



Желько Попович

АО Эрикссон Никола Тесла, г. Загреб, Хорватия
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

NEXT GENERATION OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS

Резюме

Оптическая сеть технологии GPON (Gigabit Passive Optical Network) в настоящем моменте является самой быстро наращиваемой технологией доступа имеющейся на рынке. В настоящем докладе описывается действительное состояние и будущие возможности системы GPON. Эволюция и стандартизация системы GPON предоставляет много новых возможностей, которые будут поддерживать будущие широкополосные сети доступа и услуги. Миграцию будет возможно планировкой волновых длин, допуская сосуществование нескольких систем GPON или сосуществование имеющейся систем GPON и 10G GPON на одной и той же оптической распределительной сети. Большинство специалистов согласны в том, что в недалеком будущем сети доступа будут базированные на Мультиплексировании с разделением по длине волны (WDM). Также, они будут обеспечивать новые поколения оптических широкополосных систем доступов. Следующее поколение технологии пассивных оптических сетей разрабатывается на Эрикссон (PON – Passive Optical Network), в том числе 10G GPON и WDM-PON.

Abstract

Gigabit Passive Optical Network (GPON) is currently one of the fastest access technologies to attract market interest. This paper describes the current status and future possibilities with GPON. The GPON evolution and standardization offers many new capabilities that will support broadband access networks and services for the future. Migration will be enabled by wavelength planning allowing for co-existence of multiple GPONs and/or 10G GPONs in the same optical distribution network. In the near future, it is in general agreed that WDM based access networks will be enabling the next-generation optical broadband access. Currently, Ericsson is developing the next generation PON technologies, such as 10G GPON and WDM-PON.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:	KEY WORDS:
Гигабитные пассивные оптические сети (GPON)	Gigabit Passive Optical Network (GPON)
Мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM)	Wavelength-division multiplexing (WDM)
Следующее поколение системы PON (NG-PON)	Next generation PON (NG-PON)

1 Введение

По оценкам, сегодня нужды частых пользователей в обмене данными со скоростью 100 Мбит/с на входящем направлении (англ. downstream) и 30 Мбит/с в исходящем направлении возникают вследствие услуг стандарта triple play, * которая объединяет передачу речи, данных и видео.

Новые услуги, в том числе, видео по запросу (VoD), интерактивное IPTV, HDTV (High Definition Television), 3DTV, видео конференцсвязь нескольких участников, телемедицина и остальные приложения, которые требуют значительную емкость, наверно будут главными двигателями развития следующего поколения сетей доступа, которые могут удовлетворить наращиваемым требованиям к скорости передачи. Совсем реальными и являются оценки, что в недалеком будущем, требуемая скорость на хозяйство составит 1 Гбит/с.

Кроме того, наращивают и требования к симметричности (входящего и исходящего направлений передачи).

Сегодня, большинство задействованных решений на широкополосные сети доступа относятся на сети, основывающиеся на цифровой абонентской линии (DSL) и кабельной ТВ (CATV). Все-таки обе указанные технологии имеют ограничения потому что, базируются на инфраструктуре которая, в первую очередь, предназначена передаче речи и аналогового ТВ сигнала.

Учитывая ограничения существующей сегодня медной пары, нет возможности всем парам в одном кабеле присвоить какую то технологию DSL, потому, что в такой ситуации взаимно побочные эффекты (переходные явления) между парами будут слишком большими, дополнительно ограничивая диапазон и качество передачи. Тем не менее, из-за насыщения, всем абонентам не предоставляется одинаковое качество услуги широкополосного доступа в Интернет и IPTV, и отдельные медные пары и дополнительно ограничить диапазон и качество передачи. Кроме того, из-за насыщения, всем пользователям не предоставляется одинаковое качество услуги широкополосного доступа в Интернет и IPTV, и отдельные медные пары даже и не поддерживают указанные выше услуги.

В предстоящий период можно ожидать вклад операторов в оптическую инфраструктуру доступа, чтобы удовлетворить требованиям пользователей и предоставить широкий диапазон услуг, а именно систему многоканальной передачи HDTV сигнала, видео по запросу и видеоконференцсвязь а также и услуги передачи речи по протоколу IP (VoIP).

По прогнозам, в ближайшие несколько лет, гораздо увеличится количество пассивных оптических сетей (PON) с преобладающей системой GPON (Gigabit Passive Optical Network) в качестве оптической технологии доступа. Остальные технологии, в том числе BPON (широкополосный PON) и EPON (Ethernet PON) на следующих годах будут присутствовать на рынке, но их наращивание будет гораздо меньше (рисунок 1).

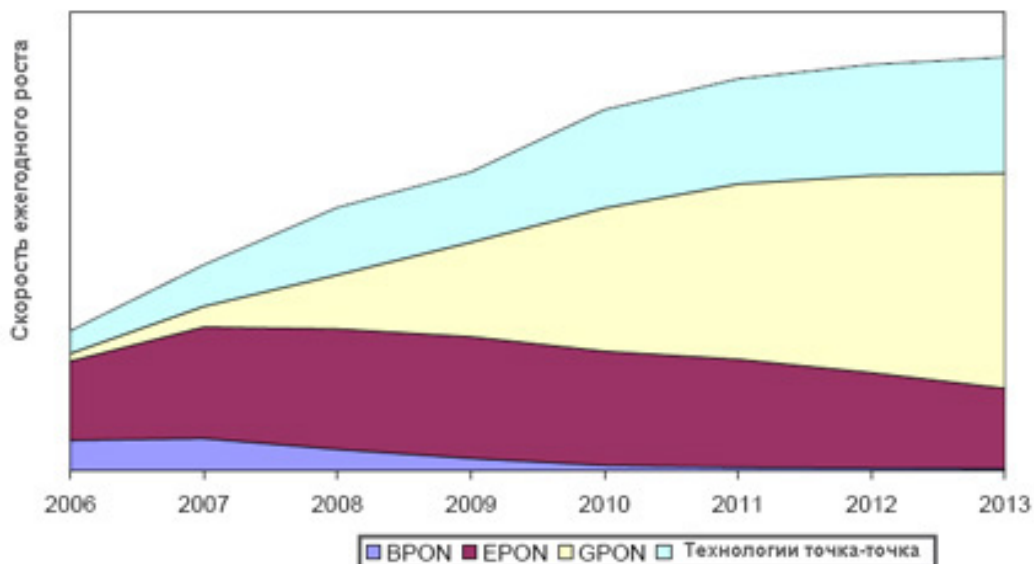


Рисунок 1: Прогноз роста разных оптических технологий доступа

Принятие технологии GPON в силу следующих причин:

- » GPON поддерживает самые большие скорости передачи и широкий диапазон приложений и услуг, и считается особенно удобным для видео и ТВ услуги.
- » GPON применяется в разных сетевых архитектурах: в комбинации с VDSL2 (Very high speed Digital Subscriber Line 2) в архитектуре FTTC (оптика до микрорайона) или в архитектуре FTTH (оптика до дома) для абонентского доступа.

Тем не менее, и существующие оптические сети доступа имеют ограничения в плане гарантированной полосы пропускания и качества обслуживания, так и в обозримом будущем не сможет удовлетворить растущим требованиям к мощности, необходимой для предстоящих услуг. Поэтому, важно определить простые и эффективные пути эволюции для существующих систем PON без существенных изменений в установленной оптоволоконной инфраструктуре.

Решение GPON от Эрикссон является неотъемлемой частью полной архитектуры широкополосных услуг, которая предназначена для удовлетворения потребностей конвергенции из фиксированной и мобильной связи и, сетей следующего поколения предназначенных для жилых районов и бизнес сегментов.

Развитие и стандартизация системы GPON предоставляет новые возможности для будущих широкополосных сетей доступа и услуг. Следующим шагом в эволюции GPON является увеличение скорости передачи от имеющейся 2,5 Гбит/с до 10 Гбит/с на входящем направлении и с 1,2 Гбит/с до 2,5 Гбит/с в исходящем направлении. Миграция позволила планирования длин волн, что позволяет сосуществование нескольких систем GPON, или существующих систем GPON и системы 10G GPON в той же оптической сети распределения.

Многие операторы и производители оборудования считают, что долгосрочно технология WDM-PON(Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network) будет, самой подходящей технологией для пассивных оптических сетей, так как топология сети PON поддерживает логические связи точка-точка. Технология WDM-PON имеет большие преимущества относительно скорости передачи, гибкости и безопасности, но все таки, из-за большей стоимости относительно GPON, сегодня на рынке есть небольшое количество задействованных систем. Проводятся интенсивные исследования и разработки оптических компонентов, в результате чего, гораздо уменьшится цена и издержки систем WDM-PON.

Все больше и больше операторов обсуждает сегодня консолидацию центральных телефонных станций, ЦТС, (англ-Central Office), и понижение их количества на сети доступа. Таким образом, гораздо понижаются оперативные издержки (ОРЕХ)и упрощается сеть доступа. Также, присутствуют и многие активности по развитию расширения диапазона существующих сетях GPON.

