



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.77

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ PON СИСТЕМ

¹Лихачев Н.И., ²Иванов Д.В.

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ», Москва, Россия, (123423, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 32), e-mail: ¹n.likhachev@inbox.ru, ²Dima_19751975@mail.ru

В данной статье проводится сравнительный анализ PON сетей по таким техническим характеристикам как скорость, масштабируемость, полоса пропускания нисходящего и восходящего потока. В статье будут рассмотрены такие технологии как G-PON, 10G-PON, NG-PON2, 25G-PON, 50G-PON, 100G-PON.

Ключевые слова: Технологии G-PON, 10G-PON, NG-PON2, 25G-PON, 50G-PON, 100G-PON.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PON SYSTEMS TECHNOLOGIES

¹Likhachev N.I., ²Ivanov D.V.

ORDER OF THE RED BANNER OF LABOR OF THE MOSCOW TECHNICAL UNIVERSITY OF COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Moscow, Russia, (123423, Moscow, Narodnoye Opolcheniya str., 32), e-mail: ¹n.likhachev@inbox.ru, ²Dima_19751975@mail.ru

This article provides a comparative analysis of PON networks based on such technical characteristics as speed, scalability, downstream and upstream bandwidth. The article will consider such technologies as G-PON, 10G-PON, NG-PON2, 25G-PON, 50G-PON, 100G-PON.

Keywords: G-PON, 10G-PON, NG-PON2, 25G-PON, 50G-PON, 100G-PON technologies.

Вашему вниманию предлагается статья на тему Сравнительный анализ технологий PON систем. Начать мы хотим с рассмотрения с самой распространенной технологии как G-PON. В данной статье будут рассмотрены такие технологии PON сетей как:

- G-PON - G.984 стандарт утвержден в 2003 году
- 10G-PON-(также известный XG-PON или G.987) утвержден в 2010 году Асимметрия.
- 10G-PON-(также известный XGS-PON, G.9807.1) утверждена 22.06. 2016 года. Симметрия.
- NG-PON2(также известная как TWDM-PON) утверждена в 2015 году.
- 25G PON технология.
- 50G PON. (также известная как HSP. G.9804.) утверждена в 2018 году.
- 100G PON технология.

Введение

Проблема, с которой приходится сталкиваться телекоммуникационным сетям – это в увеличении скорости доступа в предоставлении более широкой полосы пропускания.

Суть PON технологии заключается в создании полноценной пассивной оптической сети между OLT и ONT, с древовидной топологией, в промежуточных узлах находятся разветвители (сплиттеры) устройства, не требующие питания и технического обслуживания.

Технология GPON

настоящее время наиболее распространенной технологией является GPON пассивные оптические сети с гигабитной поддержкой, описанной в стандарте ITU-T G.984[1]

В GPON применяется технология WDM разделение каналов по длине волны, передаваемого по оптоволокну. Для загрузки данных используется длина волны 1490 нм, для опправки данных – 1310 нм [2.].

10G-PON

Следующая технология, о которой мы хотели бы рассказать это технология 10G-PON (также известная как XG-PON или G.987) принятый стандарт 2010 года, где пропускная способность нисходящего канала 10 Гбит/с, а восходящего канала 2.5 Гбит/с соответственно. XG-PON является улучшенной версией GPON со значительно более расширенной полосой пропускания.

10GPON технологию еще называют XG-PON1 и XG-PON2 разница у них заключается только в поддерживаемых скоростях передачи. XG-PON1 именуемая еще как (XG-PON) пропускная способность передачи данных по нисходящему потоку 10Гбит/с и пропускная способность восходящего потока 2.5 Гбит/с, тогда как стандарт XG-PON2 именуемая еще как (XGS-PON) на симметричный нисходящий канал и восходящий канал 10 Гбит/с [3]. Аббревиатура S подчеркивает его симметричную архитектуру.

