

## СЕТЬ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ETHERNET FTTH, PON

Г. В. Попков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
630090, Новосибирск, Россия

---

УДК 004.9

Рассмотрены технологии создания пакетной сети абонентского доступа (САД) с использованием технологий Ethernet FTTH, а также сети passive optical network (PON). Обе архитектуры широко используются сервис-провайдерами при построении сетей САД. Проведено сравнение технологий, рассмотрены преимущества, недостатки, перспективы развития.

**Ключевые слова:** сети абонентского доступа, Ethernet, ETTH, FTTH, PON, сети связи.

In article technologies for creation of a package network of user's access with use of technologies Ethernet FTTH and as networks (passive optical network) PON, both architecture are popular for construction of networks the user's access providers used service are considered. Comparison of technologies, advantages, lacks, development prospects is resulted.

**Key words:** user access network, Ethernet ETTH, Ethernet FTTH, PON, communication networks.

**Введение.** Современные направления развития так называемой последней мили заключаются в предоставлении в кратчайшее время наибольшего количества телекоммуникационных услуг абонентам. Преимущество имеют надежные сети связи, удобные в инсталляции, с достаточно низкой себестоимостью реализации.

В настоящее время широко распространены подключения абонентов к каналам связи класса xDSL, осуществляемые посредством телефонной сети общего пользования (ТФОП), имеющейся во всех населенных пунктах. Провайдеры классической фиксированной телефонии активно используют эти сети, что обусловлено малой стоимостью подключения абонента. Очевидным недостатком такого типа подключения является ограничение скорости передачи данных до 54 Мбит/с.

Ряд интернет-провайдеров, не имеющих собственных медных сетей связи, начали активно развивать сети класса Ethernet to the home (ETTH), причем на магистральных участках используется оптический кабель, а на участках от абонентского концентратора до квартиры или офиса пользователя — симметричная витая пара UTP. На отдельных участках провайдеры используют первичные линии связи и сеть кабельной канализации провайдера ТФОП города или села. В случае невозможности использования ресурсов традиционных провайдеров применяется подвеска или прокладка по крышам домов с использованием специальных типов самонесущих оптических и UTP-кабелей.

Такой подход не гарантирует вандалоустойчивость подобных сетей связи, а значит, надежность и готовность к передаче данных. Безусловным преимуществом развертывания сетей ETTH является адресность предоставления услуг связи абонентам. Одним из преимуществ является хорошее масштабирование подобных сетей. К числу недостатков следует

отнести работу сети на уровне Ethernet со всеми присущими этому стеку протоколов недостатками.

Правильная реализация данной архитектуры сети заключается в эволюции самой технологии по принципу Ethernet to the home (ЕТТН) — Fiber to the building (FTTB) — Fiber to the home (FTTH), т. е. в доведении оптического малогабаритного кабеля до здания, квартиры, офиса абонента [1].

**Архитектура сетей Ethernet FTTH, PON.** Практика построения оптических сетей существует в течение длительного времени, однако классический подход к построению оптических сетей основан на применении активного оборудования от узла доступа к абоненту (усилителей, коммутаторов и т. д.), причем с увеличением количества активных элементов наблюдаются удорожание сети и уменьшение ее надежности.

При использовании архитектуры на базе пассивной оптической сети (passive optical network (PON)) для развертывания сетей FTTH оптоволоконная линия распределяется по абонентам с помощью пассивных оптических разветвителей с коэффициентом разветвления от 1:4 до 1:128.

Архитектура FTTH на базе PON обычно поддерживает протокол Ethernet. В некоторых случаях используется дополнительная длина волны нисходящего потока (downstream), что позволяет предоставлять пользователям традиционные аналоговые и цифровые телевизионные услуги без применения телевизионных приставок с поддержкой IP.