2 Характеристики сетей PON

Общей характеристикой пассивных, оптических сетей является отсутствие активных компонент в распределительной сети. Оптический линейный терминал OLT, является активным компонентом, расположенным в центральном офисе (CO), в то время как на стороне абонента оптические абонентские терминалы, (ONU- eng. оптическое сетевое устройство) или оптические сетевые терминалы (ONT – Англ. оптической сети Терминал).

Главным преимуществом использования пассивных оптических сетей перед оптическими каналами связи точка - точка, является экономия при постройке кабельной инфраструктуры потому, что использование PON уменьшает необходимое количество оптических волокон. Мощность сигналов, передаваемых в направлении конечных пользователей, состоится в соотношении 1:N, где N есть количество конечных пользователей, подключенных к пассивному оптическому распределителю сигналов (passive optical splitter). Оптические распределители могут располагаться у OLT или ближе конечным пользователям, в зависимости от наличия оптической инфраструктуры или

от стратегии оператора относительно внедрения системы PON. В общем, пассивные оптические сети основываются на три сетевых топологий: оптика в дом (FTTH -Fiber To The Home), волокно до здания (FTTB -Fiber To The Building) и оптика до микрорайона FTTC (Fiber To The Curb). Архитектура системы PON показана на рисунке 2.

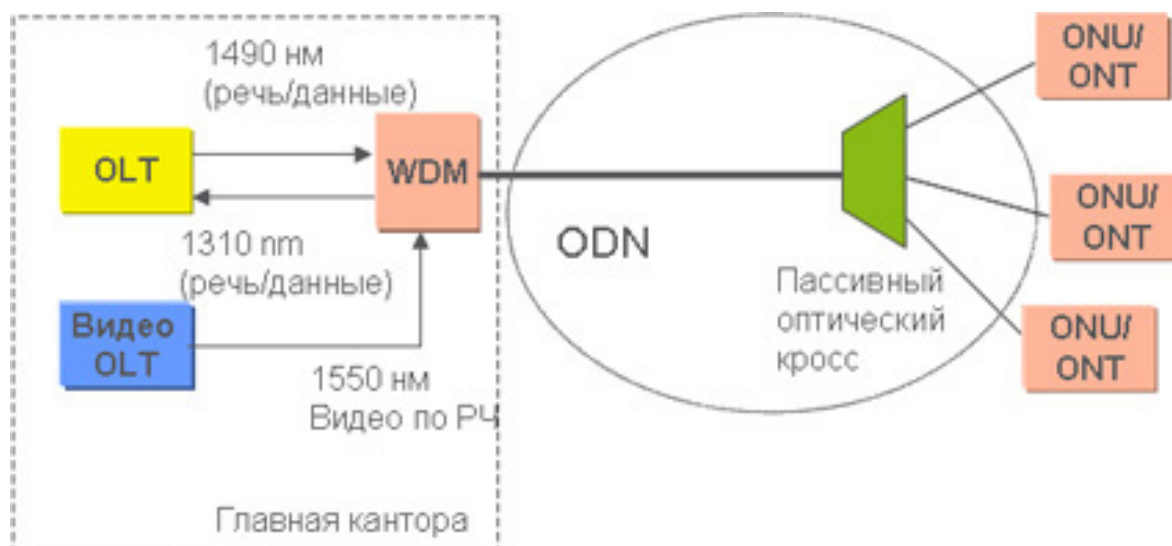


Рисунок 2: Многофункциональная архитектура PON.

У пассивных оптических сетей, базирующихся на мультиплексировании с временным разделением каналов (TDM-PON), данные в направлении конечного пользователя передаются на принципе рассылки, а в направлении от пользователя в сеть, на принципе множественного доступа, TDMA (Time Division Multiple Access). Значит, общая полоса пропускания, которая связывает OLT и ONU, разделяется между конечными пользователями. От количества пользователей зависит скорость передачи (не определен верхний предел пользователей). Тем не менее, практическое ограничение на количество конечных пользователей, это максимальная задержка в доступе (access delay). Соответственно, количество конечных пользователей на один разделитель не превышает 64.

При входящем направлении, все указанные блоки, ONU/ONT, взаимно синхронизированные. Такая процедура называется регулирование диапазона (Англ. ranging). Блок OLT определяет отрезок времени, в котором присвоенный ему блок ONU/ONT будет направлять свою информацию. Регулирование диапазона выполняется во время активизации оптических блоков ONU/ONT, а также может быть выполнено и во время.

Одно из больших преимуществ системы PON является то, что может поддерживать различные скорости передачи и различные услуги без изменения оптических компонентов между центральным офисом (CO) и абонентскими устройствами. Это решение простое для оптической распределительной сети, ODN (англ. - Optical Distribution Network). Кроме того, нет требований к питанию, температурному контролю и обслуживанию шкафа, что значительно сокращает издержки (OPEX).

Все три стандарта системы PON похожи. Все используют простое мультиплексирование волны для работы в полном дуплексном режиме (одновременный трафик на входящем и исходящем направлениями) по одному оптическому волокну, где для входящего направления используется длина волны 1490 нм, а для исходящего направления используется длина волны 1310 нм. Для вещания ТВ сигнала, резервирована дополнительная длина волны 1550 нм.

В зависимости от механизма, используемого для передачи данных по оптическим волокнам, определяется несколько типов системы TDM-PON, а именно BPON, GPON и EPON. Хотя все три системы работают на тех же принципах, есть некоторые различия (таблица 1).

	EPON	BPON	GPON
Стандарт	IEEE 802.3ah	ITU-T G.983	ITU-T G.984
Протокол	Ethernet	ATM	Ethernet, TDM
Скорости (Мбит/с)	1000, нисходящее и восходящее	622 нисходящее 155 восходящее	2488 нисходящее, 1244 восходящее
Расстояние (км)	10	20	20
Коэффициент распределения	16 или 32	32	32 или 64

Таблица 1: Сравнение систем PON

Два главных органа по стандартизации пассивных оптических сетей IEEE (Институт инженеров по электротехнике и электронике) и ITU-T. IEEE отвечает за стандартизацию EPON-и ITU-T (International Telecommunication Union - Сектор стандартизации электросвязи) отвечает за стандартизацию в GPON. Несмотря на то, что орган МСЭ официально отвечает за стандартизацию систем BPON и GPON, большая часть деятельности по стандартизации в группе FSAN (Full Service Access Network). FSAN это группа телекоммуникационных операторов и изготовителей оборудования, которые активно участвуют в определении требований и подготовки стандартов для GPON, которые принимает и утверждает МСЭ.

Одна из причин более широкого признания GPON технологии на рынке по сравнению с EPON именно то, что стандарты GPON отражают потребности оператора.

2.1 Архитектура GPON

Оптическая сеть технологии GPON (Gigabit Passive Optical Network) является развитием стандарта BPON, стандартизованной на основании серии рекомендации МСЭ-T G.984.x.

GPON, поддерживает высокую скорость передачи, более высокий уровень безопасности и повышения эффективности в передаче различных услуг. Хотя стандарты G.984.x позволяют выбрать различные скорости, как правило, скорость на водящем направлении 2.488 Гбит/с и на исходящем направлении 1,244 Гбит/с.

Стандарт ITU-T	Дата	Описание
G.984.1	03-2003 03-2008	Основные характеристики сетей GPON
G.984.2	03-2003	Спецификация физического уровня
G.984.3	03-2004 03-2008	Спецификация транспортного уровня
G.984.4	06-2004 02-2008	Спецификации интерфейса для управление и контроля ONT
G.984.5	09-2007	Передовая полоса волновых длин
G.984.6	03-2008	Наращивание диапазона

Таблица 2: Стандартизация системы GPON

Система GPON состоит из оптического линейного терминала OLT, который обычно расположен в центральном офисе CO, и большего количества сетевых терминалов ONT, которые размещаются у пользователей. Можно использовать и оптический сетевой блок ONU, в случаях сочетания с другими технологиями доступа, (VDSL2, радио, кабельные категории 5 и 6). Эти компоненты системы GPON активны, потому, что нуждаются в электропитании. Оптическая распределительная сеть ODN содержит оптические волокна и оптические делители, а настоящие компоненты полностью пассивные и не требуют электропитания. Таким образом, значительно сокращаются капитальные издержки (CAPEX) и операционные расходы (OPEX).

На рис. 3, показана типичная система GPON и использование различных архитектур (FTTH, FTTC, FTTB и мобильный транспорт).

