

ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ ДОСТУПА БОЛЬШОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ (LONG-REACH PON). РЕШЕНИЯ DISCUS

Ионикова Елена Петровна, *Сибирский
Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, ionikova.lena@mail.ru*

DOI 10.24411/2072-8735-2018-10172

Шувалов Вячеслав Петрович,
*Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, shvp04@mail.ru*

Яковлев Артем Сергеевич,
*Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, yakovlev-as@yandex.ru*

Ключевые слова: Long-Reach PON, WDM,
DISCUS, сплиттер, ядро сети.

Технология пассивных оптических сетей доступа (PON, Passive Optical network) за более чем 20 лет своего существования прошла путь от APON до NGPON2. Последняя была стандартизована в 2015 году.

По мере совершенствования технологии PON росла пропускная способность таких сетей доступа и соответственно скорости передачи данных в расчете на одного пользователя. При этом росли как капитальные, так и эксплуатационные затраты в пересчете на одного пользователя.

Как показали исследования, направленные на снижение этих затрат, выполненные в различных странах, выходом из создавшейся ситуации, может явиться переход к технологии Long-Reach PON (LR-PON). Сети LR-PON – это оптические сети большого радиуса действия, которые в отличие от GPON, позволяют увеличить расстояние от оптического линейного терминала (OLT-Optical line Terminal) до 100-120 км, обеспечить консолидацию OLT в соотношении 1:50 и более, конвергенцию сети доступа и сети метро, уменьшить потребление электроэнергии. Использование технологии LR-PON позволяет обеспечить экономичное развертывание сети доступа в регионах как с большой плотностью населения, так и с малой, т.е. решить проблему "цифрового неравенства". Наибольший вклад в решение задач по исследованию различных подходов к построению сетей LR-PON внес консорциум DISCUS (The DIStributed Core for unlimited bandwidth Supply for all Users and services).

Информация об авторах:

Ионикова Елена Петровна, аспирант кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, г. Новосибирск, Россия

Шувалов Вячеслав Петрович, д.т.н, профессор кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, г. Новосибирск, Россия

Яковлев Артем Сергеевич, старший преподаватель, аспирант кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, г. Новосибирск, Россия

Для цитирования:

Ионикова Е.П., Шувалов В.П., Яковлев А.С. Оптические сети доступа большого радиуса действия (long-Reach Pon). Решения DISCUS //Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №11. С. 22-27.

For citation:

Ionikova E.P., Shuvalov V.P., Yakovlev A.S. (2018). Long-reach passive optical networks. Discus solution. T-Comm, vol. 12, no.11, pp. 22-27. (in Russian)

Введение

Из года в год растет потребность во все более высоких скоростях передачи данных, что вызвано необходимостью предоставления широкополосных услуг. К ним относятся видео по требованию, HDTV, видео в режиме реального времени, облачные вычисления, телемедицина и др. Согласно закону Нильсона (Nielsen's law) потребность в пропускной способности сетей доступа растет ежегодно на 50%, что означает ее рост за десять лет в 57 раз.

Для увеличения пропускной способности существующих пассивных оптических сетей (PON) предлагаются различные варианты. Прежде всего, это использование в TDM сетях новых стандартов, разработанных IEEE и ITU-T. Во-вторых, рассматриваются пути обеспечения высоких скоростей передачи информации за счет использования различных вариантов WDM (CWDM, DWDM, UDWDM). При этом увеличение пропускной способности сетей доступа сопровождается ростом как капитальных, так и эксплуатационных затрат. Доходы от предоставления канала с более высокой пропускной способностью растут значительно медленнее, чем затраты на обеспечение этой пропускной способности. Отсюда вытекает необходимость поиска путей сокращения затрат на обеспечение роста пропускной способности сетей доступа. Обычно эти затраты рассматриваются в пересчете на одного пользователя, который и является источником прибыли.

