

Пассивный захват рынка фиксированного ШПД



Александр ГОЛЫШКО,
ведущий аналитик,
АО «НПО РусБИТех», к. т. н.

Многопользовательская оптика

Главное отличие PON от активных оптических сетей, где доставка трафика к клиентам осуществляется через активное устройство (маршрутизатор), заключается в том, что сеть доступа представляет собой «дерево», образованное рядом с оптоволокном недорогими пассивными делителями оптического сигнала (сплиттерами). Последние не требуют подведения электропитания, сложной настройки, обогреваемых шкафов, особой защиты от вандалов и т. п. Ну а вся история PON связана как с выбором сетевых технологий для доставки сигнала от центрального терминала оптической линии (OLT – Optical Line Terminal)

Речь пойдет о PON (Passive Optical Network) – пассивной оптической сети, которая относится к семейству технологий FTTX (Fiber To The X – оптика до X, где X – точка, куда заводится оптический кабель). В свою очередь все это семейство используется для экономичного охвата услугами широкополосного доступа (ШПД) больших групп абонентов. Соответственно, если кабель доведен до жилища абонента – это будет FTTH (Fiber To The Home – оптика до дома), если до здания – FTTB (Fiber To The Building – оптика до здания), FTTC (Fiber To The Curb – оптика до микрорайона или группы зданий), FTTN (Fiber To The Node – оптика до сетевого узла). Собственно, и PON теперь часто упоминается не иначе как xPON, подразумевая целое семейство технологий.

и набором удаленных абонентских терминалов ONT (Optical Network Terminal), так и с достижимыми коэффициентами деления оптического сигнала (1:32, 1:64, 1:128), от которых зависят реальное затухание в оптической линии между OLT и ONT и, соответственно, количество подключенных абонентов.

Технология появилась в конце прошлого века на волне общепринятого мнения о том, что только протокол ATM может обеспечить приемлемое качество услуг связи (QoS) между конечными абонентами. Поэтому в 1998 г. был разработан первый стандарт (рекомендация) Международного союза электросвязи (МСЭ) PON – ITU-T G.983.1, поддержанный специально созданной для продвижения PON организацией FSAN (Full Service Access Network) со скоростями передачи информации 155 Мбит/с, базирующийся на ATM и названный APON (он же ATM PON). Между тем, широко разрекламированный в 90-х гг. протокол

ATM довольно быстро уступил место семейству протоколов SDH с охватом соответствующими сетями множества объектов вплоть до мегаполисов.

В течение нескольких лет появляется множество новых поправок и рекомендаций в серии G.983.1... G.983.7, скорость передачи увеличивается до 622 Мбит/с. В APON появилась возможность динамического распределения полосы (DBA – Dynamic Bandwidth Allocation) между различными приложениями и ONU и рассчитанной на предоставление как широкополосных, так и узкополосных услуг. Оборудование APON разных производителей стало поддерживать магистральные интерфейсы: SDH (STM-1), ATM (STM-1/4), Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, видео (SDI PAL) и абонентские интерфейсы E1 (G.703), Ethernet 10/100Base-TX, телефонию (FXS).

Из-за того, что весь общий поток данных попадает в PON на все ONU, во избежание

несанкционированного доступа со стороны тех ONU, кому эти данные не адресованы, канал «вниз» шифруется. Необходимости в шифровании обратного потока нет, поскольку OLT находится у оператора. В APON была предусмотрена возможность передачи данных в прямом потоке с использованием технологии шифрования на базе открытых ключей. Позже такой же принцип унаследовали многие потомки уже сошедшего с рынка APON.

В марте 2001 г. появляется рекомендация G.983.3, закрепляющая понятие BPON (Broadband PON) и добавляющая новые возможности. В частности, стала доступной передача набора Triple Play из голоса, видео и данных, что фактически позволило производителям добавлять соответствующие интерфейсы на OLT для подключения к магистральной сети и на ONU для подключения к абонентам.

В целом, канал передачи в PON-сетях разделен на три диапазона в «окнах прозрачности»: приема – с длиной волны 1480–1580 нм, передачи – около 1280–1330 нм и телевидения – 1550 нм. Поэтому провайдер вместе с доступом в интернет, как правило, предоставляет и IPTV. Сегодня к оптическому модему (ONT) сети PON домашний ПК подключается либо по витой паре, либо по беспроводной связи (Wi-Fi). В ONT также есть порты для подключения телевизора и VoIP-телефона.