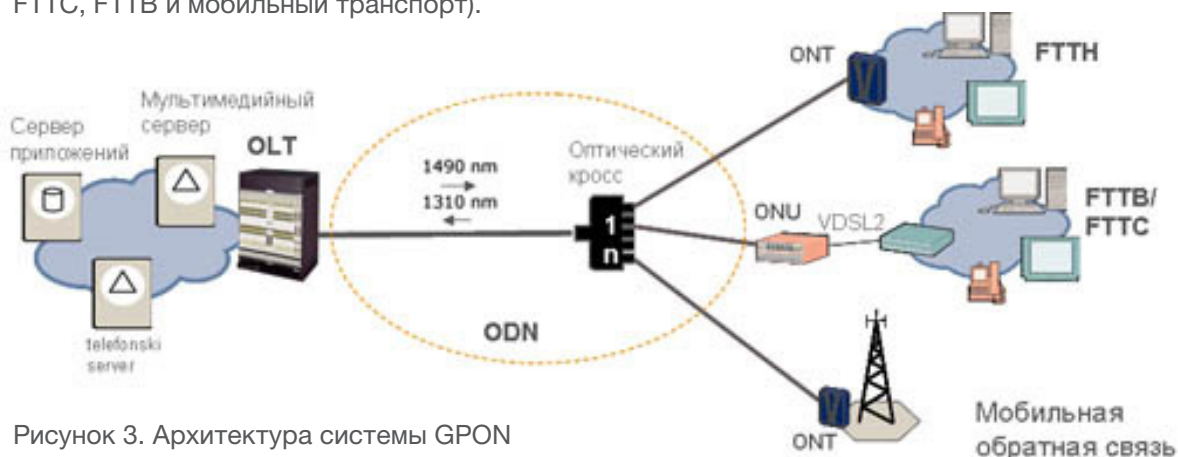


Рисунок 3. Архитектура системы GPON

Центральный терминал (OLT) с пассивным оптическим кроссом связывается по одному оптическому волокну. Оптический кросс это устройство, которое имеет вход и $2n$ выходов (обычно 32). Оптическая мощность сигнала на входе в кросс поровну распределяется между выходами кросса и при этом, оптическая мощность на каждом выходе, относительно входа, уменьшена на фактор $n \times 3.5$ дБ ($10 \log 2n = n \times 10 \log 2$). Добавление 0,5 дБ производится с целью включения потери в кроссе. От оптического кросса до каждого абонента прокладывается одно оптическое волокно. Передачу данных по оптическому волокну от центрального офиса до каждого отдельного пользователя можно реализовать на расстояниях не более 20 км.

Оптическая распределительная сеть ODN состоит из оптических волокон и пассивных оптических кроссов. Пассивная оптическая сеть позволяет разделить одно оптическое волокно между несколькими пользователями, под условием, что на данной сети только пассивные элементы. Можно делить сигнал на оптическом волокне в нескольких оптических волокон, и наоборот, а именно, несколько оптических сигналов комбинируется в одно оптическое волокно. Если для двусторонней связи используется одно оптическое волокно, входящие исходящие сигналы отличаются в длине волны.

Рекомендации G.983.3 и G.984.2 классифицируют оптические распределительные сети на классы, с А по С, в зависимости от размера потери, и оптического подавления. Эти рекомендации специфицируют параметры для оптического интерфейса для каждого класса. Максимальные потери для классов А, В и С определены в качестве 20, 25 и 30 дБ. Еще недавно, у класса В+, самые большие потери были 28 дБ. В системе BPON специфицировано максимальное расстояние передачи 20 км для совместного использования кода 16 или 32. Для системы GPON расстояние передачи 20 км, а факультативно 10 км, при коде разделения 16, 32 и 64. Если соотношение между совместным использованием кода и классом ODN не ясно выражено, классы А и В приблизительно соответствуют совместному использованию кода 16, а классы В+ и С соответствуют совместному использованию 32 и более.

В системе GPON, сегодня существует класс С+ для ODN, который обеспечивает отношение совместного использования 1:64 на расстоянии из 20 км.

В оптической распределительной сети имеется несколько источников подавления. В системе GPON самый большой источник потерь в пассивном оптическом кроссе. У идеального кросса потери мощности 3 дБ для каждого разделения, значит, что при использовании кросса в отношении совместного использования 1:32, получатся итоговые введенные потери кросса из 17,5 дБ. В данный результат включены и потери из-за старения компонент кросса и потери из-за изменения температуры.

Остальные источники потерь в ODN, это соединительные разъемы пункты сращивания, потери оптического волокна и потери в WDM муфте. Потери на сети ODN большей частью зависят от расстояния (а именно, длины оптического волокна) и код шеренгу на оптическом кроссе. Типичные значения потери мощности в ODN показаны в таблице 3.

КОМПОНЕНТ ODN	ЗАТУХАНИЕ (ДБ)
Оптический кросс	17,5
Разъемы, соединения	1,5
Разветвитель	1,0
Оптическое волокно (SMF)	
1310 нм	0,35/км
1490 нм	0,22/км
1550 нм	0,19/км

Таблица 3. Типичные значения потери мощности в сети ODN.

Эти данные относятся к одномодовому оптическому волокну SMF, которое на практике применяется чаще остальных. Потери зависят от волновой длины сигнала, и следовательно, общие потери менее на входящем направлении.

2.1.1 Решение GPON от Эрикссон

Решение на GPON от Эрикссон, это система EDA 1500, которая является частью архитектуры полнофункционального широкополосного доступа (FSB -рисунок 4). Данная архитектура удовлетворяет потребностям к конвергенции фиксированной и мобильной и сетей следующего поколения для жилого и коммерческого сегментов. [2].

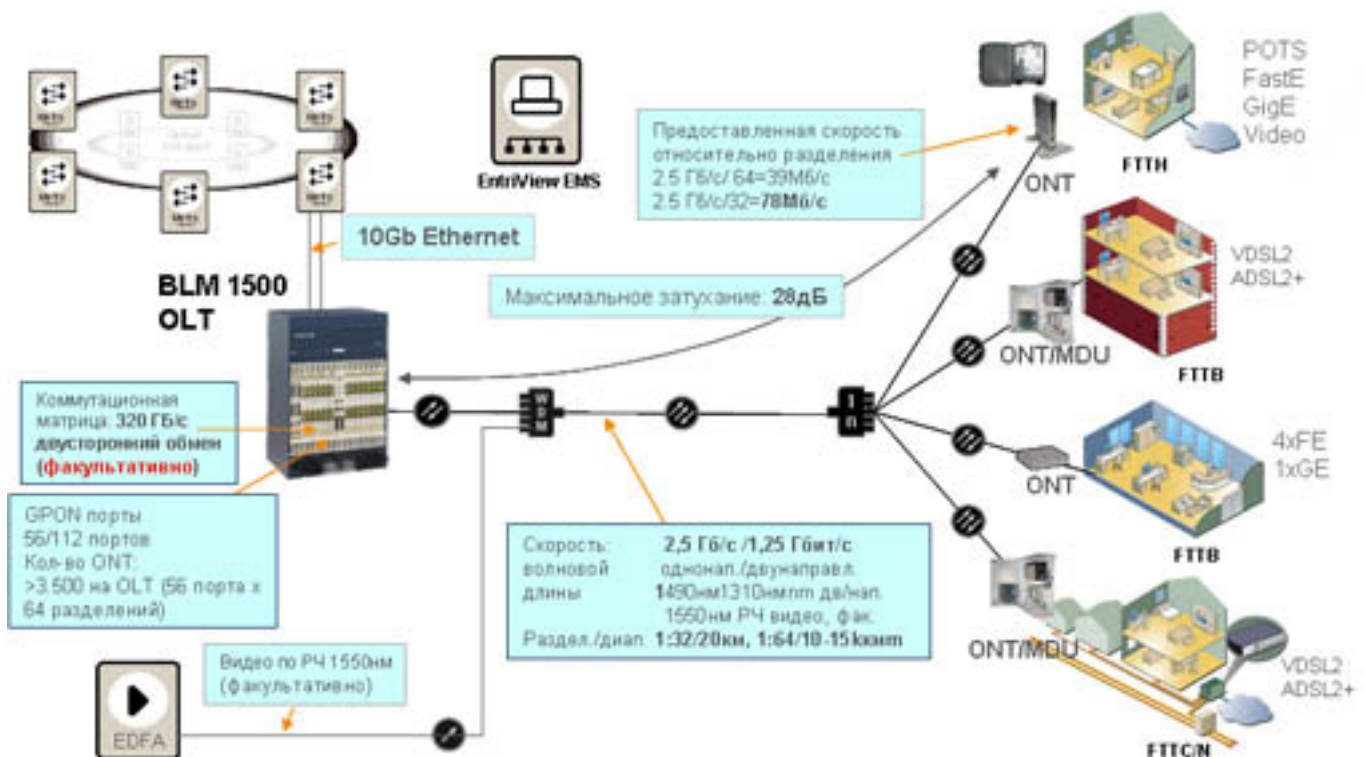


Рисунок 4. Архитектура полнофункционального широкополосного доступа

Решение EDA 1500 полностью соответствует и основывается на спецификациях стандарта ITU-T G.984.x.

EDA 1500 обеспечивает масштабируемое решение оптической сети доступа и обеспечивает простую эволюцию к следующему поколению пассивных оптических сетей доступа.

Данная система состоит из оптического линейного блока BML 1500 и разных типов оптических сетевых терминалов ONT/ONU [15]. Основные характеристики системы EDA 1500 показаны на рисунке 5.