Длина волны в нисходящем направлении в технологии 10 GPON составляет 1577 нм, а соответственно восходящего направления составляет 1270 нм. Коэффициент деления если сравнивать с предыдущей технологией, которую мы рассматривали ранее у GPON он равнялся 1:64, а уже более новая 10 GPON поддерживает коэффициент разделения 1:128.

15 декабря 2023года компания «МТС» [4] объявила, что успешно провела свои тесты в городе Москве на магистральной сети фиксированного интернета XGS-PON поддерживающей скорость передачи данных до 10 Гбит/с, это во много раз превышает показатели нынешнего GPON. Успешное тестирование оборудования на узле связи подтвердило готовность компании МТС к подключению к сверхбыстрому интернету в 2024 году в квартиры в новых жилых комплексах г. Москвы только при наличии договоренности с застройщиками.

Что входит в тариф.

Тариф №8[5].

Выберите свою ультраскорость 40 Гбит/с 2500 мин.

Безлимитные соцсети и мессенджеры 200+ ТВ-каналов. Домашний интернет от 2 Гбит/с до 8 Гбит/с за 5990Р/мес.

Скорость в сети XGS-PON такова, что видеофайл с фильмом, сверхвысокой четкости объемом 8 Гб, загружаются за 20-25 секунд независимо от того сколько еще используется телефонов, планшетов и ноутбуков в квартире. Такая скорость актуальна для специалистов,

чи профессии или увлечения связаны с ИТ-технологиями: видеомонтаж и звукорежиссура, строительство, обработка огромных данных, а также: игрокам или семьи, где используется большое количество телефонов, планшетов и ноутбуков.

Чтобы проверить как это все работает на узле связи в Москве было поставлено стационарное оборудование XGS-PON OLT (Optical Line Terminal), а на стороне абонента испытали абонентское оборудование XGS PON ONT (Optical Network Terminal). Оборудование продемонстрировало бесперебойную и надежную работу со скоростью до 10 Гбит/с в восходящем и нисходящем потоках.

На международной выставке мобильной индустрии MWC 2024 компания D-Link анонсировала свою новую линейку оборудования с поддержкой технологии XGS-PON с доступом в интернет со скоростью до 10 Гбит/с, что в несколько раз превышает скорость актуальной на данный момент технологии GPON.

NG-PON2

Один из последних стандартов PON под эгидой ITU-T — стандарт NG-PON2 серии G.989 [6] стандарт, утвержденный в 2015 году.

Если XG-PON и XGS-PON — это одноканальные технологии, в которых предоставляемая полоса пропускания делится в соответствии с коэффициентом разделения, NG-PON2 — это многоканальная система PON, которая не только увеличивает пропускную способность волокна в четыре раза, но и предоставляет конфигурируемые оптические сетевые устройства (ONT), что дает значительное преимущество по сравнению с технологией 10G-PON.

Стандарт NG-PON2 обеспечивает общую пропускную способность сети 40Гбит/с в направлении DS и 10 Гбит/с в направлении US.

Такая скорость обеспечивается за счет использования нескольких длин волн с плотным разделением каналов по длине волны (DWDM) и технологии перестраиваемого приемопередатчика в абонентских терминалах (ONT).

Суть этой технологии (DWDM) заключается в том, что в одном волокне можно передавать несколько сигналов с разными длинами волн.

NG-PON2 использует выделенный диапазон длин волн: для направления DS выделяется диапазон от 1596 нм до 1602 нм, а для направления US выделяется диапазон от 1524 нм до 1544 нм.

Архитектура NG-PON2 обеспечивает мультиплексирование с временным разделением каналов (TWDM) и с разделением по длине волны. Мультиплексирование с разделением длины волны нисходящего потока происходит в результате объединения четырех OLT лазеров определенной длины волны с мультиплексированием длины волны. Потом свет проходя через фильтр находящийся в каждом ONT с помощью перестраиваемого фильтра, который пропускает к приемнику только определенную длину волны ниже по потоку. В направлении вверх по потоку перестраиваемым лазерам в каждом ONT динамически присваивается длина волны. Волокна от всех ONT объединены с пассивным мультиплексирующим устройством /разветвителем. Мультиплексирование с временным разделением данных обеспечивается в направлении вверх по потоку за счет использования импульсных лазеров в каждом ONT.

