

СЕТИ ДОСТУПА

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Сети доступа в последнее время вызывают растущий интерес у специалистов в связи с тем, что сервисные возможности этих сетей, постоянно расширяясь, выходят на качественно новый уровень и покрывают практически все типы сервиса: от передачи голоса и данных до мультимедиа и видео. В этой связи редакция журнала решила уделить особое внимание проблемам и перспективам сетей доступа и используемому на них оборудованию, предлагая первую подборку статей на эту тему.

СЕТИ ДОСТУПА

Опишем кратко сети доступа и дадим необходимые пояснения терминам и определениям, встречающимся в статьях, посвященных рассматриваемой теме.

Понятие *сети доступа* (СД) обычно ассоциируют с *сетью абонентского доступа*, понимая под этим линию доступа абонента к ближайшей АТС, или *абонентскую линию* (АЛ). В этом смысле термин АЛ эквивалентен понятию *последняя миля* (ПМ, или LM – Last Mile), т.е. участку сети связи от АТС до оконечных устройств (ОУ) абонента [1]. Учитывая, что АТС – это узел сети общего пользования, или *телефонной сети общего пользования* (ТФОП), то СД – это первичная сеть нижнего уровня, питающая узлы ТФОП.

Абонент, использующий АЛ, мог первоначально получить от ТФОП услуги телефонной и факсимильной связи или услуги передачи данных (с помощью аналогового модема с возможным выходом на локальную и корпоративную сеть или сеть Интернет). В обоих случаях цифровой эквивалент его канала был ограничен скоростью передачи 64 кбит/с.

С появлением технологии *цифровой сети интегрированного обслуживания* (ISDN), используя ту же АЛ, удалось расширить услуги, допуская одновременную передачу голоса и данных, видеоконференц-связь и мультимедиа. Цифровой эквивалент канала абонента, благодаря использованию скорости *базового доступа узкополосной ISDN* (2x64 кбит/с), расширился до 144 кбит/с. С появлением широкополосного варианта ISDN услуги были расширены до передачи подвижных видеозаписей, а цифровой эквивалент канала абонента расширился до 2 Мбит/с, используя скорости *первичного доступа ISDN*. Внедрение ISDN позволило широко использовать на АЛ цифровые модемы, работающие на скорости передачи $n \times 64$ кбит/с (так называемые дробные скорости FE1) вплоть до 2048 кбит/с (*первичная скорость E1* иерархии PDH).

С появлением сотовых систем связи возникли *сети радиодоступа* (СРД), которые с помощью *абонентской радиолинии* (АРЛ) соединялись с узлом ТФОП (например, АТС), где был установлен BSC – *контроллер базовой станции* (КБС) радиодоступа. Спектр услуг сети ра-

диодоступа в настоящее время практически тот же, что и у абонентов с АЛ ISDN.

Наконец, развитие *пассивных оптических сетей* (ПОС) и использование *оптического волокна* (ОВ) на последней миле привело к созданию *оптической сети доступа* (ОСД), которая подключается к узлам ТФОП через *оптическую абонентскую линию* (ОАЛ), используя установленные на узлах *оконечные устройства оптической линии* (OLT). Спектр услуг ОСД является наиболее широким среди всех услуг сетей доступа (и включает аналоговое и цифровое видео) благодаря фактическому отсутствию ограничений на полосу пропускания (BW) оптической среды передачи. На ОАЛ работают оптические модемы (ОМ), называемые также *оптоволоконными конверторами* (ОВК, или FLC), так как они принимают электрический сигнал и конвертируют его в оптический для передачи в линию связи [2].

Итак, согласно публикации [1], схема организации сети доступа сначала имела вид, представленный на рис. 1.