В типичной пассивной оптической сети PON используются различные терминаторы оптической сети (optical network termination (ONT)) или устройства оптической сети (optical network unit (ONU)). ONT предназначены для использования отдельным конечным пользователем. Устройства ONU обычно располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и используются совместно группой пользователей. Голосовые сервисы, а также услуги передачи данных и видео доводятся от ONU или ONT до абонента по кабелям, проложенным в помещении абонента.

В настоящее время существует три различных стандарта сети PON. Параметры полосы пропускания характеризуют совокупную скорость передачи данных в нисходящем и восходящем потоках. В зависимости от плана развертывания эта скорость делится между 16, 32, 64 или 128 абонентами.

Архитектура BPON — традиционная технология, которая в настоящее время еще применяется некоторыми провайдерами в США, но быстро вытесняется другими архитектурами. Если стандарт EPON был разработан с целью снижения стоимости путем использования технологии Gigabit Ethernet, то архитектура GPON разрабатывалась для обеспечения более высокой скорости передачи данных нисходящего потока, уменьшения накладных расходов и обеспечения возможности передачи трафика ATM и TDM. Несмотря на дополнительную поддержку старых протоколов, на практике эта возможность пока используется редко. Обычно архитектура GPON применяется в качестве транспортной платформы Ethernet.

Рассмотрим преимущества и недостатки PON-архитектуры. По мнению провайдеров, развертывающих сеть доступа на базе PON-архитектуры вместо оптоволоконных сетей с топологией точка — точка (P2P FTTH), существует три основных преимущества, которые, однако, не всегда могут служить критериями выбора.

Наиболее существенным аспектом развертывания сетей FTTH на базе PON является экономия оптоволоконных линий на участке от оптических разветвителей до центральной АТС или точки доступа. Если у провайдера имеются резервные оптические пары в кабеле или места в колодцах для прокладки дополнительных кабелей между АТС и уличным шкафом,

то это может избавить его от необходимости рыть новые траншеи. Однако опыт показывает, что доступность оптоволоконной инфраструктуры нередко переоценивается. Это приводит к большему, чем планировалось, объему земляных работ в будущем.

При использовании воздушных линий существуют естественные ограничения на протяженность оптоволоконного кабеля между столбами, что является одной из причин развертывания сетей EPON в Японии. При отсутствии инфраструктуры или развертывании сети в новых районах экономия оптоволоконного кабеля нецелесообразна, поскольку предельные затраты на дополнительный кабель пренебрежимо малы по сравнению со стоимостью рытья траншей или необходимостью получения права на пользование чужой инфраструктурой, например канализационными коллекторами.

Существенную экономию можно получить за счет использования портов на центральной АТС или в точке доступа, где выполняется агрегирование потоков.

Во-первых, в топологии точка — точка для каждого абонента используется выделенный оптический интерфейс, что приводит к значительному увеличению стоимости данной архитектуры по сравнению с архитектурой, в которой порты используются совместно большим числом абонентов. Однако опыт реализации большого числа проектов показал, что выделенные Ethernet-порты могут конкурировать с портами PON вследствие высокой стоимости последних. Стоимость портов Ethernet весьма невысока из-за большого объема производства таких портов для корпоративных сетей и сетей провайдеров, в то время как порты GPON используются только для данной технологии и выпускаются в существенно меньшем количестве.

Во-вторых, если предположить наличие 100 %-й подписки на сервис FTTH, то для точки присутствия сети на базе PON потребуется объем оборудования, на 50 % меньший, чем для сети Ethernet FTTH. В то же время, если учесть реальный процент подписки на сервисы, то различие стирается. Это обусловлено тем, что для первого же абонента сети на базе PON потребуется порт терминирования оптической линии (OLT), поэтому количество портов OLT нельзя уменьшить вследствие низкого процента подписки на сервисы.

В-третьих, обслуживание большого числа оптоволоконных линий представляется очень сложной задачей, если отсутствуют новейшие оптические распределительные стойки, которые позволяют строить точки присутствия с несколькими тысячами оптоволоконных линий, идущих от линейных сооружений. В настоящее время такие узлы разворачиваются в Европе в сетях FTTH с использованием архитектуры точка — точка (P2P FTTH).