Пришествие Ethernet

В ноябре 2000 г. комитет LMSC (LAN/MAN Standards Committee) IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) создает специальную комиссию под названием «Ethernet в первой миле» EFM (Ethernet in the First Mile) IEEE 802.3ah, реализовав тем самым пожелания многих экспертов построить архитектуру сети PON, ориентированную на сети Ethernet. Аргументы

в пользу технологии EPON подкрепляются ориентацией сети интернет исключительно на протокол IP и стандарты Ethernet. Параллельно идет формирование альянса EFMA (Ethernet in the First Mile Alliance), который создается в декабре 2001 г. Фактически альянс EFMA и комиссия EFM дополняют друг друга и тесно работают над стандартом.

В 2004 г. увидел свет стандарт ITU-T G.984.x EPON (Ethernet PON), поддерживающий топологии «точка – много точек». Технология EPON работает в синхронном режиме прямого и обратного каналов 1,25 Гбит/с, использует линейное кодирование 8B/10B. Усовершенствованную технологию EPON можно встретить под названием GEPON (GE-PON), подчеркивающим скорость передачи данных 1 Гбит/с, также с опорным протоколом Ethernet.

Технология GEPON создана сотрудниками Института инженеров IEEE в кооперации с EFMA. Основой решения стал потенциал Ethernet, использованный для оригинальных разработок. В принятом стандарте поток данных передается от станции к множеству абонентов по одному оптическому волокну в формате кадров Ethernet без дополнительной обработки.

Абонентские устройства принимают широкоэвентательный трафик, обрабатывая кадры, адресованные непосредственно им. Во избежание конфликта между индивидуальными сигналами от абонентов в восходящем потоке разработчики реализовали возможности специального протокола многоточечного управления (MPCP – Multi-Point Control Protocol) для EPON.

Используемое избыточное кодирование 8B/10B отличается низкой эффективностью, поскольку снижает пропускную способность на 20%. EPON могут подключать до 64 конечных пользователей на один порт (ONU), а GEPON – до 32 пользователей. Радиус

EPON-сети достигает 30 км. Структура пассивной PON-сети представляет собой разветвление из деревьев 1×64.

GEPON функционирует в симметричном режиме, поддерживая скорость потока «станция – абоненты» и обратного в пределах 1,25 Гбит/с. Полоса пропускания используется с эффективностью менее 70%.

PON для гигабит

Архитектура конкурентной EPON/GEPON сети доступа под названием GPON (Gigabit-capable PON) является органичным продолжением технологии APON. При этом реализуется увеличение как полосы пропускания сети PON, так и эффективности передачи разнообразных мультисервисных приложений.

Стандарт GPON ITU-T Rec. G.984.3 (IEEE 802.3av) был принят в октябре 2003 г. Его реализация обеспечивает работу сети и в симметричном, и в асимметричном режимах. Чаще используется второй режим, при котором скорость передачи данных в прямом потоке достигает 2,488 Гбит/с, а в обратном – 1,244 Гбит/с (обычно говорят о 2,5 Гбит/с и 1,25 Гбит/с). В GPON используется разделение каналов «в сеть» и «из сети» по длине оптической волны светового сигнала, передаваемого по оптоволокну WDM (Wavelength Division Multiplex).

Технология GPON была разработана специалистами ITU-T SG15, поддержанными FSAN, на основе структуры цифровой иерархии SDH. Идея состоит в передаче станцией широкоэвентательного абонентского трафика по одному оптоволокну с применением временного мультиплексирования и разделения передающего/приемного тракта по длине волны. Базовым протоколом в технологии GPON стал GFP (Generic Framing Protocol), хотя используются также рекомендации TDMA, SDH, Ethernet, ATM.

Неординарным решением стала инкапсуляция потоков TDM, E1 и кадров Ethernet в формат кадров GEM, а затем кадров GTC, отправляемых абонентам.

Технология реализуется в основном по древовидной топологии 1×128 при максимальном радиусе сети до 20 км. Линейное кодирование без возврата к нулю позволило добиться высокой скорости передачи информации. Полоса пропускания используется с эффективностью более 95%.

Защита GPON

Информация в GPON шифруется по алгоритму Advanced Encryption Standard (AES) с режимом Counter Mode (CTR).

Это расширенный стандарт криптозащиты, его упрощенный механизм работы выглядит так:

- шифратор создает поток из 16-байтных псевдослучайных шифроблоков;
- входная незашифрованная информация взаимодействует с шифроблоками по заданному алгоритму, создавая закодированные блоки данных;
- на принимающей стороне по обратному алгоритму информация дешифруется.