Решение EDA 1500 применимо для всех сценариев: FTTH, FTTC, FTTB и приложения для деловых пользователей. FTTC/FTTB можно продвинуть внедрением VDSL2 и Cat 5-6.

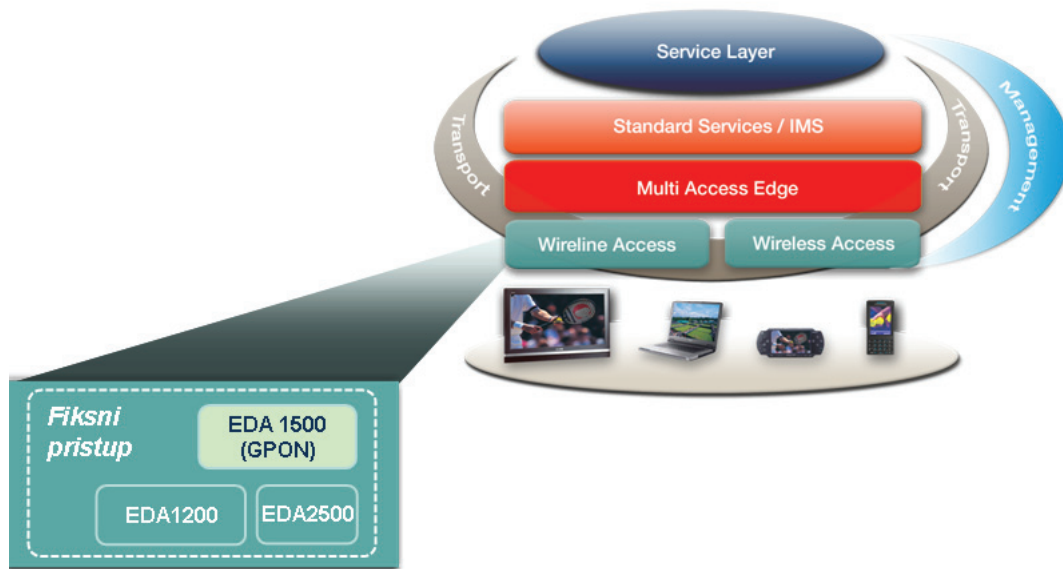


Рисунок 5. Решение на GPON, EDA 1500

3 Следующее поколение системы PON

Гигабитные пассивные оптические сети, а именно G-PON (ITU-T серии G.984) и EPON (IEEE 802.3ah) стандартизованные и уже внедряемые системы. Наиболее общие требования для следующего поколения PON (NG-PON) является обеспечение гораздо больше возможностей, чем G-PON и E-PON. Учитывая, что системы G-PON и E-PON уже задействованные и в эксплуатации, и система NG-PON пока не доступна, нужны большие капиталовложения для внедрения пассивной оптической сети. Другое важное требование относится к полной миграции абонентов от GPON на NG-PON. Ожидается, что новые технологии поддерживают существующие сервисы, предоставляемые заказчиком, и еще важнейшее, новые технологии должны быть дешевые.

Есть несколько сценариев для миграции в зависимости от различных потребностей оператора. Наиболее вероятный сценарий заключается в постепенном введении NG-PON, у которого сетевые операторы могут предлагать изначально новую услугу, использующий NG-PON. Часть пользователей в системе GPON, которые заинтересованы в более высоких скоростях, и дополнительных услуг могут быть перенесены на NG-PON. В то время остальные пользователи, которые довольны предоставляемыми им услугами, задерживаются на существующей системе GPON. Хотя некоторые операторы сетей могут делать «принудительные миграции» из GPON в NG-PON, вероятно на последнем этапе, когда число абонентов GPON станет небольшим, обе системы GPON и NG-PON, и в этом сценарии содействуют достаточно долгое время.

Общие требования к данному сценарию следующие:

- » сосуществование между системами GPON и NG-PON на одной и той же оптической сети;
- » минимальный обрыв в предоставлении услуг пользователям в случае модернизации системы в NGPON,
- » В случае полной миграции, система NG PON должна поддерживать все существующие услуги.

NG-PON предложит более высокую среднюю скорость на абонента по сравнению с GPON.

Совсем другой сценарий может быть там, где оператор мотивируется наращиванием числа пользователей (отношение большей доли разделения) и снижение эксплуатационных расходов, как доступ сети достигается за счет внедрения системы. NG-PON. Оператор может установить систему NG-PON, в качестве совсем новой сети или в заменить существующую сеть GPON, так как замена может осуществляться систематически в течение относительно времени.

4 Эволюция системы GPON

Органы по стандартизации IEEE и ITU в настоящее время активно участвуют в развитии следующего поколения системы PON. Стандартизация IEEE по NGPON развивается в рамках группы 802,3; и особенно в 802.3av. Деятельность IEEE по NGPON направлена на 10G PON как следующий эволюционный вывод из существующей системы 1G PON. Стандарт 802.3av завершен, и уже ратифицирован в сентябре 2009г., а коммерческие решения ожидаются на рынке уже в 2010г.

Внутри FSAN, имеются две стадии развития NGPON. На первом этапе (NG-PON1) разработка NGPON, которая может сосуществовать с существующих систем GPON Эта модель предполагает, что операторы не имеют волоконо-оптической инфраструктуры, необходимой для поддержки всех наложенных сетей. На другом этапе долгосрочное развитие (NG-PON2) исследует возможности, в том числе DWDM-PON и скорости до 40 Гбит/с. Эта модель предполагает, что она будет в полной мере задействовать новую сеть ODN.

	IEEE 802.3av 10G EPON	ITU-T/FSAN 10G GPON
Скорость на входящем направлении	10 G	10G
Скорость на исходящем направлении	1G или 10G	2.5 G (XGPON1) или 10G (XGPON2)
Длина волны нисходящего потока	1575-1580 нм	1575-1580 нм
Длина волны восходящего потока	1G: 1260-1360 нм (ista kao EPON) 10G: 1260-1280 нм	2.5G: 1260-1280 10 G: обсуждается

Таблица 4: Сравнение систем 10G EPON и 10G GPON

Область длин волн в системе GPON определено рекомендацией G.984.2. Для входящего сигнала указаны длины волн 1480 нм до 1500 нм. Рекомендация G.984.5 определяет зарезервированных диапазонов длины волн и определяет отклонение сигнала помехи для оптических сетевых блоков (ONU), обеспечивая, таким образом, сосуществование системы GPON и другие услуги, в том числе следующего поколения доступа и видео. План распределения длин волн, в том числе полосы, зарезервированы для дополнительных услуг, показан на рисунке 6.

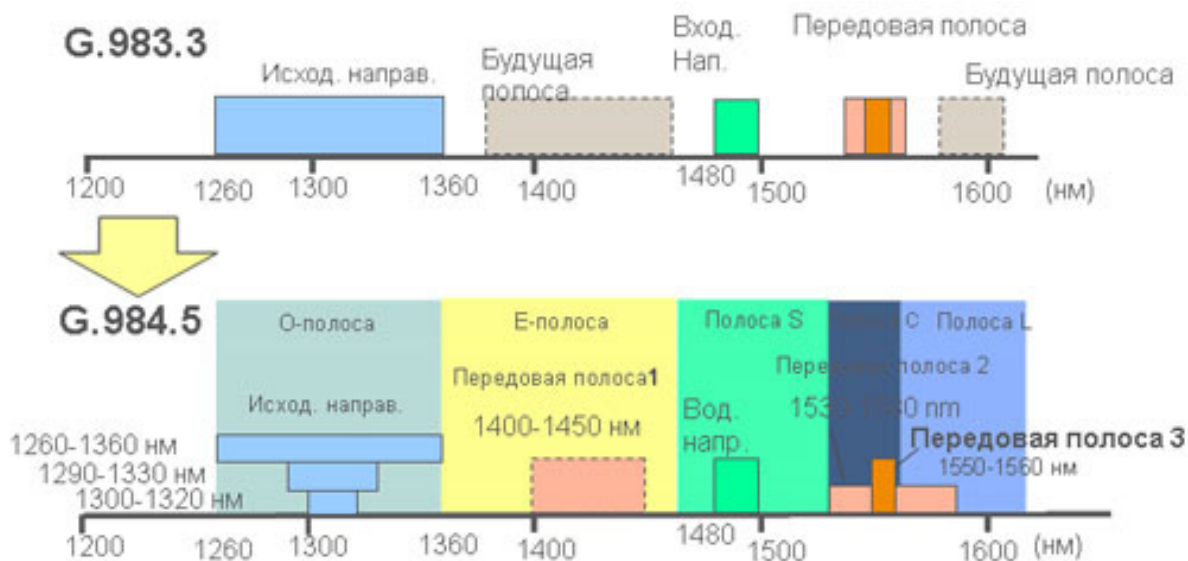


Рисунок 6. Распределение длин волн согласно стандарту ITU-T G.984.5

Диапазон длины волн в системе GPON, для входящего сигнала считается «основной полосой». Зарезервированные диапазоны считаются «продвинутой полосой». Приложения для продвинутой полосы включают видео услуги распределения видео сигнала и услуги следующего поколения доступа. Диапазон длин волн для услуг распределения видео сигнала задерживается таким как определено рекомендацией G.983.3.