Благодаря мультиплексированию с разделением по длине волны на четырех длинах волн, с полосой пропускания в 10 Гбит /с каждая, NG-PON2 может организовать пропускную способность до 40 Гбит/с.

Преимущество этого решения является возможность то, что оптические каналы могут быть зарезервированы для ONT. В базовой конфигурации восемь каналов PtP WDM обеспечивают сочетания со старыми PON системами.

Топологии следующего поколения 25G-PON

В отличие от китайских компаний, специализирующихся на телекоммуникационном оборудовании которые выбрали технологию 50G PON европейские компании пошли в сторону технологии 25G PON.

Компания Nokia 12 марта 2024 г анонсировала симметричный оптоволоконный модем 25G PON (модель U-010Y-A)[7], предназначенный для создания сетей связи с высокой пропускной способностью. У модема поддерживается симметричная пропускная способность 25 Гбит/с.

По заявлениям компании Nokia, новое решение 25G PON позволяет операторам модернизировать существующую сеть GPON или XGS PON для обеспечения скорости 10 Гбит/с и более.

Модем может применяться для подключения сотовых станций и для передачи мобильного трафика по PON сети в режиме plug-and-play. Для него заявлена возможность работать вместе с такими технологиями как с GPON, XGS-PON и 50G PON.

На сегодняшний день Nokia поставила более 1 млн портов 25G PON. Технологию внедряют такие компании, как Google Fiber, EPB, Vodafone Qatar и OGI. Более 30 операторов по всему миру тестируют 25G PON для различных сценариев использования.

Топологии для следующего поколения 50G-PON

50G-PON — это технология, позволяющая передавать данные со скоростью 50ГГбит/с на одной длине волны.

23 апреля 2021 года был введен международный стандарт 50G PON который официально был принят на общем собрании 15-й исследовательской группы Международного союза электросвязи (ITU-T SG15). 50G TDM PON — это технология PON нового поколения после 10G PON. 50G PON уже был запущен в коммерческое использование в 2023 году в Европе.

G.9804.3[8] (G.hsp.50Gpmd): спецификация пассивных оптических сетей с поддержкой 50 гигабит (50G-PON) – спецификация уровня зависимости от физических носителей (PMD) – это стандарт для жилых коммерческих и мобильных сетей. Этот стандарт был утвержден в сентябре 2021 года. В сентябре 2021 года ITU-T официально представил первую версию стандарта 50G-PON. Она включает технические спецификации, которые поддерживают асимметричные скорости и сосуществование двух поколений (10G-PON или GPON).

Усовершенствованные варианты взаимодействуют между собой и поддерживают плавное обновление, при этом методы реализации разделены на две схемы: двухрежимную MPM (встроенный компонент объединения волн) и внешнее объединение волн.

Поставщик, который активно вкладывает деньги в индустриализацию сети 50G-PON и постоянно продвигает ее вперед это компания ZTE.

100G PON технология

100G-PON — это технология широкополосного доступа, разработанная компанией FiberHome.

Она предоставляет скорость 25 Гбит/с на одной длине волны и является наиболее перспективной в данной области.

Пропускная способность одного волокна может достигать 100Гбит/с обеспечивая гигабитный широкополосный доступ для конечных пользователей, а также удовлетворяя требованиям сотовых сетей пятого поколения со скоростью доступа до 10 Гбит/с.

Технология 100G-PON разрабатывается в сотрудничестве с организациями по стандартизации IEEE/FSAN/ITU-T.

В заключении я хотел бы подвести итоги всего вышесказанного и выразить это в таблице.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика PON сетей.