Поскольку PON, по сути, является широкополосной средой, ряд провайдеров считают ее перспективной для цифрового телевидения, что позволяет использовать коаксиальную разводку у абонента для передачи аналогового или цифрового телевизионного сигнала.

Широкое распространение получило добавление второй оптоволоконной линии к топологии P2P FTTH точка — точка. В настоящее время провайдеры развертывают гибридные архитектуры, использующие топологию точка — точка для всех интерактивных услуг включая IP-телевидение и топологию с наложением дополнительной пассивной оптической сети для распространения IP-телевидения. Такую структуру можно затем оптимизировать для большего числа абонентов, чем при использовании сети PON для оказания интерактивных услуг.

PON-архитектура обладает рядом недостатков. При развертывании архитектуры пассивной оптической сети возникает ряд проблем, в первую очередь — полоса пропускания, которая кратно уменьшается в дереве оптоволоконных линий сети PON. Однако провайдеры используют такую архитектуру для подключения максимально возможного числа абонентов, что позволяет получить прибыль за счет снижения затрат на каждого абонента.

Несмотря на то что технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, она не соответствует количеству услуг и требованиям абонентов в долгосрочной перспективе, поскольку потребности в пропускной способности растут экспоненциально. Более того, некоторую часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг (например, IPTV), что приводит к сокращению общей полосы пропускания.

PON является технологией с общей средой передачи. В этом случае необходимо шифрование всех потоков данных, передаваемых в PON [2].

В технологии GPON организовано шифрование только нисходящего потока, а использование надежного усовершенствованного стандарта шифрования (advance encryption standard (AES)) с 256-разрядными ключами позволяет повысить безопасность личной информации конечных пользователей и предоставляет провайдерам возможность предотвратить хищение услуг. Обеспечение надежности за счет использования стандарта AES приводит к снижению производительности. Для шифрования необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом, что может привести к значительному уменьшению полезной скорости передачи данных в PON.

Коммерческие организации, предъявляющие повышенные требования к конфиденциальности (например, финансовые учреждения), обычно категорически отвергают возможность подключения к любой общественной передающей среде даже при наличии шифрования канала связи, поскольку не существует гарантии сохранения секретности кода.

Вследствие использования общей передающей среды в пассивных оптических сетях PON каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать со скоростью, равной совокупной скорости передачи данных. Даже если клиент заплатил только за 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в этом дереве PON должна работать со скоростью, равной 2,5 Гбит/с (GPON). Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз превышающей необходимую скорость передачи данных, обуславливает увеличение цены компонентов, особенно если объемы производства не очень велики.

Для данной архитектуры необходима большая мощность лазера, поскольку энергетический потенциал линии связи уменьшается на 3,4 дБ при каждом разветвлении в соотношении 1:2. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (что эквивалентно отношению мощностей, равному 110). Таким образом, в данной модели все оптические передатчики в архитектуре PON должны обеспечивать мощность оптического сигнала, в 110 раз большую по сравнению с архитектурой FTTH точка — точка при передаче на то же расстояние.

Отделение абонентских линий (local loop unbundling (LLU)) — метод, в настоящее время применяемый за рубежом в обязательном порядке в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Такой подход позволил значительно увеличить предложение на рынке услуг DSL и снизить цены на услуги широкополосного доступа для абонентов за счет конкуренции провайдеров.

Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку для подключения группы абонентов имеется лишь одна оптоволоконная линия, которая может быть разделена только на логическом, но не на физическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU). В Европе большинство новых сетей FTTH предполагают различные формы отделения абонентских

линий, что открывает новые возможности для бизнеса, хотя и не является обязательным для исполнения требованием регулятора.