Исследования, проведенные в ряде стран (прежде всего Англии, Ирландии, Франции) показали, что существенного сокращения затрат можно добиться путем перехода к технологии Long-Reach PON, при которой сеть доступа простирается до 100 и более километров. При этом происходит конвергенция сети доступа и городской (metro) сети, увеличивается число подключенных к OLT сетевых устройств (ONU) до 1000 и более, создаются условия для консолидации OLT (примерно в соотношении 1:50) в одном помещении, которое называется центральным офисом (Central Office, CO).

Решения DISCUS

Существует множество работ, посвященных данному сетевому решению. На сегодняшний день одно из наиболее значимых мест среди организаций, системно разрабатывающих телекоммуникационные сети на основе LR-PON, принадлежит DISCUS (The DIStributed Core for unlimited bandwidth supply for all Users and Services) [1-12]. Хотя проект DISCUS берёт своё начало с 2012 года, концепция LR-PON и идея укрупнения центральных узлов (Central Office, CO) не нова. Начиная с 90-х годов прошлого века в лабораториях BT (British Telecom) такая концепция развивалась в проектах ACTS-PLANET, PIEMAN и др. [13-19]. В проекте PLANET разработаны базовые принципы LR-PON, хотя и на более низких скоростях, чем предлагает DISCUS. Проект PIEMAN предполагает использование симметричных каналов с пропускной способностью 10 Гбит/с, которая также принята в базовой архитектуре DISCUS.

Тем не менее, к 2012 году, когда появился консорциум DISCUS, ещё не были исследованы вопросы компенсации дисперсии, пути исправления ошибок.

Кроме того, если в PIEMAN предлагается статический метод с разделением по длине волны (WDM), то в архитектуре DISCUS предлагается гибкое распределение длин волн.

В проектах ACCORDANCE и OASE предложено применение DWDM уплотнения и когерентный приём. DISCUS переходит от рассмотрения отдельных участков сети к решению вопросов передачи информации из конца в конец с перераспределением информационных ресурсов в рамках проектирования отдельных участков сети.

Перераспределение затрат станет ключевым моментом в рамках внедрения FTTH-решений в Европе, и оно достигается за счёт максимального снижения затрат в ядре (core) сети и метро сетях. Это позволит перераспределить инвестиции в сетях доступа [2].

Основными и ключевыми проблемами в рамках проекта DISCUS являются финансовые, социальные и экологические. Финансовая сторона вопроса состоит в обеспечении приемлемой стоимости развертывания сети. Дело в том, что существует проблема несоответствия затрат на обеспечение высокой пропускной способности и будущих доходов.

Экологическая составляющая заключает в себе проблему высокой затрачиваемой мощности, которая идет на обеспечение телекоммуникаций по всему миру. Социальная проблема означает устранение «Цифрового неравенства» между населенными пунктами с различной плотностью населения, которое желательно решить с минимальными государственными субсидиями.

Именно поэтому DISCUS ставит перед собой основной целью создание сквозной сетевой архитектуры (ее составляющими являются сети доступа, метро и магистральные сети), которая может быть экономично масштабируема для увеличения пропускной способности в тысячи раз.

DISCUS работает над созданием сетевой архитектуры с минимальным энергопотреблением (с минимальной потребляемой мощностью на единицу полосы пропускания). Уже достигнуто снижение потребления энергии примерно на один порядок. Новая модель потребления энергии обеспечивает, при увеличении полосы пропускания в 500 раз, сокращение потребления энергии в 16 раз для сети DISCUS.

На данный момент уже проработано решение на основе сети доступа LR-PON по переходу к плоскому оптическому ядру с обходом сети метро и объединением большинства LE/CO (консолидация CO).

Переход к плоскому оптическому ядру приводит к минимизации числа преобразований OEO (Optic-Electric-Optic) (рис. 1) [1].

Так как переход к плоскому оптическому ядру предполагает соединение всех м/с узлов по принципу каждый с каждым, то такой подход требует наличия $N(N-1)/2$ соединений, что в условиях сетей большого масштаба неприемлемо. Поэтому ядро сети делится на ряд островов, в пределах которых обеспечивается соединение каждого узла с каждым.