Алгоритмы поддерживают длину ключей шифрования 128, 192 и 256 бит, которые обеспечивают от 3.4×10³⁸ вариантов. Эта система кодирования надежно защищает данные пользователя от несанкционированного доступа сторонних лиц. Основные достоинства алгоритма:

- рассеивание (diffusion) – при изменении каждого открытого знака ключа или текста меняется и большой объем шифротекста, статистические свойства открытого текста становятся неочевидными;
- перемешивание (confusion) – при кодировании данных используются специальные преобразования для усложнения расшифровки статистических зависимостей между открытым и закрытым текстами;

- надежная защита от распространенных методов взлома: Squage-атаки, дифференциального и линейного криптоанализа, интерполяции и др.;
- высокое быстродействие на разных платформах.

Байт-ориентированная структура AES открывает большие перспективы для встраивания механизма в системы будущих поколений.

На порядок выше

Благодаря своим возможностям технология GPON получила широкое распространение, особенно при организации оптоволоконных сетей доступа в интернет со стороны телефонных компаний. Однако на этом развитие технологий PON не остановилось. Изменения в телекоммуникационной отрасли обусловлены быстро меняющимися требованиями рынка связи и растущими ожиданиями абонентов.

За прошедшие годы работчики сосредоточились на разработке спецификаций для серии систем PON, обеспечивающих увеличенную пропускную способность и улучшенные возможности поддержки услуг. После доработки спецификации GPON в 2004 г., которая гарантирует пропускную способность 2,5 Гбит/с / 1,25 Гбит/с, FSAN сосредоточился на предоставлении PON с более высокой пропускной способностью.

Дальнейшим развитием GPON стала технология XG-PON (10G-PON), которая и описана в стандарте ITU G.987. Она обеспечивает увеличение скорости передачи данных – до 10 Гбит/с, меньшую задержку передачи данных по сравнению с GPON, что особенно важно для таких приложений, как онлайн-игры и передача голоса в реальном времени.

В 2010 г. была выпущена спецификация XG-PON, которая поддерживает нисходящий поток 10 Гбит/с и восходящий 2,5 Гбит/с. В 2015 г. появилась

NG-PON2 (есть подозрение, что ею же является упоминаемая в некоторых источниках технология 5GPON как пятое поколение PON – по аналогии с разрабатываемой в то же время технологии 5G для сетей мобильной связи) как настоящая архитектура следующего поколения. Используя мультиплексирование с разделением по длине волны, она обеспечивает увеличение пропускной способности до 40 Гбит/с в нисходящем и 40 Гбит/с в восходящем направлениях через несколько каналов 10 Гбит/с «вниз» / 10 Гбит/с «вверх» в единой волоконно-оптической инфраструктуре.

Новое поколение GPON

В 2016 г. была стандартизирована более простая, но гораздо менее функциональная система – симметричный XGS-PON со скоростью 10 Гбит/с. NG-PON2 предлагает поставщикам услуг значительные преимущества по сравнению с другими технологиями 10G PON: XG-PON1 и XGS-PON – это одноканальные технологии, которые совместно используют предоставленную полосу пропускания в зависимости от коэффициента разделения. Вследствие своей простоты технологии с фиксированной длиной волны обычно имеют более низкую стоимость оптики. С другой стороны, NG-PON2 – многоканальная система PON, которая не только в четыре раза увеличивает доступную емкость в волокне, но и благодаря поддержке настраиваемости модулей ONU клиентов обеспечивает дополнительные преимущества и операторам, и пользователям. К плюсам относятся повышенная производительность и доступность услуг, модель развертывания с оплатой по мере роста, защитная коммутация по длине волны, плавное обновление программного и аппаратного обеспечения в центральном офисе, возможности энергосбережения.

В результате этой гибкости и улучшенной производительности все больше поставщиков услуг внедряют NG-PON2, что поможет со временем снизить стоимость оптики. Наряду с обеспечением гибкости полосы пропускания NG-PON2 поддерживает:

- модель «оплата по мере роста», которая позволяет поставщикам услуг добавлять больше длин волн по мере необходимости;
- бесшовное обновление сервиса с использованием настраиваемой оптики;
- лямбда-связывание до 40/40 Гбит/с (80/80 Гбит/с в будущем);
- «разделение волокон», что дает возможность поставщикам услуг назначать длины волн.