Есть несколько типов архитектуры ODN, которые позволяют сосуществование системы G-PON и дополнительных услуг, в том числе и следующее поколение системы доступа (NGA –Next Generation Access), и услуги для распределения видео сигнала. На рисунке 7. показана эталонная архитектура блока ONU, где предусмотрено использование фильтра для блокировки длин волны (WBF) в случае если G-PON и NGA пользуются той же самой оптической распределительной сетью.

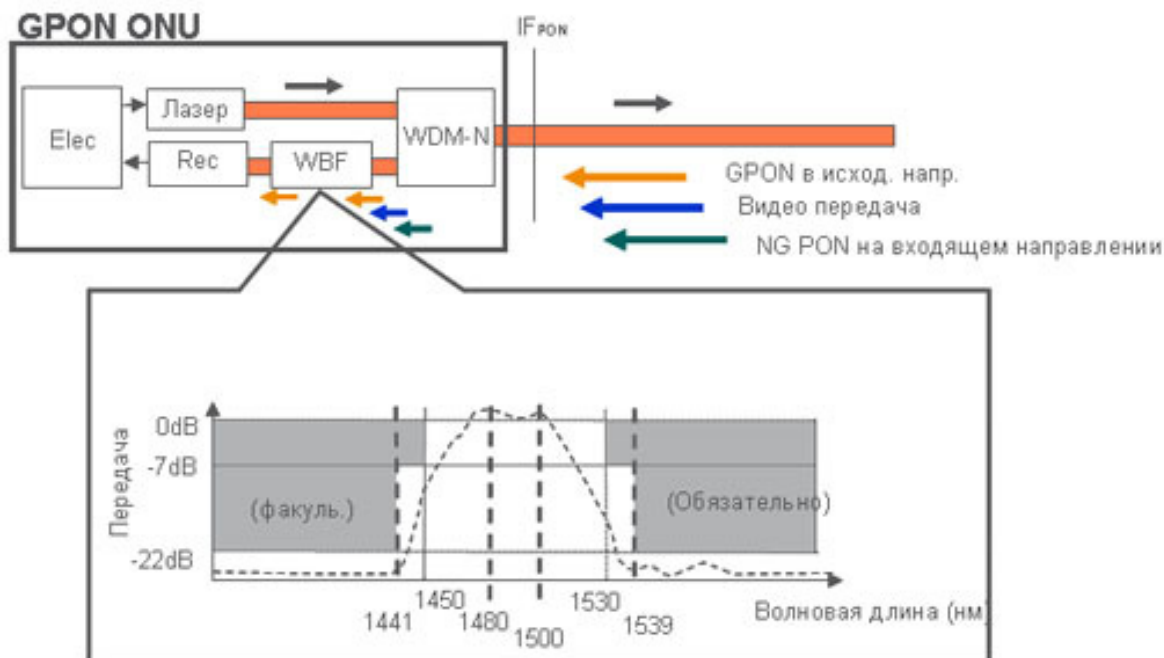


Рисунок 7: Фильтр для блокировки длины волн в ONU

Учитывая возможный сценарий, который позволяет сосуществование GPON, NGA и услуг распределения видео сигнала, предполагается, что необходимы дополнительные защитные полосы.

Хотя считается, что в ближайшие несколько лет, система GPON будет предоставить достаточную мощность для защиты инвестиций в сегодняшние внедрения системы GPON и волоконо-оптической инфраструктуры, уже разрабатывается и системы GPON следующего поколения (NG-PON). Основным требованием NG-PON обладает большей мощностью по сравнению с GPON, с максимальным использованием существующих протоколов GPON, компонентов и инфраструктуры.

Эволюция системы GPON показана на рисунке 8, а также определяет два этапа развития:

- » NG-PON1: NG-PON сосуществует на той же распределительной сети, при условии задействованная сеть GPON соответствует рекомендации G.984.5 (продвинутый план длин волн). Настоящий этап определяет следующие случаи:
 - XG-PON1: скорость передачи на входящем направлении 10 Гбит/с, и 2,5 Гбит/с в исходящем направлении;
 - XG-PON2: скорость передачи 10 Гбит/с в входящем и исходящем направлении;
 - WDM возможность перекрытия нескольких систем GPON и/или NG-PON на разных длинах волн при использовании той же оптоволоконной инфраструктуры, что определено в G.984.5,
 - Планы на использование оптоволоконных компонент высшего класса, чем класс B +.
- » NG-PON2: значительной большей емкости, без требования сосуществования с имеющейся системой GPON. Предусмотрено довершение стандарта до 2015г.

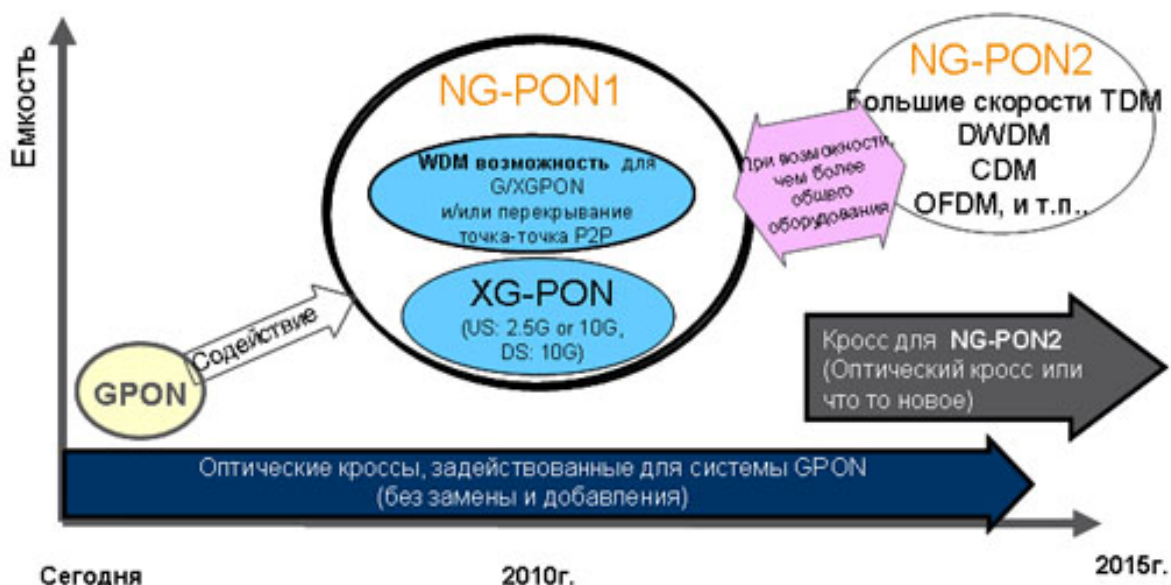


Рисунок 8: Эволюция системы GPON

FSAN разработало спецификации для системы NG-PON1 в конце 2009г., и стандартизации МСЭ должны быть завершены в конце 2010г. Оба органа по стандартизации, значит МСЭ и IEEE, направлены к увеличению скорости следующего поколения системы PON и считается, что наращивание скорости до 10 Гбит/с для входящего направления будет первым логическим шагом в эволюции системы PON.

Технологические проблемы наращивания водящей скорости до 10 Гбит/с, следующие: управление рассеянием, чувствительность приемника и проблемы связанные с большей мощности передачи.

Эрикссон и другие изготовители оборудования уже в лабораторных условиях продемонстрировали скорость больше 10 Гбит/с. Другие проблемы связанные с коммерциализации и снижением затрат.

На первом этапе NG-PON 1, разрабатывается стандарт, который обеспечит сосуществование системы XG-PON и существующей системы GPON на одной и той же распределительной сети.

Хотя и эти технологии в наличии, и сейчас они значительно дороже и требуют наращивание мощности относительно существующих технологий PON. Значит, оборудование NG-PON, основывающееся на нынешней технологии будет больших размеров, меньшей плотности и требует гораздо больше мощности относительно существующей системы PON.

Долгосрочно, NG-PON2 архитектура доступа, а разработка и довершение стандарта ожидается после 2015г.

4.1 10G GPON

Для удовлетворения растущего требованию к скорости передачи, нынешняя система GPON будет доработанной для сопровождения 10Гбит/с на входящем направлении. Предусматривается, что первое применение 10G GPON будет реализовано в архитектурах FTTB и FTTC.

Ведется разработка серии рекомендаций G.987 со стороны МСЭ-Т, и довершение рекомендаций 987.1 – 987.3 планируется до конца 2010г. На начальном этапе эти рекомендации определяют только систему XG-PON1, так как на рынке еще нет требований к системам XG-PON2.

Согласно требованию FSAN, система 10G GPON должна работать совместно с существующей системой GPON на одной и той же сети ODN.