В свою очередь, острова соединяются друг с другом. В сетях с высокой пропускной способностью (таких как уровень ядра, сформированного из оптических островов) одной из наиболее важных проблем является проблема отказоустойчивости.

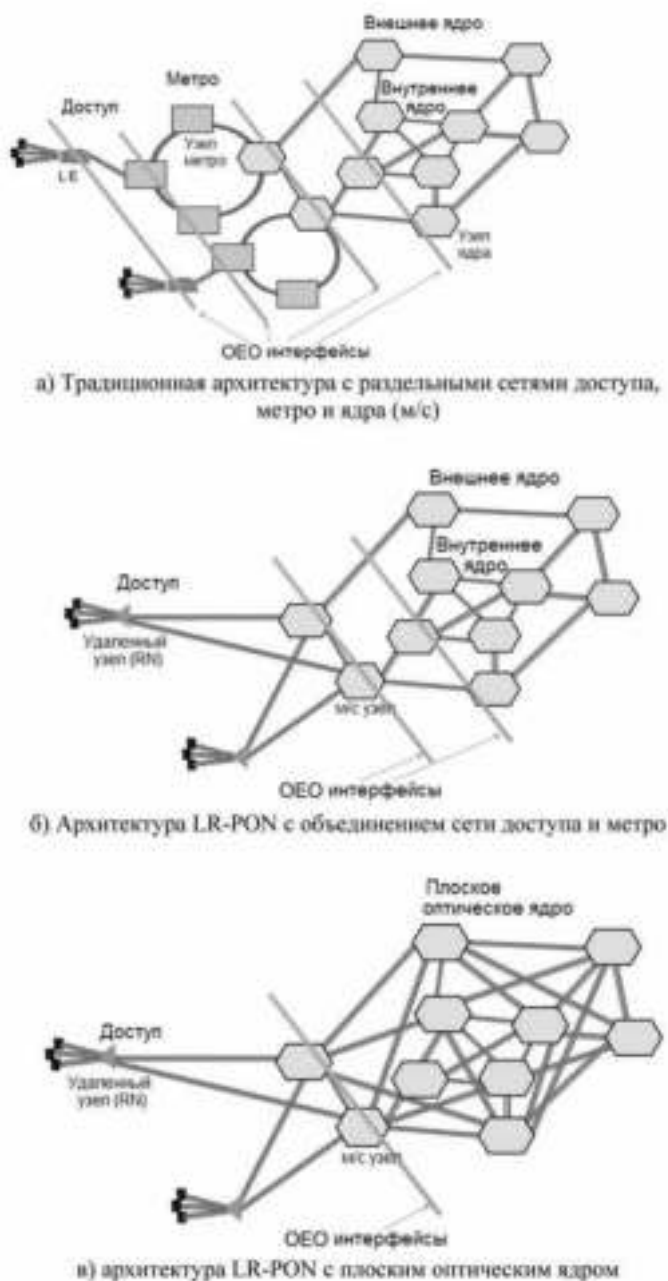


Рис. 1. Эволюция сетевой архитектуры от традиционных раздельных сетей доступа, метро и ядра к LR-PON с плоским оптическим ядром

Еще одна цель DISCUS: обеспечение симметричной полосы пропускания LR-PON со скоростью минимум 10 Гбит/с и с разветвлением на 512 направлений. Эта цель была достигнута и продемонстрирована в декабре 2015 года в ECOC и в институте Тиндаль, Корк, Ирландия. При этом было обеспечено повышение скорости передачи данных в нисходящем направлении до 40 Гбит/с. Помимо этого была продемонстрирована возможность передачи данных со скоростью 100 Гбит/с с использованием инфраструктуры LR-PON, была решена проблема снижения числа CO с обработкой трафика примерно на 98%.