Кроме того, она предоставляет конвергентную сеть, которая обеспечивает поддержку любых услуг.

Стандарт NG-PON2 дает возможность объединять сети с несколькими службами в один ODN, что способствует значительному снижению совокупной стоимости владения и в то же время позволяет внедрять новые эффективные архитектуры, адаптированные под новые потребности абонентов. Стандарт допускает использование максимум восьми длин волн, таким образом обеспечивается скорость до 80 Гбит/с. Преимущества технологии NG-PON2:

- обеспечивает симметричную скорость линии 10 Гбит/с на одну длину волны, до восьми длин волн в ODN;
- поддерживает четыре длины волны в первоначальной редакции с возможностью перехода на восемь длин волн, совместимость с технологиями GPON и XGS-PON/XG-PON1, а также настраиваемую оптику, обеспечивающую мобильность по длине волны;
- позволяет продавать пропускную способность по требованию (сколько оплатили, столько и получили).

Поддержка NG-PON2 «мобильности» длины волны дает возможность ONU видеть все длины волн в ODN и использовать перестраиваемую оптику в ONT для настройки на любую из доступных длин волн. Мобильность по длине волны позволяет поставщикам услуг создавать правила, которые определяют, как ONT могут переходить между конечными устройствами канала для обслуживания в сети PON. Это обеспечивает следующие возможности:

- коррелированное с оплатой обновление полосы пропускания (Pay-as-you-Grow);
- избыточность – ONU переключится на другую подготовленную линейную карту при сбое текущей;
- балансировка нагрузки – возможность управления пиками трафика в зонах обслуживания;
- регулировка коэффициента разделения – ONU могут быть предоставлены для перемещения на другую длину волны, эффективно снижая коэффициент разделения на одной длине волны и увеличивая коэффициент разделения на другой длине волны;
- функция защиты использует другую длину волны для аварийного переключения;
- бесперебойная работа по техническому обслуживанию и модернизациям – ONU могут быть предоставлены для перехода на другую длину волны в другой системе во время обслуживания и модернизации;
- связывание каналов – поскольку в ODN существует несколько длин волн, можно создать ONU с пропускной способностью более 10 Гбит/с с использованием нескольких длин волн, поддерживаемых в ODN;
- конвергенция услуг, когда, используя несколько длин волн, NG-PON2 дает поставщикам услуг возможность поддерживать конвергенцию услуг, помещая все их услуги в общий ODN с сепарацией разных услуг на разные длины волн,

одновременно предоставляя их разным OLT снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию благодаря обслуживанию волокон или компонентов WDM для отдельных сервисов (тренд набирает популярность по всему миру).

На сегодняшний день NG-PON2 развернут в сетях Verizon, SK Broadband, Portugal Telecom, Northpower Fibre (Новая Зеландия) и нескольких других поставщиков услуг по всему миру. Благодаря использованию технологии NGPON2 и возможности объединения сервисных сетей в один ODN значительно снижается совокупная стоимость владения. Благодаря поддержке настраиваемых ONT, NG-PON2 предоставляет провайдерам услуг возможность виртуального перемещения ONT в зоне обслуживания для обеспечения балансировки нагрузки.

Оптические рынки

Несмотря на все инновации в области xPON, именно технология GPON становится настоящим глобальным катализатором цифрового прогресса. Статистика ее развития по всему миру высвечивает внушительные тенденции и показывает, как эта технология становится краеугольным камнем мировых сетевых инфраструктур. Прогнозы говорят о том, что технология будет продолжать свой восходящий тренд в ближайшие годы, подчеркивая необходимость высокоскоростных сетей в эпоху всеобщей цифровизации.

По данным Global Market Insights (GMI) [1], на август 2023 г. мировой рынок GPON оценивался в более чем 9 млрд долл. Ожидается среднегодовой темп роста 5,2% с 2022 по 2032 гг. Сегмент оптических линейных терминалов будет расти со среднегодовым темпом роста 5,1% в течение прогнозируемого периода. В США, по прогнозам, рынок достигнет 4,1 млрд долл. при среднегодовом темпе роста 5%, рынок FTTH будет

расти со среднегодовым темпом роста 4,4%, а в Китае будет зафиксирован среднегодовой темп роста 4,6% в течение прогнозируемого периода. Ну а что может быть лучше оптического волокна для доставки интернета? Только другое оптическое волокно.