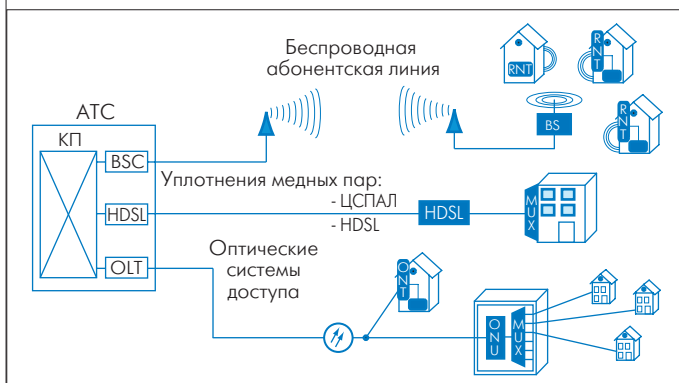


Рис. 1. Традиционный вариант организации сети доступа

Однако в качестве узла, питаемого сетью доступа, может выступать не только АТС сети ТФОП, но и мультиплексоры сетей SDH и WDM. Тогда в качестве устройств доступа, питающих эти сети, могут выступать не только перечисленные выше устройства (имеющие стандартный для *глобальных сетей* (WAN) интерфейс G.703), но и собственно АТС, которые могут использовать как интерфейс G.703, так и интерфейсы сети доступа к АТС V5.1/V5.2.

Устройством доступа может быть и так называемый "*гибкий*" мультиплексор (ГМ). "Гибкость" его в том, что он имеет широкий набор интерфейсов, достаточный для подключения любого ("аналогового" или "цифрового") абонента к сети ТФОП или WAN. Его "абонентами" могут быть устройства *локальных сетей* (ЛВС), включая ПК, сетей X.25 и ISDN, а также ТФОП.

Для мультиплексоров SDH более высокого уровня, например STM-16 (скорость передачи 2,5 Гбит/с), в качестве "устройства" доступа может выступать и автономная/локальная сеть доступа, органи-

зованная в виде кольца SDH/CWDM (разреженные WDM) с мультиплексорами SDH STM-1/4 новой генерации или мультиплексорами CWDM, оснащенными большим набором интерфейсных карт. В этом случае источниками, питающими такие сети доступа, могут быть: АТС и учрежденные АТС (УАТС) с трафиком E1/E3 (2/34 Мбит/с); гибкие мультиплексоры (концентраторы) с трафиком $n \times 64$ кбит/с или E1; ЛВС с трафиком Ethernet 10/100/1000 Мбит/с; корпоративные сети с трафиком Frame Relay или ATM; гибридные волоконно-коаксиальные сети (ГВКС) с кабельными модемами (КМ) и прямым/обратным трафиком типа видео по требованию/данные [3] и, наконец, разветвленные ПОС с трафиком последней мили и обратного канала ГВКС. С учетом всего сказанного современная схема организации сети доступа может иметь вид, показанный на рис.2. Эта сеть (применительно к оборудованию компании RAD Data Communications) более подробно описана в статье [4].