Теоретически можно повысить гибкость переключения клиентов между оптическими разветвителями PON за счет комбинирования разветвителя с оптическим кроссом в распределительном шкафу участка. Эта функция используется в том случае, когда трудно предсказать процент подписки абонентов на сервисы, например при очень большой застройке, и необходимо выполнять требования отделения абонентских линий. В этом случае распределительный шкаф участка содержит разветвитель обслуживаемого сервис-провайдера и соответствующие линии передачи, идущие к точке присутствия. Однако такая гибкость приводит к увеличению затрат на поддержку оптического распределительного узла на участке и текущих расходов. При каждом переключении абонента потребуются услуги специалиста для коммутации оптоволоконных линий в каждой точке доступа.

Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. В случае пассивной оптической сети эти оптоволоконные линии затем подключаются к разветвителям и стягиваются фидерным оптическим кабелем к центральной АТС или точке доступа. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий.

При развертывании услуг для частных абонентов провайдеры редко достигают 100 %-й подписки. Обычно этот показатель близок к 30 %. Это означает, что структура PON-сети используется неоптимально, а стоимость оборудования OLT для каждого абонента значительно возрастает. Одним из решений этой проблемы является использование удаленных оптических распределительных узлов, что предполагает дополнительные затраты, которые обычно не компенсируются улучшением загрузки пассивной оптической сети PON [3].

Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому с помощью обычного оптического временного рефлектометра (OTDR) очень сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминации оптической сети (ONT) абонента. Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию.

При повреждении точки терминации оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой пассивной оптической сети, причем найти поврежденное устройство очень сложно. Даже если удастся предотвратить такое повреждение с помощью какой-либо схемы защиты, эта проблема может возникнуть вследствие действий злоумышленника, который может прервать работу всей системы связи в дереве путем передачи в него непрерывного светового сигнала.

Оборудование PON необходимо периодически обновлять за счет использования новой технологии, обеспечивающей большую полосу пропускания. Организации IEEE и ITU-T работают над стандартизацией требований для пассивных оптических сетей следующего поколения со скоростью передачи данных 10 Гбит/с PON. Вероятнее всего, эти решения не будут обратнсовместимы с существующими технологиями PON (GPON или EPON). В этом случае возможны два способа миграции от одной технологии PON к другой.

1. Полностью вывести из сервиса оптическое дерево, заменить все оконечные устройства, а затем вернуть структуру в эксплуатацию. Поскольку точки терминации оптической сети (ONT) обычно расположены на территории абонента, к которой у сервис-провайдера нет

прямого доступа, этот процесс миграции может вызвать организационные проблемы и стать весьма трудоемким.

2. Использовать уплотнение с разделением по длине волны, чтобы реализовать новую технологию PON с помощью тех же оптоволоконных линий, но на другой длине волны. Поскольку используемые в настоящее время приемники PON не поддерживают избирательность по длине волны, перед началом миграции необходимо на всех оконечных устройствах установить фильтры длины волны.

Решение Ethernet FTTH имеет большое количество преимуществ по сравнению с архитектурой на базе PON. Прежде всего это практически неограниченная дискретная полоса пропускания. Прямая оптоволоконная линия может обеспечить практически неограниченную полосу пропускания, что позволяет достичь максимальной гибкости при развертывании сервиса в будущем, когда потребность в пропускной способности возрастет.

Архитектура Ethernet FTTH позволяет провайдеру гарантировать каждому абоненту необходимую пропускную способность и создавать в сети профили полосы пропускания для каждого клиента индивидуально. Каждый частный или корпоративный пользователь может в любой момент получить симметричную полосу пропускания любой необходимой ширины.

В типовых конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH применяются недорогие одноволоконные линии, использующие технологию 100BX или 1000BX с заданным максимальным радиусом действия 10 км. Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые можно подключить к порту любого Ethernet-оборудования.

Обычно использовать порты на коммутаторе доступа Ethernet FTTH могут только абоненты, оформившие подписку у провайдера. В случае появления новых абонентов можно добавить дополнительные линейные карты Ethernet с высокой степенью модульности. Напротив, при использовании архитектуры на базе PON подключение первого абонента к оптическому дереву требует наличия наиболее дорогостоящего порта OLT, а при добавлении абонентов к тому же дереву PON стоимость подключения каждого абонента увеличивается за счет приобретения ONT.