Снижение числа CO для Великобритании составляет 98,7%, Италии – 98,9%, Испании – 98,0% и Ирландии –

98,5%. Еще одной задачей является сокращение сетевых портов и карт сетевых портов для максимально возможного использования сетевых ресурсов, а также разработка защитных механизмов и систем [7].

Стратегия совместного использования инфраструктуры и уменьшения числа узлов неизбежно ведет к архитектуре LR-PON в сетях доступа и метро сетях. LR-PON позволяет использовать оптическую инфраструктуру как можно ближе к клиенту, применяя простые пассивные сплиттеры. Пассивные сплиттеры не потребляют энергию и отличаются высокой надежностью. LR-PON использует оптическое усиление для поддержки высокого суммарного коэффициента разделения (порядка 500-1000), большего расстояния (более 100 км) и более высоких скоростей передачи, чем сегодняшние решения PON. Более высокий коэффициент разделения сигналов означает, что есть возможность иметь несколько ступеней разделения для дальнейшего увеличения совместного использования инфраструктуры и минимизации затрат на клиента.

Подходящее место для точек разделения: оптический сплиттер 3-го уровня, находящийся рядом с местонахождением клиентов; первичный кросс-коннектор (PCP), называемый оптическим сплиттером 2-го уровня, который располагается в шкафу, как правило, менее 1 км от пользователей; LE (Local Exchange), сплиттер 1-го уровня (рис. 2) или центральный офис, где находятся оптические усилители. Средняя дистанция от пользователя до LE будет составлять от 2 до 3 км, но хвост этого распределения по длине может достигать 10 км, поэтому оптическая распределительная сеть (ODN) рассчитана на длину не менее 10 км, как показано на Рис. 2а. Здесь же показан основной механизм защиты оптических фидеров, основанный на подключении к двум узлам DISCUS (м/с узлам).

В слабозаселенных сельских районах требуется расширение области действия ODN, и рассматриваются альтернативные конфигурации. Возможное решение показано на Рис. 2б, где увеличена длина ODN, но взамен выбрана меньшая длина участка агрегации сети. Преимущество предлагаемого решения для ODN заключается в том, что при этом обеспечивается покрытие большого количества точек доступа (которые, как правило, распределены в сельских районах с низкой плотностью). Главный компромисс заключается в том, что, поскольку потери в ODN теперь намного больше и разнообразнее, чем на вышестоящем участке сети, число поддерживаемых пользователей меньше. На рисунке 3 показано практическое соотношение (аналитически рассчитанное) между протяженностью ODN и максимальным количеством пользователей PON, предполагается, что имеем 512 пользователей для случая, когда ODN – 10 км [20].

В настоящее время DISCUS разработана гибкая плоскость управления, которая позволяет «многослойно» (через уровни L2 и L3 семитуровой модели) коммутировать потоки трафика на основных узлах. Она была продемонстрирована на конференции ECOC 2015 и более подробно рассмотрена на презентации в Институте Тиндаль, Корк, Ирландия в декабре 2015 года.

При разработке сети также необходимо убедиться, что решение сможет поддерживать внедрение новых технологий по мере их возникновения, сосуществуя с технологиями предыдущего поколения.

На данный момент уже удалось достигнуть следующих результатов:

1. Волоконная инфраструктура LR-PON прозрачна, и любая оптическая технология может быть развернута на основе трактов с использованием волн различной длины. Была также продемонстрирована успешная совместная работа на разных скоростях передачи данных и при разных схемах модуляции.

2. Оптический уровень коммутации в MC-узле (метро-ядро), как предлагается в архитектуре DISCUS, можно разделить и использовать для создания отдельных участков коммутации для внедрения новых или экспериментальных технологий, включая полностью новые стеки протоколов, которые могли бы заменить Ethernet и IP/MPLS в будущем.

3. Эти новые технологии должны сосуществовать с современными технологиями, и, в случае успеха, в конечном итоге вытеснить устаревшие технологии.