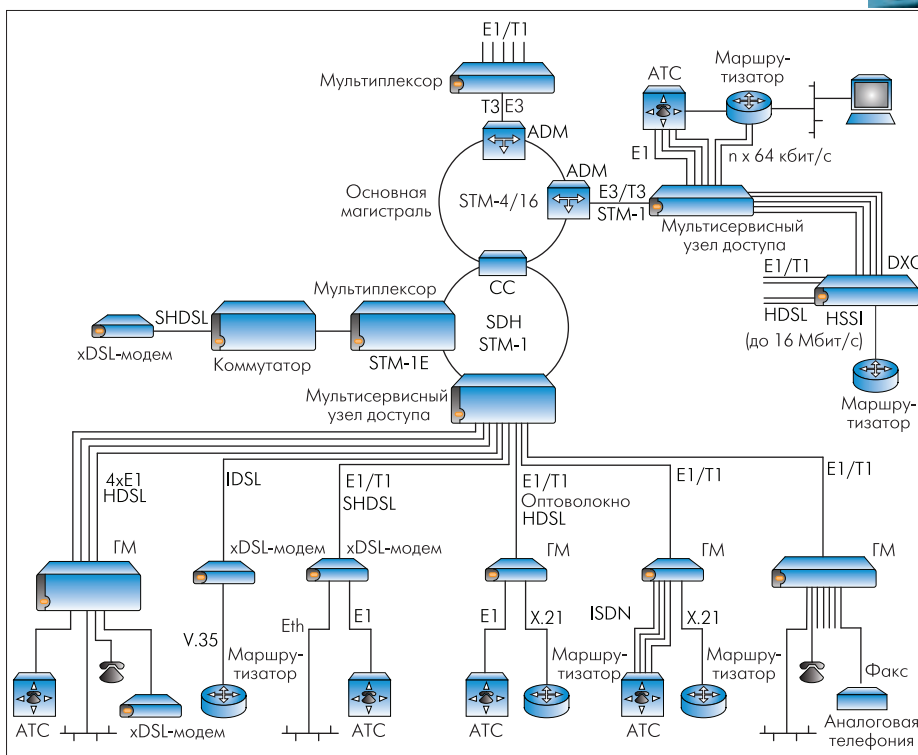


Рис. 2. Современный вариант организации сети доступа

ОБОРУДОВАНИЕ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Схемы, представленные на рис. 1 и 2, позволяют до некоторой степени оценить все разнообразие оборудования, используемого на сетях доступа (см. также [5]). Его можно расположить по степени значимости в таком порядке:

- АТС (СО), УАТС (PBX);
- мультиплексоры ввода-вывода SDH, мультиплексоры CWDM;
- многофункциональные узлы доступа, кросс-коммутаторы (DXC) с гранулярностью потоков 64 кбит/с;
- интегрированные/многофункциональные/гибкие мультиплексоры доступа (МД, ГМ);
- мультиплексоры доступа в сети ISDN, Frame Relay, ATM и IP;
- инверсные мультиплексоры потоков 64 кбит/с и E1;
- оборудование сетей ПОС (или PON – passive optical network);
- устройства доступа на скорости E1 и дробный E1 (FE1), $n \times 64$ кбит/с;
- модемы.

Учитывая огромное разнообразие такого оборудования, мы ограничимся рассмотрением только оборудования ПОС и модемов.

МОДЕМЫ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Если, не рассматривая радиосети, ограничиться только проводными сетями доступа, то в них трафик от конечных пользователей до устройств доступа и обратно может быть доставлен с помощью передающих устройств, называемых модемами. В них используются определенные технологии передачи и методы модуляции-демодуляции. Можно выделить следующие типы цифровых модемов (аналоговые модемы не рассматриваются):

- ISDN-модемы для базового (BRA) и первичного (PRA) доступа;
- модемы для цифровых абонентских линий (DSL, или ЦАЛ); эти модемы (и соответствующие им технологии) имеют различные особенности, области применения и составляют довольно большую группу, называемую обобщенно xDSL-модемами (x заме-

Таблица 1. Основные типы технологий доступа и параметры используемых модемов

Система	Скорости, кбит/с		Максимальное расстояние**, км	Число каналов	Требуемое число пар	Вид передачи	Среда передачи
	Прямой канал*	Обратный канал*					
ISDN BRA	128	128	5,4	2	1	Симметричная	Цифровая линия
ISDN PRA	1472/1920	1472/1920	5,4/4,9	23/30	1	Симметричная	Цифровая линия
ADSL/ADSL2	640/936	6000/12000	5,4/2,7	2	1	Асимметричная	2-проводная линия
ADSL2+	936	24000	1,4	2	1	Асимметричная	2-проводная линия
HDSL	1544/2048/2320	1544/2048/2320	4,5/3,6	1	2	Симметричная	4-проводная линия
IDSL	128	128	5,4	1	1	Симметричная	2-проводная линия
M(S)DSL	272–2320	272–2320	4,2	1	1	Симметричная	2-проводная линия
RADSL	128–1024	600–7000	5,4	1	1	Асимметричная	2-проводная линия
SDSL	768	768	3,0	1	1	Симметричная	2-проводная линия
SHDSL	2320/3840/5696	2320/3840/5696	3,0	1	1	Симметричная	2-проводная линия
UDSL	128	128	5,4	1/2	1/2	Симметричная	2-/4-проводная линия
VDSL	1500–2300	13000/52000	1,4/0,3	1	1	Асимметричная	2-проводная линия
HFC	64–2000	27000–36000	15	n	n/p	Асимметричная	Оптическое волокно
IMA	$n \times 1544/2048$	$n \times 1544/2048$	2	1	1	Симметричная	Цифровая линия

* Прямой, или восходящий, канал от клиента к серверу провайдера; обратный, или нисходящий, канал от сервера провайдера к клиенту.