Простой способ добавки 10 Гбит/с в уже существующую установку системы GPON распределение различных длин волн на входящем направлении. В этом сценарии все существующие ONT должны блокировать новую длину волны. Это требует добавку фильтров в каждый ONT, чтобы блокировать WBF, согласно рекомендации G.984.5. Сосуществование достигается установкой системы 10G GPON на другой длине волны относительно системы GPON.

Диапазон длин волны для системы XG-PON1 во входящем направлении 1575 нм по 1580 нм, а в исходящем направлении с 1260 нм по 1280 нм.

На стороне OLT, две системы в сочетании с фильтром WDM1. На стороне блоков ONT используются фильтры WBF, которые блокируют нежелательные длины волн (рис. 9).

Препятствием к введению XG-PON1 с GPON в одной и той же распределительной сети является отсутствие фильтров для блокирования старых типов ONT. Это в основном относится к ONT в системах BPON, а также и старых типов ONT для GPON. В последнее время, большинство ONT интегрировали WBF фильтры и модернизации существующих систем GPON с XG-PON1 очень просты. В других случаях, оператору придется менять ODN, или установить фильтры WBF на старых ONT.

Однина проблема с обновлением XG-PON1 является и передача РЧ видео сигнала. Как XG-PON1 требует большую мощность, за счет высокой скорости передачи, это приведет к серьезным нарушениям РЧ видео сигнала.

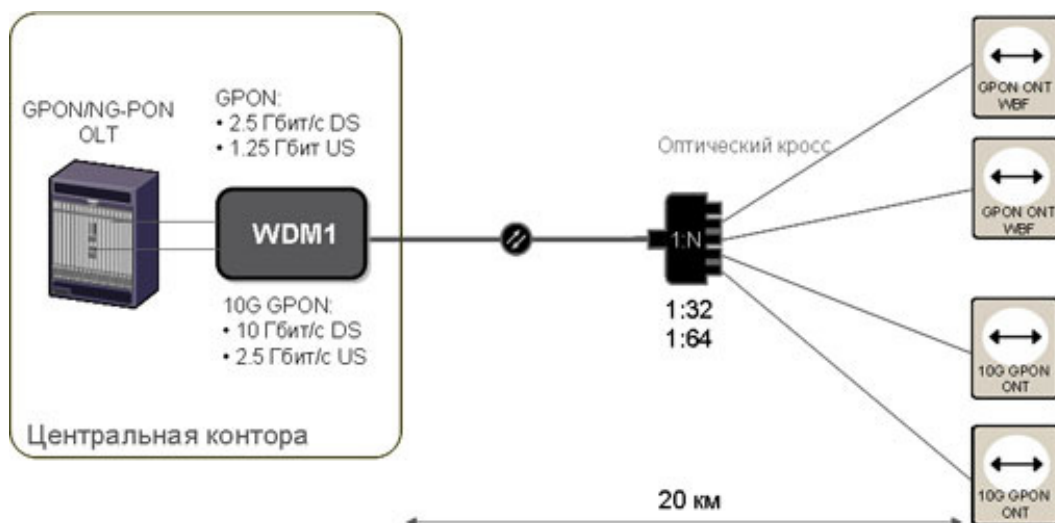


Рисунок 9: Сосуществование систем GPON и 10G GPON

GPON стандарт определяет комплексных интегрированных методов для снижения уровня помех от РЧ канала обмена данными, но эти методы не являются эффективным и достаточным при больших мощностях, которые необходимы в XG-PON1.

Одно из решений заключается в отделении сигнала, а именно, физическое добавление еще одного оптического волокна от центрального офиса в оптический кросс, где производится рекомбинация сигнала. Это обновление требует изменения в ODN (новое оптическое волокно до кросса, модернизация кросса).

Тем не менее, лучший способ избежать помех РЧ видео сигнала в том, что в распределение видео сигнала будет по протоколу IP, особенно в следующем поколении PON, где меньше ограничений на скорости передачи.

4.2 WDM-PON

Многие операторы и изготовители оборудования считают, что система NG-PON2 будет основываться на мультиплексированию с плотным разделением длин волн (DWDM –Dense WDM). DWDM это технология передачи, где разные услуги и сети могут сосуществовать на одном оптоволокне, с использованием различных длин волн. Основная разница между WDM-PON и 10G GPON в том, что WDM-PON не может использовать протокол GPON.

Главным препятствием для более широкого развертывания WDM-PON является высокая цена, так как передатчикам нужно транслировать на определенной длине волны. Это особенно важно для устройств ONT, так как это напрямую влияет на стоимость каждой абонентской линии. Со стороны центрального офиса, стоимость может быть снижена интеграцией оптических волокон. На стороне абонента, требуется решение с небольшим количеством уникальных типов блоков ONT, чтобы сократить складские расходы и установки. Этот тип ONT часто называется «бесцветный» и до сих пор предложено несколько архитектур, которые исследовали в последние годы.

Решение с регулируемым лазером (англ. перестраиваемый лазер) показано как наиболее естественным: длина волны в ONT легко настраивается, когда он включен в сеть, и обеспечивает высокую степень гибкости и производительности (дальность, скорость и т.п.). Предлагаются и остальные, более или менее необыкновенные технологии WDM-PON, но часто оказывается, что эти технологии имеют ограничения с точки зрения характеристик (диапазон, емкость и др.) или стоимость.

4.2.1 Архитектура WDM-PON

Архитектура WDM-PON идентична архитектуре FTTH у EPON и GPON. Удаленный узел (RN –Remote Node) в WDM-PON может быть выполнена либо с помощью оптического кросса или пассивного маршрутизатора длин волн. Оптически кросс распределяет все входящие сигналы на все выходные порты и, для этого используется фильтр длин волн у каждого ONU. Несмотря на то, что оптический кросс простой прибор, недорогой и распределенной структуры, данное исполнение требует оптические фильтры с различными центральными длинами волны в каждом ONU. Кроме того, тем выше потери в оптическом кроссе больше, по отношению к длине волны маршрутизатора.

Однако, вместо оптического кросса на удаленном узле, используется маршрутизатор с канальной решеткой, которая отделяет длины волн и направляет их на ONT.

Преимущества мультиплексирования волн полностью отделены длины волн в исходящем направлении для каждого пользователя. Это дает гораздо больше емкости для каждого пользователя, большую надежность и лучший контроль работы потому, что нет помех между различными длинами волн в исходящем направлении.

Модернизация существующей системы PON на WDM-PON требует замены существующего оптического кросса на маршрутизатор AWG. Однако, такая модернизация не рекомендуется поскольку требует наружных работ и прерывает работу существующих пользователей. При топологии централизованного распределения, модернизация WDM-PON может быть простая.

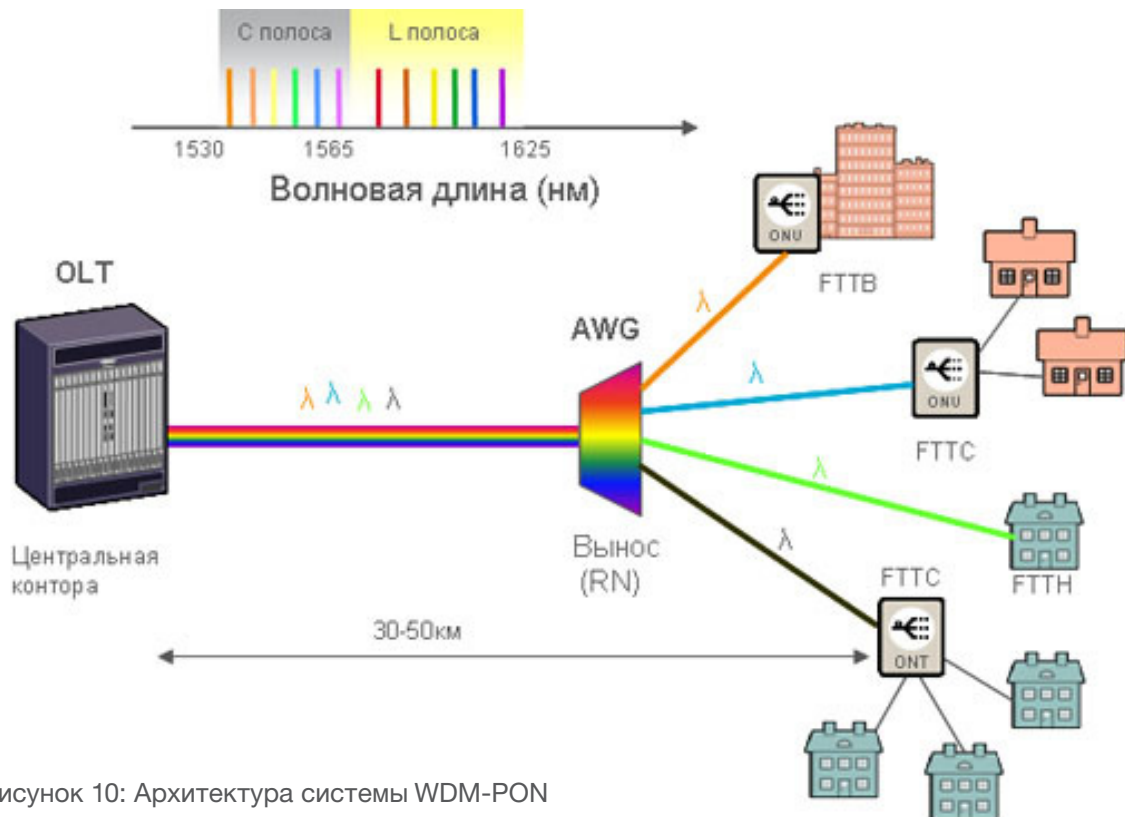


Рисунок 10: Архитектура системы WDM-PON

На входящем направлении при системе WDM-PON, каналы длин волны направляются от OLT к оптическим сетевым узлам, с помощью маршрутизатора и решетки волновода, AWG, которая размещается в удаленный узел RN, где находятся и оптические пассивные кроссы, которые используются в системе GPON.