Ключевыми игроками и конкурентной средой являются Huawei, Cisco, ZTE, Nokia, Calix, FiberHome, DASAN Zhong, Allied Telesis, ADTRAN, Iskratel, Aliphion, Unizuh и др. Новые продукты и технологии позволят конечным пользователям извлечь выгоду из новых технологий. Глобальное распределение GPON включает в себя многие регионы мира. В частности, азиатско-тихоокеанский выступает в качестве лидера внедрения технологии, а такие страны, как Япония, Южная Корея и Китай, активно внедряют GPON в свои сети, стремясь обеспечить для своих граждан высокоскоростной доступ в интернет. Повлиять на это в информационную эпоху может, разве что, надвигающийся мировой экономический кризис.

GPON в России

Развитие GPON в России наиболее заметно в мегаполисах и удаленных регионах, где технология является драйвером развертывания высокоскоростных сетей доступа. Крупные города, такие как Москва, Санкт-Петербург и Екатеринбург, стали свидетелями массового внедрения GPON, обеспечивая жителей и бизнес-сектор современными и надежными сетевыми возможностями. Рынок услуг ШПД в частном секторе сейчас на подъеме, и тому есть несколько причин. Уверенно растет количество жителей в частных домах. В большинстве случаев строительство частного дома обходится дешевле покупки квартиры, и многие меняют свое основное жилье, переезжая за город.

За последние несколько лет существенно снизились цены на оборудование для сетей

по технологиям PON, и подключение частного дома «по оптике» стало в несколько раз дешевле. Технологии «ADSL со товарищи» неумолимо устаревают, их скорости и возможности уже не способны удовлетворить потребности абонентов.

Одним из наиболее внушительных показателей успеха технологии GPON в России является неуклонный рост ее абонентской базы. Собственно, другого было бы сложно ожидать, если GPON покрывает текущие потребности большинства абонентов в интернет-трафике. Согласно последним данным Минкомсвязи России, в конце 2022 г. количество абонентов, подключенных к сетям GPON, превысило 11 млн квартир/домов.

Одним из ключевых участников отечественного рынка GPON является оператор связи «Ростелеком». На конец 2022 г. «Ростелеком» официально объявил, что более 4,5 млн пользователей подключены к их GPON-сетям. Данный показатель подчеркивает стратегическую роль оператора в предоставлении высокоскоростного интернета. Еще один крупный игрок в сфере GPON в России – МТС, оператор с широкой географической основой. Согласно данным, более 3 млн абонентов МТС находятся в зоне обслуживания GPON. Это свидетельствует о том, что технология успешно проникает в разные регионы страны, предоставляя пользователям выдающиеся возможности цифрового взаимодействия. Динамика GPON ставит в центр внимания и других операторов связи, стимулируя их к активному развертыванию оптических сетей.

Конкуренция в данной области создает благоприятную среду для потребителей, которые могут выбирать среди различных предложений и тарифов, поощряя операторов к дальнейшему улучшению качества услуг. Статистические данные касательно многомиллионной абонентской базы GPON в России не только отражают успешное внедрение

технологии, но и подчеркивают ее важность в повседневной жизни миллионов россиян. Это также служит стимулом для дальнейшего развития и инноваций в области связи и интернета.

GPON стал неотъемлемой частью стратегии развития ШПД в интернете по всей стране. Государственные программы, например, «Цифровая экономика России», «Ликвидация цифрового неравенства» являются механизмами для реализации этой стратегии.

GPON также внедряется в корпоративные сети, предоставляя бизнес-сектору высокоскоростные и эффективные решения для передачи данных. Особенно важным это оказалось при организации удаленной работы.

Заключение

Как уже было отмечено, одним из ключевых трендов развития GPON является стремление к дополнительному увеличению скорости передачи данных. Новые стандарты, такие как XGS-PON и 10G-PON, предоставляют возможность достижения скоростей в 10 Гбит/с, открывая двери для более высокопроизводительных приложений, виртуальной реальности и облачных сервисов.

GPON продолжает наращивать присутствие в промышленности, «умных» городах, здравоохранении. Перспективы использования в промышленных сетях предвещают новые уровни автоматизации, мониторинга и управления. Это важно для таких секторов, как производство, энергетика и транспорт, где высокоскоростные сети становятся ключевым элементом технологического развития. В целом, GPON продолжает занимать центральное место в эволюции сетевых технологий благодаря оптимальному соотношению цена/услуга. ■

Использованные источники:

[<https://44mm.ru/blog/tekhnicheskie-stati/globalnyy-vzglyad-na-tehnologiyu-gpon/>]