** Максимальное расстояние передачи для заданной скорости зависит от диаметра используемого медного провода. В нашем случае – провод диаметром 0,5 мм [7].

няет букву, обозначающую подгруппу модемов, например ADSL, SDSL и т.д.);

- кабельные модемы (CM, или KM) для сетей HFC, или ГВКС;
- оптические модемы для PON (ПОС) и оптических последних миль (LM).

Основные характеристики модемов приведены в табл. 1 [1, 7–10].

Рассмотрим кратко технологии, используемые для передачи, названия которых приведены в табл. 1.

- ISDN BRA – *ISDN Basic Rate Access* – технология ISDN с доступом на базовой скорости. Использует 2 основных цифровых канала (ОЦК) по 64 кбит/с, обозначаемых как 2B (128 кбит/с), плюс D-канал сигнализации (16 кбит/с). В результате формируется канал 144 кбит/с. Цифровая линия может быть как двухпроводной, так и четырехпроводной в зависимости от типа стандартного интерфейса сети ISDN, однако для связи с сетью (интерфейс U) используется двухпроводная линия. Доступ на базовой скорости осуществляется через логический интерфейс BRI (Basic Rate Interface).
- ISDN PRA – *ISDN Primary Rate Access* – технология ISDN с доступом на первичной скорости. Использует два формата: 23B + D (Америка, Япония), 30B+D (Европа), где D-канал имеет скорость 64 кбит/с. В результате первый формат позволяет передавать 23 канала и соответствует скорости 1536 (1472+64) кбит/с, а второй – 30 каналов и соответствует скорости 1984 (1920+64) кбит/с. Доступ на первичной скорости осуществляется через интерфейс PRI (Primary Rate Interface). Возможен также высокоскоростной доступ на скорости H_0 ($384=6 \times 64$ кбит/с) или H_{12} , когда с помощью технологии *инверсного мультиплексирования* шести или двенадцати каналов ОЦК в режиме ISDN формируется один канал, например для целей высококачественной видеоконференц-связи.
- ADSL (ITU-T G.992.1), ADSL2 (G.992.3), ADSL2+ (G.992.5) – *Asymmetric Digital Subscriber Line/Loop* – асимметричная цифровая абонентская линия. Это технология *широкополосного* (ШП) доступа, используемая для работы с сетью Интернет. Она удобна тем, что при малом прямом потоке, формируемом клиентом/пользователем, позволяет выделить больше ресурсов на обратный поток от сетевого сервера к пользователю. Максимальное расстояние зависит не только от диаметра медного провода, но и от скорости. Так, при диаметре 0,5 мм и скорости T1 (1544 кбит/с) это расстояние равно 5,5 км, при скорости E1 (2048 кбит/с) – 4,9 км, при скорости T2 (6312 кбит/с) – 3,7 км и при E2 (8448 кбит/с) – 2,7 км. ADSL интересна тем, что полоса двухпроводной линии делится на три канала: канал тональной частоты (4 кГц, телефонный трафик), прямой канал (восходящий трафик) и обратный канал (нисходящий трафик). Первый канал (телефон) управляется узлами ТФОП (АТС), два последних (каждый в отдельности) – *мультиплексором доступа цифровой абонентской линии* (DSLAM). То есть технология ADSL позволяет организовать один телефонный канал и один дуплексный асимметричный канал передачи данных, которые разделяются сплиттером [7, 10].
- HDSL – *High bit rate Digital Subscriber Line* – высокоскоростная цифровая абонентская линия. Одна из самых старых и простых технологий широкополосного доступа, использует только дуплексную передачу цифровых данных в глобальных и локальных сетях, формируя канал T1/E1 (1544/2048/2320 кбит/с).
- HDSL2 – *симметричная двухпроводная HDSL* – то же, что и SHDSL (см. ITU-T G.991.2).
- IDSL – *ISDN Digital Subscriber Line/Loop* – цифровая абонентская линия для технологии ISDN. Предназначена (в соответствии с на-

