор можно также описать с помощью $N \times N$ -двоичных оптимальных конфигурационных матриц (ОКМ). Позиции единиц в матрицах ОКМ показывают «открытые» пересечения, т.е. $c_{ij} = 1$, и — закрытые, если $c_{ij} = 0$. Таким образом, проблема нахождения оптимальных маршрутов и, соответственно, увеличение пропускной способности коммутатора сводится к нахождению оптимальных конфигурационных матриц. Эти матрицы, как следует из рис. 12, при наложении друг на друга дают исходную матрицу запросов. Функции нейронной сети совместно с УУОКЯ сводятся к вычислению оптимальной конфигурационной матрицы. Причем для построения нейронной сети используются специальные ячейки-нейроны. Основное свойство такой нейронной сети состоит в том, что после включения напряжения питания в результате состязательности только один нейрон остается включенным, что обеспечивает активацию только одного выхода нейронной сети.

Коммерческие разработки. В [30,39] приведен обзор, посвященный первому поколению разработок параллельных коммутаторов, выполненных в виде БИС. Параметры некоторых из них приведены в табл. 2 [39].

В связи с тем, что используется множество сетей, имеющих различные стандарты, в сложившейся ситуации представляется целесообразным разрабатывать и использовать разные по классу коммутаторы и другое сетевое оборудование. По этому признаку выделяется четыре класса АТМ-коммутаторов.

- Коммутаторы ячеек для настольных систем (desktop switch). Как правило, они имеют фиксированную архитектуру. Шасси имеет 1—2 быстрых порта и предназначены для прямого включения в ЛВС персональных компьютеров.

- Коммутаторы ячеек для рабочих групп (workgroup switch). Характеризуются, как правило, архитектурой с фиксированным количеством портов для сегментов и узлов. Некоторые устройства имеют встроенные маршрутизаторы.

- Магистральные коммутаторные станции масштаба глобальной сети (backbone switch). В коммутаторы данного класса встроены маршрутизаторы протоколов сети Internet и средства построения виртуальных сетей.

Таблица 2. Параметры некоторых БИС для АТМ-способа коммутации

Фирма	Устройство	АТМ-функции	Комментарии. Цена
AT&T	Phoenix T7650 2 × 2-коммутируемая матрица типа crosspoint	Автомаршрутизация. Каскадируемый. Полоса пропускания 320 Мбит/с	Используется в небольших коммутаторных станциях Цена 25\$
Fujitsu	MB86680 4 × 4 с автоматом маршрут.	Каскадируемый до 32 × 32. Полоса пропускания 155 Мбит/с	Цена 70\$
IBM	Prizma 16 × 16 направлений	400 Мбит/с на один порт с памятью. Имеется буферное ЗУ. Каскадируемый. Радиовещательный режим. Автомаршрут. АПС = 6,4 Гбит/с	2,4 × 10 ⁶ транзисторов. 472 вывода
IGT	WAC-188A 8 × 8 направлений	Полоса пропускания 155 Мбит/с на один порт. Имеется общая память и память типа FIFO на выходных каналах. Контроль затворов. Каскадируемый. Обеспечивает пять уровней приоритета	Цена 76\$
Tri Quint Semiconductor	TQ 801 16 × 16 типа crosspoint	АПС 1,2 Гбит/с. Имеется оптический канал. Возможны конфигурации типа «сеть Клоза» и «дельта»	100\$

АПС — агрегатная пропускная способность. IGT — Integrated Telecom Technology.

Наряду с АТМ-коммутаторными станциями ряд фирм выпускает также гибридные станции. Так, разработка [40] имеет четыре порта для сети Token Ring, 16 портов для сети Ethernet и два порта для АТМ-сети. Для мониторинга

АТМ-сети фирма «Хьюлетт Паккард» разработала анализатор НРЕ5200А. В [41] приводится сводная таблица, содержащая параметры аппаратуры, выпускаемые фирмой «Cisco Systems» для АТМ-сетей. Класс коммутаторов включает в себя коммутаторы для рабочих групп, коммутаторы сети предприятия и коммутаторы корпоративной сети.