Таким образом, текущие конфигурации Ethernet FTTH могут использовать технологию Gigabit Ethernet, которая может стать неактуальной в течение последующих 30-40 лет. Однако одномодовая оптоволоконная линия является средой, способной поддерживать любую новую технологию передачи. Более того, в отдельных случаях для подключения корпоративных абонентов используются оптоволоконные технологии, например SONET/SDH или Fibre Channel. Эти технологии могут быть легко развернуты по тем же оптоволоконным линиям, что и Ethernet FTTH, а во многих случаях — с использованием той же Ethernet-платформы агрегирования.

Поскольку одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, нетрудно увеличить скорость для одного абонента, не оказывая влияния на работу других. Это означает, например, что абонент, использующий в настоящее время технологию Fast Ethernet, в следующем году может перейти на Gigabit Ethernet за счет простого переключения оптоволоконной линии абонента на другой порт коммутатора и замены только Ethernet-устройства в помещении абонента. Это изменение не повлияет на работу остальных абонентов сетей доступа Ethernet FTTH.

На сегодняшний день выделенная оптоволоконная линия является наиболее защищенной средой (на физическом уровне), особенно по сравнению с общими передающими средами. Кроме того, коммутаторы Ethernet, используемые в средах сервис-провайдеров, должны

обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов, при этом они имеют большое количество надежных функций защиты, способных предотвратить практически все попытки вторжений.

Архитектура Ethernet FTTH предполагает использование на территории абонента простых устройств подключения к сети (customer premise equipment (CPE)), обладающих достаточной функциональностью для обеспечения связи с сетью доступа и доставки всего спектра услуг каждому абоненту. Эти устройства Ethernet CPE стоят очень недорого и обычно размещаются в квартирах или домах абонентов.

Для провайдеров, рассматривающих возможность развертывания сетей FTTH, большое значение имеют затраты на эксплуатацию наряду с капитальными затратами на приобретение и развертывание оптоволоконных линий и оборудования. В настоящее время отсутствует достаточное количество данных для непосредственного сравнения архитектур по этому параметру, однако очевидно, что затраты на эксплуатацию сетей Ethernet FTTH в топологии точка — точка ниже затрат на эксплуатацию сетей с архитектурой PON FTTH.

Большое влияние на работу подобной сети оказывает обрыв кабеля вследствие строительных работ. При эксплуатации сети Ethernet наихудшим вариантом является обрыв большого кабеля с несколькими сотнями оптоволоконных линий вблизи точки доступа или АТС. В подобных случаях для восстановления кабеля потребуется значительно больше времени, чем для восстановления кабеля, передающего трафик PON, поскольку в нем значительно меньше линий. Такая ситуация характерна и для используемых в настоящее время медных сетей, которые также имеют топологию точка — точка. Подобные аварийные ситуации возникают очень редко. Кроме того, опасность их возникновения можно уменьшить, распределив трафик по большему числу кабелей меньшего размера, которые могут быть размещены на большей площади. Таким образом, при повреждении одного кабеля пострадает относительно небольшое число абонентов.

Необходимо определить также соотношение оптоволоконных кабелей, составляющих передающую часть, и кабелей, образующих кабельную инфраструктуру на границе с абонентом. В большинстве конфигураций граничная часть распределена по очень большой площади, что обуславливает большую вероятность повреждения кабеля. С точки зрения топологии в этой части сети доступа существенное различие между архитектурами отсутствует. Однако поиск и устранение неисправностей в этой зоне представляет большую сложность для архитектуры на базе пассивной оптической сети PON, поскольку измерения с использованием оптического временного рефлектометра в сети PON затруднены вследствие присутствия оптических разветвителей [4].