званием) для доступа в сеть ISDN и формирует тот же канал 128 кбит/с, но он используется только для передачи данных (передача голоса, в отличие от ISDN, не поддерживается [7]).

- M(S)DSL – *Multirate (Symmetric) Digital Subscriber Line* – многоскоростная (симметричная) цифровая абонентская линия. Поддерживает передачу симметричных дуплексных каналов со скоростью $n \times 64$ ($n = 4...36$) по схеме nB+D, допуская объединение в одной физической среде различных видов трафика (речи, данных и видео), требуемого, например, для передачи видеоконференц-связи [7].
- RADSL – *Rate Adaptive Digital Subscriber Line* – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости. Вариант ADSL, где скорость может быть изменена с учетом требований среды передачи и используемого приложения. Аналогично ADSL использует двухпроводную линию для передачи данных и голоса.
- SDSL – *Symmetric Digital Subscriber Line* – симметричная цифровая абонентская линия. Обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных со скоростью 768 кбит/с. Эта скорость соответствует еще одному каналу, организованному в рамках ISDN для передачи видеоконференц-связи, – H_{12} . Он формируется инверсным мультиплексором из 12 ОЦК.
- SHDSL – *Single-pair High-Speed Digital Subscriber Line* – высокоскоростная цифровая абонентская линия на одной паре (см. ITU-T G.991.2). Поддерживает передачу симметричных дуплексных каналов со скоростью до 192–2312/2320–3840/768–5696 кбит/с (в зависимости от типа используемой модуляции [9]) и называется также, как *Symmetric High-bit rate Digital Subscriber Line* – симметричная высокоскоростная цифровая абонентская линия.
- UDSL – *Unidirectional Digital Subscriber Line* – однонаправленная цифровая абонентская линия. Аналогична IDSL, но допускает передачу по каждой из двух пар четырехпроводной линии только в одну сторону.
- UDSL – *Universal Digital Subscriber Line* – универсальная цифровая абонентская линия. Аналогична IDSL, но допускает передачу как по двухпроводной, так и по четырехпроводной линии.
- VDSL – *Very high bit rate Digital Subscriber Line* – сверхскоростная цифровая абонентская линия. Обеспечивает асимметричную передачу данных аналогично ADSL, но предназначена для передачи по обратному каналу телевизионного сигнала: обычного – 13 Мбит/с на расстояние 1,4 км и высокой четкости (HDTV) – 52 Мбит/с на расстояние до 300 м.
- HFC – *Hybrid Fiber Coax (line)* – гибридная волоконно-коаксиальная (ГВКС) линия. Технология, использующая трехуровневую структуру взаимодействующих сетей (магистральная транспортная; доступа и распределительная) и смешанную среду передачи: оптоволоконную (на магистральной сети и сети доступа) и коаксиальную (на распределительной абонентской сети) [3]. В этой сети прямой (цифровой) канал, от абонента до центральной станции (ЦС), занимает полосу 5–42 (5–65) МГц. Полоса прямого доступа делится пропорционально числу абонентов, пользующихся услугами по методу временного разделения каналов (TDM). В результате определяется скорость прямого канала в расчете на одного абонента (например, от 64 до 2000 кбит/с). Обратный канал занимает полосу 47–750 (91–857) МГц и делится пропорционально числу каналов телевизионного вещания. В результате используемый для передачи кабельный модем должен иметь скорость (с учетом используемой квадратурной модуляции 16/64/256QAM) до 36000 кбит/с. Нужно иметь в виду, что в отечественной терминологии для ГВКС, а также для PON (см. ниже), понятия прямого и обратного каналов меняются местами. Прямым (нисходящим)

считается канал ЦС – абонент, а обратным (восходящим) – канал абонент – ЦС, что определяется первичностью сервиса, идущего от ЦС к абоненту, и вторичностью запроса на сервис, идущего в обратном направлении.