5. АТМ-ТЕХНОЛОГИЯ И ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Эмуляция ЛВС в АТМ-сеть. Эмуляция ЛВС является эффективным средством подключения локальной сети к сети, выполненной в АТМ-стандарте. При этом решаются две задачи: создание и подключение уже существующих сетей через коммутатор к АТМ-сети. Например, такие стандартные сети с принципиально иным способом транспортировки протоколов, как Езернет, находящиеся в одном подразделении, могут обмениваться данными с серверами АТМ-сети, расположенной в другом здании. При этом все пользовательские программы сохраняются. С этой целью АТМ FORUM в 1995 г. рекомендовал стандартную систему эмуляции (LANE -Local Area Network Emulation) [12], которая состоит из двух компонентов: LEC (Lan Emulation Client) и LES (Lan Emulation Servers). LANE-клиенты — это подключенные к сети АТМ мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и компьютеры на рабочих местах [42]. Их функции заключаются в том, чтобы транслировать пакеты в ячейки и наоборот и создавать виртуальные соединения. LANE-сервисы находятся в сети, на выделенных серверах и на подключенных к рабочим группам устройствах в эмулируемых ЛВС. Они помогают LANE-клиентам транслировать адреса и создавать широковещательный режим. В [43,44] приводятся блок-схемы подключения ЛВС, выполненные в стандартах Езернет, и оптоволоконный интерфейс к сети, выполненной в стандарте АТМ.

Виртуальные ЛВС. Коммутируемая технология очень эффективно используется для построения виртуальных ЛВС [45—47]. Суть виртуальных ЛВС заключается в том, что сегменты ЛВС объединяются не по территориальному, а по логическому принципу, т.е. на основе общих интересов пользователей, расположенных на различных этажах или в различных зданиях. Помимо этого создание виртуальных ЛВС позволяет решать следующие задачи:

- выделение сегментов, работающих с конфиденциальными данными;
- увеличение пропускной способности ЛВС;
- эффективное решение проблемы изменениями в сети, так как изменения в размещении потребителей осуществляются подключением станции к порту ближайшего коммутатора и настройкой этого порта на соответствующую виртуальную ЛВС [45].

Основой виртуальных сетей служат конфигурируемые коммутаторы. Используемые схемы для создания виртуальных сетей описаны в [46,47]. Наиболее эффективно виртуальные ЛВС реализуются с помощью АТМ-коммутаторов.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературы показывает, что современные вычислительные сети имеют низкую пропускную способность и плохое качество обслуживания. Использование коммутируемых технологий, и прежде всего АТМ-технологии, позволяет создавать быстродействующие сети, в которых по одному каналу может передаваться весь спектр современной информации, включая данные и мультимедиа в цифровой форме. Основная проблема здесь носит чисто организационный и финансовый характер. Учитывая пока еще высокую стоимость новой технологии и наличие огромного количества используемых ЛВС, в ближайшее время можно ожидать плавного перехода к АТМ-технологии. В перспективе в ближайшие пять-десять лет можно ожидать создания локальных и глобальных сетей на базе единого стандарта — АТМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Д. АТМ — сетевая технология будущего. — Компьютер Пресс, 1995, №2, с. 87.
2. Warren A. High-Performance Networks Challenge Ethernet. — Computer Design, 1992, v. 31, No.7, p. 77.
3. Dupraz J., Prucker M.D. Principles and Benefits of the Asynchronous Transfer Mode. — Electrical Communications, 1990, v. 64, No.2/3, p. 116.
4. Cooper L.F. Playing the ATM Card. — Byte, 1996, v. 21, No.5, p. 71.
5. «About ATM» — At www.atmforum.com/atmforum/atm_basics/notes.html.
6. Prucker M.D. ATM: Solution for B-ISDN. — In: Proceedings of the 1990 CERN School of Computing. CERN 91—05, Geneva, 1991, p. 9.
7. Nance B. Teach Your Apps to Speak ATM. — Byte, 1996, v. 21, No. 8, p. 97.
8. Joch A. Virtually Well Connected. — Byte, 1996, v. 21, No.8, p. 97.
9. Clarkson M. All-Terrain Networking. — Byte, 1993, v. 18, No.8, p. 111.
10. Mullender S.J. Interprocess Communication. — In: Proceedings of the 1992 CERN School of Computing. CERN 93—03, Geneva, 1993, p. 47.
11. Boudec J.V. The Asynchronous Transfer Mode: a Tutorial. — Computer Network and ISDN Systems, 1992, v. 24, p. 279.
12. Hetter J.L. Asynchronous Transfer Mode. — www.gl.umbc.edu/~jheetel/atm-paper.html. December 12, 1995.