**Перспективы развития.** Развертываемые в настоящее время оптоволоконные сети доступа базируются на различных архитектурах и технологиях. Тщательно продуманные стандарты для этих технологий и доступность необходимого оборудования обуславливают развертывание сетей провайдеров без значительного риска. Успешность деятельности интернет-провайдеров является стимулом для динамичного развития этой отрасли. Можно предположить, что конкурентное давление со стороны сетей такого типа будет стимулировать крупных операторов связи инвестировать средства в оптоволоконные сети доступа.

Многие крупные традиционные операторы внедряют технологии пассивной оптической сети (PON), что, как правило, обусловлено уже существующей инфраструктурой, консолидацией, потенциальным сокращением количества точек присутствия и прогнозируемым большим процентом подписки абонентов на многие сервисы. Например, в Японии и Южной Корее наиболее широко распространенной является архитектура EPON, что обусловлено

использованием в этих странах преимущественно воздушных линий, имеющих ограничения на размер развертываемого кабеля.

В других регионах, в частности в Европе, в основном используются конфигурации на базе Ethernet FTTH по топологии точка — точка, а также небольшое количество более ранних конфигураций Ethernet-сервисов с топологией “кольцо”. В настоящее время архитектуры на базе PON получили незначительное распространение в Европе, поскольку большая часть европейских проектов FTTH осуществляется муниципалитетами, коммунальными службами и жилищными кооперативами. Основными преимуществами большинства конфигураций Ethernet FTTH являются гибкость бизнес-модели и способность поддерживать будущие сервисы.

Развертывание оптоволоконных линий связи в жилых районах обусловлено огромными инвестициями, которые будут приносить прибыль в течение следующих 30-40 лет. Любая схема развертывания сети FTTH имеет достоинства, однако велик риск того, что экономия в краткосрочной перспективе на вложениях в оптоволоконную инфраструктуру при использовании архитектуры FTTH на базе PON может существенно ограничить использование дорогостоящей оптоволоконной инфраструктуры в будущем, если не будут осуществлены дополнительные инвестиции. В целом речь идет не об использовании сетей FTTH, а только о том, когда и насколько быстро они будут развертываться.

**Заключение.** В последнее время усиливаются тенденции к персонализации получения данных для пользователей широкополосных сетей связи и повышению надежности подобных сетей. В связи с этим расширяется сфера использования сетей Ethernet FTTH, PON. Эти архитектуры, несмотря на указанные в работе недостатки, представляют большой интерес для сервис-провайдеров и имеют перспективы развития, так как позволяют персонализировать услуги и предоставляют широкие возможности по расширению полосы пропускания и доставке всевозможной информации включая передачу голоса и трансляцию видеоконтента высокого качества, а также организацию интерактивных управляемых услуг, что приобретает большую популярность в последнее время.

## Список литературы

1. Гринфилд Д. Оптические сети. М.: Диасофт, 2002.
2. СЕМЕНОВ Ю. В. Проектирование сетей связи. СПб.: Гипросвязь, 2005.
3. КУЧЕРЯВЫЙ А. Е. Пакетная сеть связи общего пользования / А. Е. Кучерявый, Л. З. Гильченок, А. Ю. Иванов. СПб.: Наука и техника, 2004.
4. АЛЕКСАНДЕР Б. Руководство по технологиям объединенных сетей Cisco. 4-е изд. / Б. Александер, Т. Аллен, М. Карлинг и др. М.: Вильямс, 2005.
5. MARTIN T. Fiber To The Home [Электронный ресурс]. 2007. Режим доступа: [http://www.cisco.com/web/HR/expo08/pdf/Thomas\\_Martin\\_Fiber\\_To\\_The\\_Home.pdf](http://www.cisco.com/web/HR/expo08/pdf/Thomas_Martin_Fiber_To_The_Home.pdf).

*Попков Глеб Владимирович — канд. техн. наук, науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; тел. (383) 330-96-43; e-mail: glebpopkov@rambler.ru*

Дата поступления — 12.09.11 г.