DISCUS также предполагает разработку сетевой архитектуры с объединением беспроводных и проводных оптических технологий доступа и составление документации для разработки тарифной политики, которая позволит создать конкурентную среду, на которую по большей части будут оказывать влияние пользователи, а не сетевые операторы и поставщики услуг.

Заключение

Наработки консорциума DISCUS – это решение трех ключевых проблем – проблемы обеспечения экономической эффективности развертывания оптических сетей доступа, снижения энергопотребления и ликвидации цифрового неравенства. Снижение капитальных и эксплуатационных затрат достигается за счет увеличения числа потребителей, конвергенции сети доступа и метро, консолидации оптических линейных терминалов. Консолидация OLT также является одним из факторов уменьшения потребления электроэнергии.

За период с момента создания консорциума его членами была разработана архитектура сетей LR-PON, произведена оптимизация сетей, разработаны подходы по технико-экономическому анализу сетей LR-PON и представлены рекомендации по внедрению таких сетей, исходя из условий, сложившихся в разных странах на данный момент.

Литература

1. Eitenberger F., Mukai H., Park S. and Pfeiffer T. Next Generation PON-Part II: Candidate Systems for Next Generation PON. IEEE Communication Magazine, Vol. 47, no 11, pp. 50-57, November 2009.
2. DISCUS Deliverable D6.5: Final report on the specification of the metro/core node architecture. July 2015.
3. DISCUS Deliverable D2.8: DISCUS end-to-end techno-economic model, October 2015.
4. DISCUS Deliverable D4.13: Resiliency in heterogeneous long reach access networks. June 2015.
5. DISCUS Deliverable D4.2: System specifications for LR-PON implementation. November 2013.
6. DISCUS Deliverable D4.4: Optical layer supervision tools and processes for long reach optical access. April 2014.
7. DISCUS Deliverable D4.5: Optimization models for long-reach access networks. April 2014.
8. DISCUS Deliverable D2.2: First WP2 Progress Report. September 2013.
9. DISCUS Deliverable D2.6: Architectural optimization for different geo-types. October 2014.
10. DISCUS - The DIStributed Core for unlimited bandwidth supply for all Users and Services. http://www.bk.isy.liu.se/research/Security_in_all_optical/DISCUS%20overview%20short%206-%202013.pdf
11. DISCUS - An end to end architecture for a high performance, economic and low power future broadband network.