13. Бондаренко Д. ATM — сетевая технология будущего. — Компьютер Пресс, 1995, №5, с. 48.
14. Бондаренко Д. ATM — сетевая технология будущего. — Компьютер Пресс, 1995, №6, с. 89.
15. Серебрянная А. Бондаренко Д. ATM — сетевая технология будущего. — Компьютер Пресс, 1995, №11, с. 117.
16. Тормышов С., Баушев С. Технология ATM для профессионалов. — Компьютер Пресс, 1996, № 10, с. 26.
17. Letheren M.F. Switching Technique in Data Acquisitions Systems for Future Experiments. — In: Proceedings of the 1995 CERN School of Computing. CERN 95—05, Geneva, 1995, p. 245.
18. Тормышов С. Технология ATM для профессионалов. — Компьютер Пресс, 1997, №2, с.164.
19. Ahmed H., Bregi P., Haag J.P., Wiest B. Synchronous Transmission Systems and Cross Connects for Broadband Networks. — Electrical Communication. 1990, v.64, No. 2/3, p. 194.
20. Бондаренко Д. ATM — сетевая технология будущего. Компоненты сети ATM. — Компьютер Пресс, 1995, № 8, с. 99.
21. Тормышов С. Технология ATM для профессионалов. — Компьютер Пресс, 1996, № 12, с. 176.
22. Тормышов С. Технология ATM для профессионалов. — Компьютер Пресс, 1997, №3, с. 168.
23. Тормышов С. Технология ATM для профессионалов. — Компьютер Пресс, 1997, № 5, с. 176.
24. Fritz J. Bulletproofing ATM: Part I. — Byte, 1997, v. 22, No.6, p. 59.
25. Fritz J. Bulletproofing ATM: Part 2. — Byte, 1997, v.22, No.7, p. 55.
26. Lohse S. Reliable ATM Networking. — Byte, 1997, v.22, No.4, p. 55.
27. White Paper. ATM Switch Traffic Management Essentials. — www.igt.com/documentation.htm#unis.
28. Letheren M., Christiansen J., Mandjavidze I. An Asynchronous Datadriven Event-Building Scheme Based on ATM Switching Fabric. — IEEE Transaction on Nuclear Science. 1994, v. 41, No.1, p. 257.
29. Boettle D., Henrion M.A. Alcatel ATM Switch Fabric and Its Properties. — Electrical Communication, v. 64, No. 2/3, p. 156.
30. Goldberg L. ATM Switching: A Brief Introduction. — Electronic Design, 1994, v. 42. No.26, p. 87.
31. Child J. Bus-Switching Chip Busts Bandwidth Barriers. — Computer Design, 1995, No.6, p. 32.
32. Никитюк Н.М. Коммутаторы с алгебраической структурой для многопроцессорных систем. — Автоматика и телемеханика. 1995, № 5, с. 174.

33. Alexandrov I.N., Kotov V.M., Nikityuk N.M., Pose R. Investigation on Synchronous Switches. — In: Proceedings Second International Workshop on Electronics for LHC Experiments. Balatonfured, Hungary, 23—27 September, 1996, CERN/LHC/96—39, p. 220.
34. Галушкин А.И., Иванов В.В., Картамышев М.Г. и др. Нейрокомпьютеры и их применение. — Зарубежная радиоэлектроника, 1997, №2, с. 3.
35. Bishop C.M. Neural Networks and their Application. — Review Science Instrument, 1994, v. 65, No.6, p. 1803.
36. Brown T.X. Neural Networks for Switching. — IEEE Communication Magazine. 1989, v. 27, No.11 (November), p. 73.
37. Brown T.X., Kuo-Hui Liu. Neural Network of a Banyan Network Controller. — IEEE Journal on Selected Areas In Communication, 1990, v. 8, No.8, p. 1428.
38. Marrakchi A., Troudet T. A Neural Arbiter for Large Crossbar Packet Switches. — IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1989, v. 36, No.7, p. 1039.
39. Goldberg L. ATM Silicon: Ready for Takeoff. — Electronic Design. 1994, v. 42, No.7, p. 51.
40. White Paper. Igt ATM Switching Solutions Position Paper. — www.igt.com/documentation.htm#unis.
41. Федотов А. ATM-коммутаторы. — Компьютер Пресс, 1996, №10, с. 32.
42. Барабанов С., Коростелин А., Крюков С. Компьютерные сети: вчера, сегодня, завтра. — Компьютер Пресс, 1997, №4, с. 29.
43. Baldazo R. ATM with Twist of LAN. — Byte, 1995, v. 20, No.11, p. 255.
44. Salamone S. Life in the Fast Life. — Byte, 1996, v. 21, No. 7, p. 53.
45. Salamone S. Virtual LANs Get Real. — Byte, 1995, v. 20, No.5, p. 181.
46. Федотов А. Виртуальные сети. — Компьютер Пресс, 1996, №8, с. 7682.
47. Барабанов С., Коростелин А., Крюков С. Компьютерные сети: вчера, сегодня, завтра. — Компьютер Пресс, 1997, №3, с. 158.