Решетка волновода, AWG, это пассивный оптический прибор, с особенной характеристикой циклической периодичности, которая позволяет использовать AWG, одновременно в роли мультиплексора и демультиплексора.

Прибор AWG был использован во многих систем передачи WDM в качестве мультиплексора/демультиплексора, и в качестве мультиплексора ввода/вывода, (англ. ADM-Add Drop Multiplexer). Решетка AWG направляет каждую отдельную длину волны к одному выходному порту, отделяя, несколько длин волн одновременно.

Вносимые потери в AWG около 4-5 дБ (независимо от количества каналов), и это гораздо меньше, чем у оптических кроссов. Однако, не смотря на это хорошее свойство прибора AWG, в результате изменения температуры, происходит сдвиг центральной длины волны из $0,01 \text{ nm}/^\circ \text{C}$, что предотвращает использовать AWG в RN, потому, что RN в области больших температурных изменений, где предельные значения могут колебаться с -40°C под $+85^\circ \text{C}$. Такая температурная зависимость имеет причины в индексе изменения кремниевого волновода, что приводит к изменению в оптических длин. На рынке недавно, появились холодные маршрутизаторы AWG, которые разработаны с термической компенсацией, и у которых применяются материалы с температурным коэффициентом, отличающимся то кремня [8].

Существует еще один способ для мультиплексирования/демультиплексирования длины волн, так называемые тонкопленочные или многослойные фильтры помех. Каждый фильтр рассчитан на изучение одной длины волн, а другие отражает. Этот тип фильтра подходит мультиплексированию небольшого количества длин волн, например, при использовании CWDM, в то время как AWG является хорошим решением для большого количества каналов.

В настоящее время самые дешевые решения на WDM-PON, в 2-3 раза дороже системы GPON.

В пределах седьмой рамочной программы FP7 (FP – Framework Programme), финансируемого ЕС проекта GigaWam, активное участие принимает 9 компаний: Ericsson AB, Danmarks Tekniske Universitet, Fraunhofer-Gesellschaft Zur Foerderung Der Angewandten Forschung E.V, Ficontec GmbH, Ignis Photonix A/S, Ignis Photonix Inc, Vertilas GmbH, Svedice Ab и Syntune Ab. Роль координации и управления проектом на норвежской организации по Исследованию и развитию, Nor-Tek.

Основной целью этого проекта является разработка подсистемы и высокая степень интеграции конкретных оптических компонент для WDM-PON. Тем самым, значительно снижается стоимость или цену на пользователя. Цель состоит в том, что цена ниже в сравнении с ценой сегодняшней системы GPON.

Проект состоит из четырех основных компонентов развития:

- » развитие дешевых перестраиваемых полупроводниковых лазеров, (с перестройкой частоты) для оптоволоконных сетевых устройств ONT
- » серия основных лазеров – низкая стоимость интеграции лазера в OLT, покрытие до 64 канала
- » развитие холодного пассивного маршрутизатора AWG
- » гибридизация фотонных компонентов в OLT и ONT.

4.3 Расширение диапазона у пассивных оптических сетей

Стандартные расстояния каналов связи в сети доступа FTTH 20 км. Оптоволокна у сетей доступа заменяют традиционные медные пары, и таким образом обеспечивают, теоретически и практически неограниченные пропускные способности. Это, автоматически приводит к требованию на более широкую полосу пропускания опорной сети. Кроме того, пользователи требуют не только более высокие скорости передачи, но и гибкость подключения к сети доступа с дополнительным решением на передачу и повышенными скоростями передачи.

Некоторые операторы, в настоящее время рассматривают справедливое решение для развертывания PON большей дальности, чтобы помочь сократить количество центральных офисов. Уже установленные системы GPON, основывающиеся на TDM, расширение дальности может быть достигнуто путем добавления линейных усилителей на существующую инфраструктуру.

Есть два основных способа расширения диапазона (рис. 12) в сетях GPON. Первый способ продвигает функции оптического приемопередатчика вводом оптоволоконных усилителей в OLT или вставлением устройства для расширения диапазона где-то на центральном месте входящего оптоволоконного канала (UTU-T G.984.6).

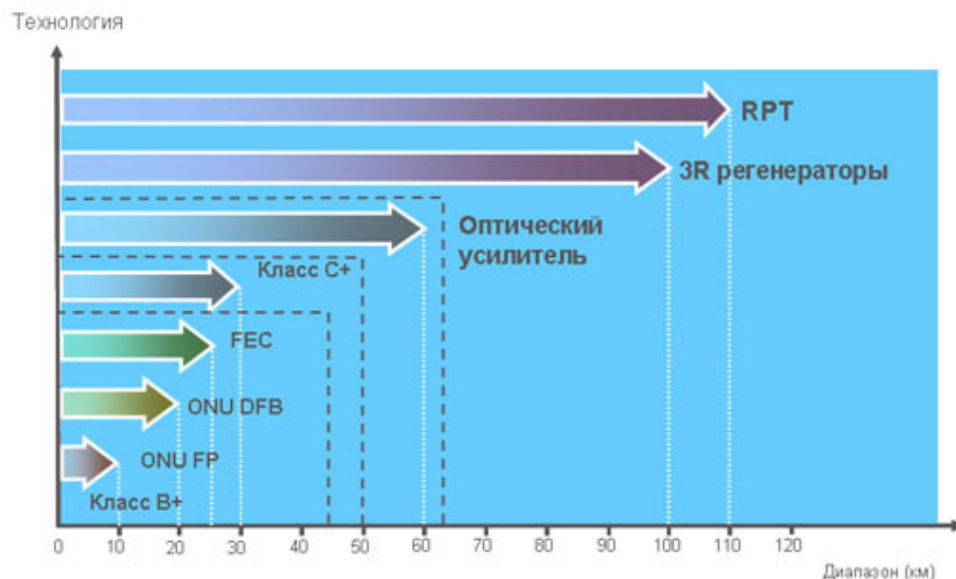


Рисунок 11. Разные техники для расширения диапазона в сетях GPON

На рисунке 11. сравниваются разные способы продвижения характеристик для расширения диапазона в сетях PON. Техники упреждающего исправления ошибок на водящем направлении FEC (Forward Error Correction) могут расширить диапазон типично на 5 км. Также, оптоволоконные усилители (волокна, полупроводник или распределенные) могут увеличить дальность до 60км и более.

Рекомендация ITU-T G.984.6 рассматривает использование активного узла (расширитель в центре пролета), который располагается в центре оптоволоконной сети.

Этот прибор должен быть совместим с существующей системой GPON, а именно с оптоволоконной распределительной сетью ODN класса B+ и блока ONT класса B+. Есть возможность, что расширитель зоны RE (Reach Extender) поддерживает и другие классы сети ODN, в том числе класс C+, который специфицирован в рекомендации G.984.2 Am2.

Полупроводниковые лазерные диоды часто используются в качестве источников света в оптоволоконных системах коммуникации. Главные типы лазера подходящие для использования в сетях PON FP (Fabry-Perot) лазерные диоды и DFB (Distributed Feedback) лазерные диоды. Главные характеристики этих лазерных диод большие оптоволоконные выходные мощности.