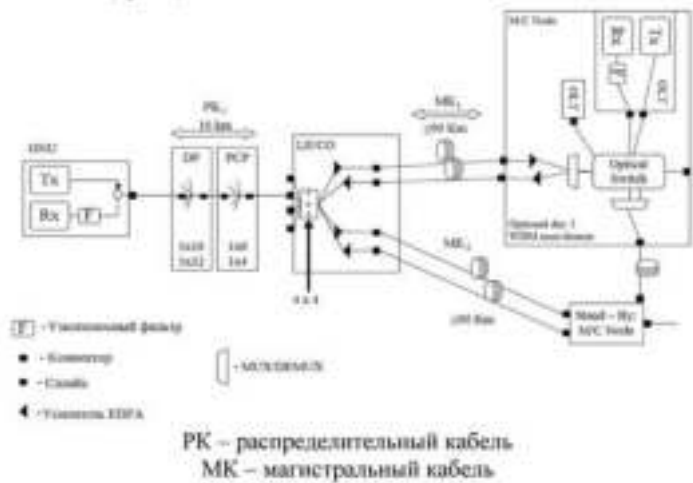


Рис. 2. а) Основной дизайн LR-PON

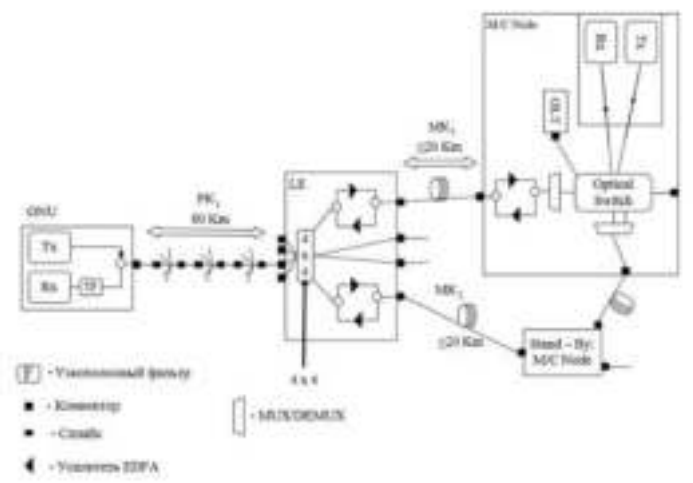


Рис. 2. б) Решение LR-PON для сельских районов

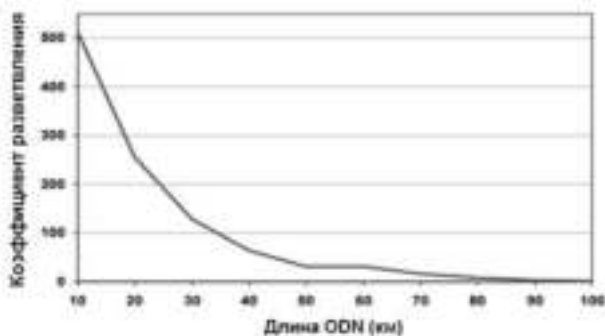


Рис. 3. Уменьшение коэффициента разветвления PON при увеличении длины ODN

http://eaon.i2cat.net/wp-content/files_flutter/DISCUS_CaON_Concertation_meeting_Brussels_March_2016.pdf

12. End-to-end testing of SDN-controlled broadband architectures through GEANT: the DISCUS experience. <https://tnc16.geant.org/core/presentation/683>.

13. *Arren P. Shea*, Long-Reach Optical Access Technologies / Arren P. Shea, John E. Mitchell // IEEE Network, 2007.

14. *Huan Song*, Long-Reach Optical Access Network: A Survey of Research Challenges, Demonstration, and Bandwidth Assignment Mechanisms / Huang Song, Byoung-Whi Kim, Biswanath Mukherjee. IEEE Communications surveys & Tutorials. Vol. 1, 2010.

15. *Peter Ossieur*, Demonstration of a 32x512 Split, 100 m Reach, 2x32x10 Gb/s Hybrid DWDM-TDMA PON Using Tunable External Cavity Lasers in the ONUs / Peter Ossieur, Cleitus Antony, Alan Naughton, Aisling M. Clarke, Heinz-Georg Krimmel. IEEE Journal of Lightwave Technology. Vol. 24, 2011.

16. *C. Antony et al.*, Demonstration of a Carrier Distributed, 8192-Split Hybrid DWDM-TDMA PON Over 124 km Field-Installed Fibers / Cleitus Antony, Peter Ossieur, Aisling M. Clarke, Alan Naughton, Heinz-Georg Krimmel, Y. (Frank) Chang, Anna Borghesani, David Moodie, Alistair Poustie, Richard Wyatt, Bob Harmon, Ian Lealman, Graeme Maxwell, Dave Rogers, David W. Smith, Derek Nessel, Russell P. Davey, and Paul D. Townsend, Opt. Fiber Commun. Conf. and Nat.

Fiber Opt. Eng. Conf. (OFC/NFOEC'10), Techn. Digest (San Diego, CA, USA, 2010), post-deadline paper PDPD8.

17. *P. Ossieur et al.*, A symmetric 320Gb/s capable, 100km extended reach hybrid DWDM-TDMA PON / Peter Ossieur, Cleitus Antony, Alan Naughton, Aisling Clarke, Paul D Townsend, Heinz-Georg Krimmel, Tine De Ridder, Xing-Zhi Qiu, Cedric Melange, Anna Borghesani, Dave Moodie, Alistair Poustie, Richard Wyatt, Bob Harmon, Ian Lealman, Graeme Maxwell, Dave Rogers, David W Smith, Opt. Fiber Commun. Conf. and Nat. Fiber Opt. Eng. Conf. (OFC/NFOEC'10), Techn. Digest (San Diego, CA, USA, 2010), paper NWB1.