- IMA – *Inverse Multiplexing over ATM* – инверсное мультиплексирование в режиме ATM. Технология передачи, использующая режим асинхронной передачи (ATM) в качестве технологии переносчика при дистанционном доступе, функционировала, как правило, на линиях связи типа T1/E1 (1544/2048 кбит/с), что часто не удовлетворяло требованиям со стороны приложений. Поэтому для обеспечения более высоких скоростей доступа стали применять инверсное мультиплексирование, аналогично тому, как это делается в ISDN, однако в качестве "единичного мультиплексируемого канала" брали не ОЦК, а канал T1/E1. В результате формировался канал nT1/nE1, который мог достигать уровня T3/E3 (45/34 Мбит/с). Процедура интерливинга при мультиплексировании проводилась при этом на уровне 53-байтных ячеек ATM.

ПАССИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ

Появление новых услуг связи и, в частности, интенсивное использование мультимедийного и видеобмена с сетью Интернет привело к существенному росту (вплоть до 1 Гбит/с) требований к скорости обмена, а значит, и к полосе пропускания СД. Удовлетворить их было трудно, используя только технологии xDSL. В этой ситуации оказалась востребованной технология сетей ПОС, или PON, которая возникла в начале 90-х годов прошлого века в связи с развитием оптоволоконных сетей связи.

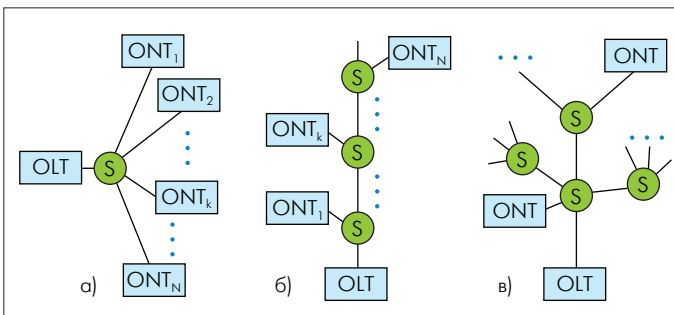


Рис. 3. Топологии сетей PON

Сейчас сеть доступа PON – это современная технология построения сети "последней мили" и организации широкополосного доступа по волокну. Ниже кратко рассмотрены основные особенности технологии PON (более подробно см. [11]).

Сеть PON использует ОВ в качестве среды передачи, а значит, не имеет ограничений, присущих медной паре или коаксиальному кабелю. Скорости, на которых она может работать, аналогичны тем, что используются системами SDH и WDM.

Архитектура сети строится на основе комбинации возможных элементарных топологий [11]:

- *топологии звезды*, характерной для центрального узла с единственным разветвителем (S), подключенного через интерфейс OLT к магистральной сети (слева), и отходящих от S сегментов (1:N), соединяющих S по схеме "точка-точка" с абонентскими узлами (ONT_k) (рис. 3а);
- *топологии последовательной цепи* (или *топологии шины*), состоящей из последовательно соединенных (как если бы они были расположены на шине) Y-ответвителей S, началом которой является центральный узел с ответвителем S (снизу), лучи ответвлений которых (идущие к абонентам ONT_k) расположены вдоль всей цепи (шины) (рис 3б);

- *топологии дерева*, корнем которого является центральный узел, соединенный по схеме "точка-много точек" с узлами разветвителей (S) и абонентскими узлами (ONT), составляющими крону (листья) дерева (рис. 3в).