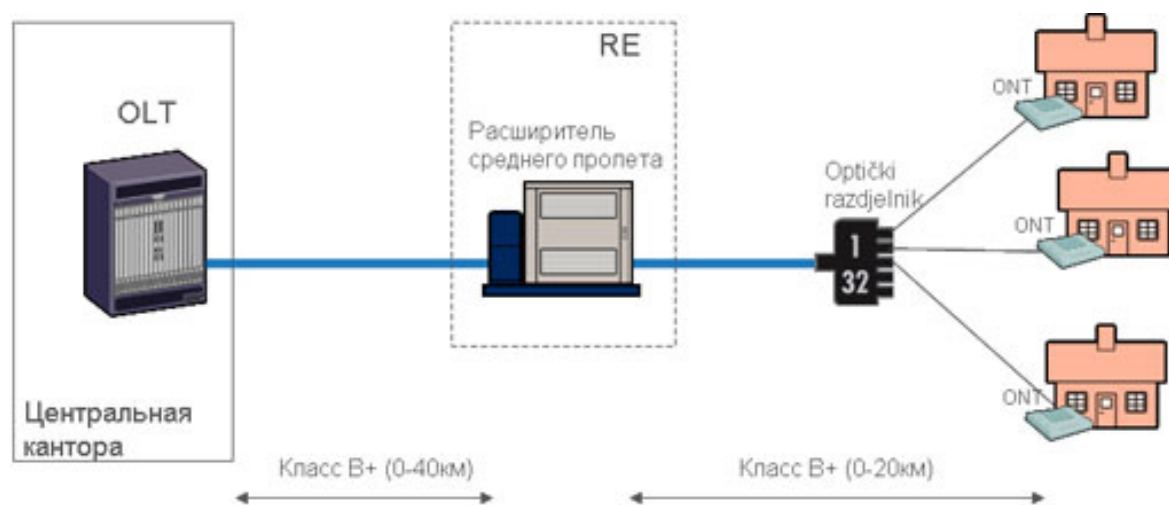


Рисунок 12. Расширение диапазона в сетях GPON, согласно стандарту ITU-T G.984.5

Устройства расширения зоны охвата, RE, являются активными устройствами, которые размещаются где-то в центре оптоволоконной сети, чтобы продлить оптоволоконно и увеличить отношение разделения в сетях GPON, как указано в рекомендации ITU-T G.984.6. Таким образом, можно расширить диапазон до 60 км, и это максимальный логический диапазон для сетей GPON.

Имеются два типа устройств для расширения диапазона. Первым является оптический усилитель OA (Optical Amplifier), а другой оптически-электрический-оптический (OEO) регенератор. Есть возможность комбинированных решений, в том числе использование оптического усилителя на входящем направлении, а регенератора на исходящем направлении.

Такие приборы требуют электропитание, и значит проблему, потому, что располагаются во внешних условиях. Кроме того, источник питания должен иметь защиту от отказа главного источника питания. Обычно используются батареи, в качестве резервного питания.

Оптические регенераторы включены в сеть, чтобы компенсировать потери мощности оптического сигнала. Оптические регенераторы могут быть реализованы в качестве эрбием легированных усилителей (EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier), в качестве полупроводниковых усилителей (SOA – Semiconductor Optical Amplifier) или электрические, оптические регенераторы [1].

Некоторые телекоммуникационные операторы видят возможность объединения городской сети и сети доступа в сети доступа PON большого диапазона. Таки если включают в себе

и использование оптических усилители (поэтому, не совсем пассивные), чтобы увеличить мощность сигнала, ширина полосы и диапазон и число ветвлений. Системы PON большого диапазона переключаются городские сети, и уровень доступа заканчивается в окончатальных узлах опорной сети. Таким доступом обеспечивается отмена локальных коммутаторов или удаленных концентраторов. Планируется и использование PON большого диапазона для расстояний около соты километров и скоростью передачи 10 Гбит/с.

5 Заключение

Из-за постоянного наращивания требований к емкости сети доступа, а также и требования к новым услугам, многие операторы приняли технологию PON в качестве самого подходящего решения сетей доступа и, при этом технология GPON занимает первое место.

Чтобы обеспечить долговечность и защиту капиталовложений в уже задействованные системы GPON, стандартизируются системы следующего поколения. Следующий логический шаг в эволюции GPON, это 10G GPON, который будет сосуществовать с существующей системой GPON на одной и той же оптической распределительной сети

Многие операторы и изготовители оборудования считают, что долгосрочно самой подходящей технологией для пассивных оптических пассивных сетей WDM-PON, где топология PON поддерживает логические поточечные связи P2P (Point-to-Point). WDM-PON имеет большие преимущества относительно скорости передачи, гибкости и надежности. Все-таки, из-за большей стоимости относительно системы GPON, и отсутствия стандартов, сегодня на рынке небольшое количество реализованных систем. Интенсивные исследования и развитие оптических компонент в недалеком будущем значительно сократит издержки и цену системы WDM-PO.

И наконец, с расширением диапазона системы GPON, операторы могут сократить и количество центральных офисов и таким образом значительно сократить операционные расходы (ОРЕХ). Несколько технологий для расширения диапазона допускается согласно стандартам, и таким образом можно расширить диапазон до 60 км.

Эрикссон принимает участие в развитии и стандартизации следующего поколения технологии PON, включая 10G GPON и WDM-PON. Эрикссон первый в мире продемонстрировал прототип системы 10 G GPON на ярмарке NXTcomm в г. Лас Вегасе 2008г.

Литература

[1] Trojer, E. Dahlfort, S., Hood, D. and Mickelsson, H.: Current and next-generation PONs: A technical overview of present and future PON technology. Ericsson Review, Vol. 85(2008)2, pp. 64-69

[2] "Full Service Broadband Architecture", Ericsson White paper, June 2008

[3] Kyeong-Eun Han, Design of AWG-based WDM-PON Architecture with Multicast Capability

[4] A.Banerjee, Y. Park, F. Clarke, H. Song, S. Yang, G. Kramer, K. Kim, B. Mukherjee, "Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network (WDM-PON) Technologies for Broadband Access: A Review", Invited, J. Opt. Networking, 4 (11), 737-58, (2005).

[5] K. Grobe, J.-P. Elbers, "PON in Adolescence: From TDMA to WDM-PON", IEEE Communications Magazine, Jan. (2008).

- [6] F. An, K. S. Kim, Y. Huseh, M. Rogge, W. Shaw, and L. Kazovsky, "Evolution, challenges and enabling technologies for future WDM-based optical access networks," presented at the 2nd Symposium on Photonics, Networking, and Computing, Cary, North Carolina, 26–30 September 2003.
- [7] Spiekman, Leo H. , Semiconductor optical amplifiers in access networks, OptoElectronics and Communications Conference, 2009. OECC 2009. 14th.
- [8] L. Leick, M. Boulanger, J. G. Nielsen, H. Imam, and J. Ingenhoff, " Athermal AWGs for Colourless WDM-PON with -40oC to +70oC and Underwater Operation," in Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference, Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2006), paper PDP31.
- [9] G.984.1, Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics, 2003 (2008)
- [10] G.984.2, GPON: Physical Media Dependent (PMD) layer specification, 2003 as amended in 2006 and 2008
- [11] G.984.3, GPON: Transmission Convergence Layer Specification, 2004, amended 2005 (2008, amended 2009)
- [12] G.984.4, GPON: ONT management and control interface specification, 2004, amended 2005 and 2006 (2008, amended 2008, 2009)
- [13] G.984.5, Gigabit-capable Passive Optical Networks (G PON): Enhancement band (2007, amended 2009)
- [14] G.984.6, Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension (2008, amended 2009)
- [15] Željko Popović: Izgradnja digitalnih gradova, Revija-Ericsson Nikola Tesla, Br.1 2008.

Перечень условных сокращений

AWG	Arrayed Waveguide Grating / Решетка выстраиваемого волновода
BPON	Broadband PON / Широкополосная сеть PON
CO	Central Office / ЦТС
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing / Грубое спектральное уплотнение сигналов
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier / Эрбием легированных усилителей
EPON	Ethernet PON
FEC	Forward-error correction / Коррекция ошибок на приемном конце Упреждающее исправление ошибок
FTTB	Fiber To The Building / Волокно до здания
FTTC	Fiber To The Curb / волокно до микрорайона
FTTH	Fiber To The Home / Волокно в дом
FSAN	Full-service access network / Сеть доступа в полном объеме
FSB	Full Service Broadband / Комплексная широкополосная передача

FSR Free Spectral Range / Область дисперсии
GPON Gigabit Passive Optical Network / Гигабитная пассивная оптическая сеть
HDTV High Definition TV / Телевидение высокой четкости
NG-GPON Next Generation GPON / Следующее поколение сети GPON
NGA Next Generation Access / Следующее поколение системы доступа
ODN Optical Distribution Network / Оптическая распределительная сеть
OLT Optical Line Termination / Опти
ONT Optical Network Termination / Оптоволоконное сетевое окончание
ONU Optical Network Unit / Устройство оптоволоконной сети
OPEX Operating Expenditure / Операционные расходы
PON Passive Optical Network / Пассивная оптическая сеть
SOA Semiconductor optical amplifier / Полупроводниковый оптический усилитель
TDMA Time Division Multiple Access / Множественный доступ с временным разделением каналов
VoD Video on Demand / Видео по запросу
WBF Wavelength Blocking Filter / Заграждающий фильтр длины волны
WDM Wavelength Division Multiplexing / Мультиплексирование с разделением по длине волны

Адрес автора:

Желько Попович
Электронная почта: zeljko.popovic@ericsson.com
АО Эрикссон Никола Тесла
Крапинск45
П.я. 93
HR-10002 Загреб,
Хорватия

Редакция получила рукопись 14 октября 2010г.