	G-PON	XG-PON	XGS-PON	NG-PON2	25G-PON	50G-PON
Стандарт	G.984	G.987	G.9807.1	G.989	25G-PON	G.9804(HSP)
Полоса пропускания вниз по потоку	2.5Гбит/с	10Гбит/с	10Гбит/с	40Гбит/с	25Гбит/с	50Гбит/с
Полоса пропускания вверх по потоку	1.25Гбит/с	2.5Гбит/с	10Гбит/с	10Гбит/с	10/25Гбит/с	10/25/50Гбит/с
Масштабируемость	1:64	1:128	1:128	1:256	1:512	1:512
Год	2003г.	2010г.	2016г.	2015г.		2021г.
Макс. длина передачи, км	60	100	100	100	–	
Длина волны прямой поток	1490нм	1577нм	1577нм	1596-1602		
Длина волны обратный поток	1310нм	1270нм	1270нм	1524-1544		

Технические характеристики 100G PON

Факторы, которые следует учитывать при выборе длин волн для PON 100G, включают дисперсию волокна, потери в волокне, совместимость с PON, стоимость оптических устройств и техническую сложность. 100G PON поддерживает три скорости: 25G, 50G и 100G. ZTE в союзе с несколькими компаниями отрасли предлагает план использования всех длин волн O-диапазона, который был принят организациями по стандартизации. Схема длины волны имеет много преимуществ, таких как модуляция NRZ, отсутствие сложной компенсации дисперсии, использование лазеров с прямой модуляцией (DMLs) и лазеров с внешней модуляцией (eMLS), а также простота реализации на физическом уровне.

Технические характеристики 25G PON

Увеличение пропускной способности в 2,5 раза при увеличении затрат менее чем в 2,5 раза является экономически эффективной стратегией. Для этого можно использовать длины волн О-диапазона, упрощенную передачу данных с использованием технологий центров обработки данных (NRZ), по сравнению со сложными и дорогостоящими схемами модуляции, такими как PAM4, снижение энергопотребления и двухскоростную передачу данных на 5 дБ до 25 Гбит / с по сравнению с 10 Гбит / с за счет сочетания более высокой мощности запуска, повышенной чувствительности приемника и надежного FEC позволяет придерживаться бюджета потерь на 29 дБ.

Стандарт 25G-PON предписывает использование длины волны 1358 нм для нисходящего потока и предоставляет три варианта нисходящего потока.

- **Вариант 1:** 1300 нм (подмножество GPON) для совместной работы с XGS-PON.
- **Вариант 2:** 1270 нм (такой же, как у XGS-PON) для совместной работы с GPON.
- **Вариант 3:** 1286 нм для поддержания тройного взаимодействия с 25G PON, XGS-PON и GPON.

Технические характеристики 50G-PON

Эти данные включают в себя использование длины волны 1340-1344 нм для нисходящего потока и дают три варианта нисходящего потока.

- *Вариант 1: 1260-1280 нм широкополосный для совместной работы с GPON*
- *Вариант 2: 1290-1310 нм широкополосный для совместной работы XGS-PON и XG-PON*
- *Вариант 3: 1298-1302 нм узкополосный для обеспечения тройного взаимодействия 25G PON.*

Технические характеристики 100G PON

При выборе длин волн для PON 100G следует учитывать дисперсию волокна, потери в волокне, совместимость с PON, стоимость оптических устройств и техническую сложность. 100G PON поддерживает три скорости: 25G, 50G и 100G.

ZTE предлагает использование всех длин волн О-диапазона, что имеет много преимуществ, таких как модуляция NRZ, отсутствие сложной компенсации дисперсии и простота реализации на физическом уровне.

Технология PON продолжает развиваться, чтобы соответствовать требованиям к высокоскоростному и эффективному широкополосному доступу. GPON, XG PON и XGS PON предлагают разные скорости и полосы пропускания. NG-PON2 является многоканальной системой PON, которая увеличивает пропускную способность волокна и предоставляет конфигурируемые оптические сетевые устройства.