ПРИНЦИП РАБОТЫ СЕТИ PON

Положение центрального и абонентских узлов, терминальных окончатый OLT (*оптический линейный терминал*) и ONT (*оптический сетевой терминал*), а также интерфейсов SNI (*сервисный сетевой интерфейс*) и UNI (*интерфейс пользователь-сеть*), приведены на рис. 4 [11]. Нисходящий (прямой) поток от центрального узла обычно имеет скорость STM-4/16 (0,622/2,5 Гбит/с) и передается по ОВ (на длине волны 1550 нм) до точки разветвления на пассивный оптический разветвитель, который делит этот поток на несколько (до 32 или до 64) потоков, поступающих на ONT, установленные в помещении абонентов. Восходящие (обратные) потоки от абонентов (на длине волны 1310 нм) собираются с помощью технологии *множественного доступа с временным разделением* (TDMA) в агрегатный поток на скорости 622 Мбит/с. Конвертирование оптических сигналов в электрические и обратно осуществляется оборудованием ONT.

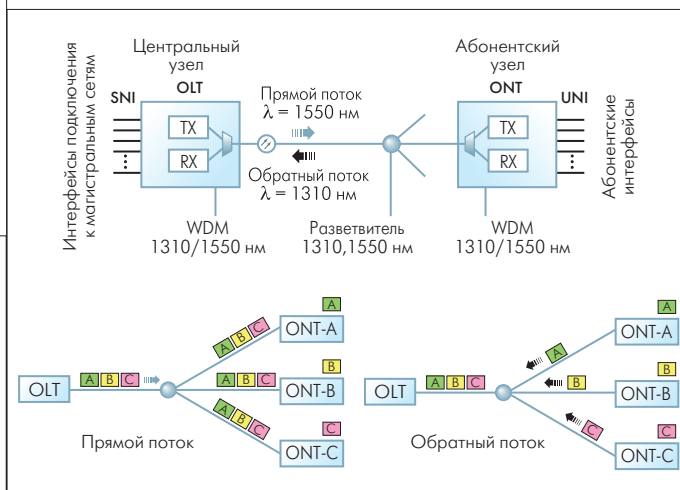


Рис. 4. Принцип работы сети PON

Один сегмент сети PON, оканчивающийся узлом разветвления, может, в соответствии со стандартом ИТУ-T G.983.x, охватить, используя, например, 5-уровневое бинарное дерево, 32 абонентских узла ($2^5=32$) в радиусе 20 км. Один абонентский узел, используя мультиплексор/демультиплексор WDM и интерфейсы UNI, способен обслужить десятки абонентов (жилой дом или офис). Предоставляемые сервисы PON на рис. 4 зависят от того, к каким сервисным сетям (ATM, SDH, Ethernet) подключен центральный узел и какие сервисные интерфейсы SNI реализованы на его входах: E (Ethernet),

FE (быстрый Ethernet), GE (гигабитный Ethernet), FXS (аналоговый интерфейс для подключения ТА к цифровому мультиплексору), E1, PAL (интерфейс стандарта цветного ТВ), DVB-ASI (асинхронный последовательный интерфейс цифрового телевизионного вещания) и др. [2].

В варианте PON на рис. 3в центральный узел используется только для управления деревом, и на него не устанавливаются интерфейсные сетевые модули (ATM, SDH, GE).

СТАНДАРТЫ И ПРОТОКОЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕТИ PON

Для сетей PON Консорциум FSAN [2] разработал ряд стандартов, описывающих протоколы взаимодействия абонентского узла с центральным узлом. Первыми были стандарты ITU-T G.983.1, описывающий A-PON (ATM PON) – сети PON на основе технологии ATM (10.98), и G.983.2, описывающий интерфейс управления и менеджмента для терминала ONT (04.00). Затем появился стандарт G.983.3, увеличивающий набор услуг и ширину используемой полосы (03.01), который трансформировался в новую версию PON – Broadband PON (B-PON) – широкополосная PON (G.983.4–G.983.10).

B-PON допускает *динамическое распределение полосы (DBA)* в зависимости от типа приложений, поддерживает магистральные интерфейсы SDH (STM-1), ATM (STM-1/4), FE, GE, SDI PAL, E1, E (10/100Base-TX) и телефонию (FXS).