18. *D. Nessel, R. Davey, D. Shea, P. Kirkpatrick, S. Shang, M. Lobel, B. Christensen*, 10 Gbit/s bidirectional transmission in 1024-way split, 110 km reach, PON system using commercial transceiver modules, super FEC and EDC, Proc. 31st Europ. Conf. Opt. Commun. (ECOC'05), Glasgow, UK (2005), paper Tu1.3.1.

19. The Photonic Integrated Extended Metro and Access Network (PIEMAN) EU FP6 Project, <http://www.ist-pieman.org/>.

20. *M. Ruffini et al.*, Deployment strategies for protected long-reach PON / Marco Ruffini, Deepak Mehta, Barry O'Sullivan, Luis Quesada, Linda Doyle, D Payne, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking. Vol. 4, no. 2, pp. 118-129, Feb. 2012.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ФОРУМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

ИНФОФОРУМ

infoforum.ru

2019 January-February
31-1
января февраля

Moscow Москва

БОЛЬШОЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ИНФОФОРУМ2018

CRAND NATIONAL FORUM FOR INFORMATION SECURITY
INFOFORUM 2018

LONG-REACH PASSIVE OPTICAL NETWORKS. DISCUS SOLUTION

Elena P. Ionikova, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Novosibirsk, Russia,
ionikova.lena@mail.ru

Vyacheslav P. Shuvalov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Novosibirsk, Russia,
shvp04@mail.ru

Artem S. Yakovlev, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Novosibirsk, Russia,
yakovlev-as@yandex.ru

Abstract

The technology of passive optical access networks (PON) for more than 20 years of its existence has gone from APON to NGPON2. The latter was standardized in 2015. With the improvement of PON technology, the bandwidth of such access networks and, accordingly, the speed of data transfer per user increased. At the same time, both capital and operating costs grew per user.

The researches aimed at reducing these costs, were carried out in different countries. The transition to Long-Reach PON (LR-PON) technology may be solution. LR-PON networks are long-range optical networks unlike from GPON allow us to increase the distance from the optical line terminal (OLT) to 100-120 km, to provide consolidation of OLT in a ratio of 1:50 or better convergence network access and metro network, reduce electricity consumption. The use of LR-PON technology provides economical deployment of the access network in the regions with both high population density and low population density, i.e. solve the problem of "digital inequality". The largest contribution to the solution of problems on the study of various approaches to the construction of LR-PON networks was made by the DISCUS consortium (The DIStributed Core for unlimited bandwidth for all users and services).

Keywords: Long-Reach PON, WDM, DISCUS, splitter, network core.