С каждой последующей технологией (25G PON, 50G PON, 100G PON) увеличивается полоса пропускания и скорость интернета.

Заключение

Технология PON продолжает развиваться, чтобы соответствовать требованиям к высокоскоростному и эффективному широкополосному доступу. GPON, XG PON и XGS PON

предлагают разные скорости и полосы пропускания. NG-PON2 является многоканальной системой PON, которая увеличивает пропускную способность волокна и предоставляет конфигурируемые оптические сетевые устройства.

С каждой последующей технологией (25G PON, 50G PON, 100G PON) увеличивается полоса пропускания и скорость интернета.

Список литературы

1. ITU-T Recommendation G.984.1: Пассивные оптические сети с поддержкой гигабита (GPON): общие характеристики". ITU-T. 2003-2012.
2. Салтыков. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2019. — 128 с. — Текст: электронный //Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180158> (дата обращения: 19.03.2024).
3. ITU-T Recommendation "Пассивные оптические сети с поддержкой 10 гигабит (XG-PON): общие требования". G.987. Международный союз электросвязи. 13 января 2010 г. Проверено 7 мая 2011 года.
4. МТС запустит технологию XGS-PON для сверхскоростного домашнего интернета Электронный ресурс. URL: <https://moskva.mts.ru/about/media-centr/soobshheniya-kompanii/novosti-mts-v-rossii-i-mire/2023-12-15/mts-zapustit-tehnologiyu-xgs-pon-dlya-sverhskorostnogo-domashnego-interneta> (дата обращения 21.03.2024 года).
5. Ультраскорость вашего домашнего интернета. Электронный ресурс. URL: <https://x.mts.ru/xgspn>
6. Электронный ресурс. URL: ITU-T Recommendation G.989.2 <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.2>. 3
7. Электронный ресурс. Nokia запускает новый оптоволоконный модем 25G PON для ускорения развертывания многогигабитной широкополосной связи. URL: <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2024/03/12/nokia-launches-new-25g-pon-fiber-modem-to-accelerate-multi-gigabit-broadband-deployments/>(дата обращения 21.03.2024 года).
8. Электронный ресурс. URL: ITU-T Recommendation G.9804. (G.hsp.50Gpmd) – https://en.everybodywiki.com/50-Gigabit-capable_passive_optical_networks ".

References

1. ITU-T Recommendation G.984.1: Passive optical networks with Gigabit support (GPON): general characteristics". ITU-T. 2003-2012.
2. Saltykov. — St. Petersburg: St. Petersburg State University named after M.A. Bonch-Bruevich, 2019. — 128 p. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180158> (date of reference: 03/19/2024).
3. ITU-T Recommendation "10 Gigabit passive optical networks (XG-PON): general requirements". G.987. International Telecommunication Union. January 13, 2010 Verified on May 7, 2011.
4. MTS will launch XGS-PON technology for ultra-high-speed home Internet Electronic resource. URL: <https://moskva.mts.ru/about/media-centr/soobshheniya-kompanii/novosti-mts-v-rossii-i-mire/2023-12-15/mts-zapustit-tehnologiyu-xgs-pon-dlya-sverhskorostnogo-domashnego-interneta> (accessed 03/21/2024).

5. Ultra-speed of your home Internet connection. An electronic resource. URL: <https://x.mts.ru/xgspon>
 6. Electronic resource. URL: ITU-T Recommendation G.989.2 <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.2>
 7. Electronic resource. Nokia is launching a new 25G PON fiber modem to accelerate the deployment of multi-gigabit broadband. URL: <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2024/03/12/nokia-launches-new-25g-pon-fiber-modem-to-accelerate-multi-gigabit-broadband-deployments/> (accessed 03/21/2024).
 8. Electronic resource. URL: ITU-T Recommendation G.9804. (G.hsp.50Gpmd) – https://en.everybodywiki.com/50-Gigabit-capable_passive_optical_networks ".
-