Логичным развитием B-PON (в рамках стандартизации ITU-T) стала технология G-PON – Gigabit PON (03.03) – гигабитная PON (G.984.1–G.984.4), допускающая увеличение скорости до 2,5 Гбит/с, симметричный и асимметричный варианты использования прямого и обратного каналов, а также применение стандартной процедуры инкапсуляции данных GEM в полезную нагрузку.

Учитывая важность развития оптических сетей Ethernet в рамках PON-технологии, дающей возможность передавать трафик не только гигабитного Ethernet (GE), но и 10-гигабитного Ethernet (10GE), комитет стандартов IEEE создал комиссию EFM – *Ethernet на первой миле* и сформировал Альянс EFM (EFMA), разработавший соответствующий стандарт GE (скорость в сети до 1,25 Гбит/с), см. IEEE 802.3ah. Частью этой разработки стала технология E-PON – Ethernet PON. Эта технология определяется как оптоволоконная сеть, использующая волновое мультиплексирование WDM трех несущих: 1490 нм для прямого канала, 1310 нм для обратного канала и 1550 нм для дополнительных услуг (КТВ или частных каналов). Физический уровень (E-PON PMD) предусматривает интерфейсы класса 1 (расстояние до 10 км) и класса 2 (до 20 км) с одинаковыми коэффициентами разветвления 1:16.

E-PON использует стандартную архитектуру PON по схеме на рис. 3в, однако внутри дерева PON кадры Ethernet передаются без *сегментации* и *последующей сборки (SAR)* – механизма ATM, характерного для A-PON, что делает E-PON максимально близким к Ethernet IEEE 802.3.

Для организации взаимодействия центрального узла с абонентскими узлами Институт IEEE разработал *протокол многоточечного управления (MPCP)*, имеющий два режима работы: инициализации, используемого для обнаружения и регистрации новых узлов ONT, и нормального функционирования, допускающего два режима работы – стандартный метод случайного доступа CSMA/CD и полнодуплексный метод коммутации с топологией "точка-точка" (для 10GE применяется только последний метод).

мыми такими компаниями, как RAD Data Communications [4], Terawave [12], РИССА, Тералинк [11] и Зелакс в сетях доступа. Эти решения охватывают широкий спектр оборудования, устанавливаемого на последней мили для организации радиодоступа, модемного доступа по медным парам и xDSL-доступа по медным парам и оптоволокну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для "последней мили". – М.: Эко-Трендз, 1998.
2. Слепов Н.Н. Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи, компьютерных и информационных технологий. 3-е перераб. и доп. изд. – М.: Радио и связь, 2005.
3. Дмитриев С.А., Ермилов А.Л., Слепов Н.Н. Гибридные волоконно-коаксиальные сети. – В кн.: Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. – 2-е изд., перераб. и доп. Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М.: АО "ВОТ", 2005, с.535–555.
4. Истратов С. Последняя миля – решения от производителя. – Наст. номер, с.16–18.
5. RAD Data Communications. 2005 Каталог.
6. Самарин А. Современный мультиплексор для телекоммуникационных сетей. ГМ-2, ваш выход! – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №7.
7. Оливер Ибе. Сети удаленного доступа. Протоколы, проблемы, решения: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002.
8. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Последняя миля на медных кабелях. – М.: Эко-Трендз, 2001.
9. Качеров А.В., Тарасов Н.И. Что дает нормирование для обеспечения эксплуатационной надежности. – Телемультимедиа, 2005, №4.
10. Краснов В. Мистер Икс медных линий. Технологии xDSL. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2000, №2.
11. Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON. Части 1-3. – Lightwave Russian Edition, 2004, №1, с.22–28; №2, с.25-32; №3, с.21–28.
12. Ауэрбах Б. G-PON. Оптические сети доступа XXI века. – Наст. номер, с.28–31.

Статьи, опубликованные в рамках данной тематической подборки, позволяют ознакомиться с различными решениями, используе-