References

1. Ettenberger F., Mukai H., Park S. and Pfeiffer T. (2009). Next Generation PON-Part II: Candidate Systems for Next Generation PON. *IEEE Communication Magazine*. Vol. 47, no 11, pp. 50-57, November 2009.
2. DISCUS Deliverable D6.5: Final report on the specification of the metro/core node architecture. July 2015.
3. DISCUS Deliverable D2.8: DISCUS end-to-end techno-economic model, October 2015.
4. DISCUS Deliverable D4.13: Resiliency in heterogeneous long reach access networks. June 2015.
5. DISCUS Deliverable D4.2: System specifications for LR-PON implementation. November 2013.
6. DISCUS Deliverable D4.4: Optical layer supervision tools and processes for long reach optical access. April 2014.
7. DISCUS Deliverable D4.5: Optimization models for long-reach access networks. April 2014.
8. DISCUS Deliverable D2.2: First WP2 Progress Report. September 2013.
9. DISCUS Deliverable D2.6: Architectural optimization for different geo-types. October 2014.
10. DISCUS – The DIStributed Core for unlimited bandwidth supply for all Users and Services. http://www.bk.isy.liu.se/research/Security_in_all_optical/DISCUS%20overview%20short%206-%202013.pdf.
11. DISCUS – An end to end architecture for a high performance, economic and low power future broadband network. http://caon.i2cat.net/wp-content/files_flutter/DISCUS__CaON_Concertation_meeting_Brussels_March_2016.pdf
12. End-to-end testing of SDN-controlled broadband architectures through GEANT: the DISCUS experience. <https://tnc16.geant.org/core/presentation/683>.
13. Arren P. Shea, John E. Mitchell (2007). Long-Reach Optical Access Technologies. *IEEE Network*.
14. Huan Song, Byoung-Whi Kim, Biswanath Mukherjee. (2010). Long-Reach Optical Access Network: A Survey of Research Challenges, Demonstration, and Bandwidth Assignment Mechanisms. *IEEE Communications surveys & Tutorials*, Vol. 1.
15. Peter Ossieur, Cleitus Antony, Alan Naughton, Aisling M. Clarke, Heinz-Georg Krimmel. (2011). Demonstration of a 32x512 Split, 100 km Reach, 2x32x10 Gb/s Hybrid DWDM-TDMA PON Using Tunable External Cavity Lasers in the ONUs. *IEEE Journal of Lightwave Technology*. Vol. 24.
16. C. Antony et al. (2010). Demonstration of a Carrier Distributed, 8192-Split Hybrid DWDM-TDMA PON Over 124 km Field-Installed Fibers / Cleitus Antony, Peter Ossieur, Aisling M. Clarke, Alan Naughton, Heinz-Georg Krimmel, Y. (Frank) Chang, Anna Borghesani, David Moodie, Alistair Poustie, Richard Wyatt, Bob Harmon, Ian Lealman, Graeme Maxwell, Dave Rogers, David W. Smith, Derek Nessel, Russell P. Davey, and Paul D. Townsend, Opt. Fiber Commun. Conf. and Nat. Fiber Opt. Eng. Conf. (OFC/NFOEC'10), Techn. Digest (San Diego, CA, USA, 2010), post-deadline paper PDPD8.
17. P. Ossieur et al. (2010). A symmetric 320Gb/s capable, 100km extended reach hybrid DWDM-TDMA PON / Peter Ossieur, Cleitus Antony, Alan Naughton, Aisling Clarke, Paul D Townsend, Heinz-Georg Krimmel, Tine De Ridder, Xing-Zhi Qiu, Cedric Melange, Anna Borghesani, Dave Moodie, Alistair Poustie, Richard Wyatt, Bob Harmon, Ian Lealman, Graeme Maxwell, Dave Rogers, David W Smith, Opt. Fiber Commun. Conf. and Nat. Fiber Opt. Eng. Conf. (OFC/NFOEC'10), Techn. Digest (San Diego, CA, USA, 2010), paper NWB1.
18. D. Nessel, R. Davey, D. Shea, P. Kirkpatrick, S. Shang, M. Lobel, B. Christensen. (2005). 10 Gbit/s bi-directional transmission in 1024-way split, 110 km reach, PON system using commercial transceiver modules, super FEC and EDC, Proc. 31st Europ. Conf. Opt. Commun. (ECOC'05), Glasgow, UK (2005), paper Tul.3.1.
19. The Photonic Integrated Extended Metro and Access Network (PIEMAN) EU FP6 Project, <http://www.ist-pieman.org>.
20. M. Ruffini et al. (2012). Deployment strategies for protected long-reach PON / Marco Ruffini, Deepak Mehta, Barry O'Sullivan, Luis Quesada, Linda Doyle, D Payne, *IEEE/OSA. Journal of Optical Communications and Networking*. Vol. 4, no. 2, pp. 118-129, Feb. 2012.

Information about authors:

Elena P. Ionikova, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Ph.D student, Novosibirsk, Russia

Vyacheslav P. Shuvalov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Professor, Novosibirsk, Russia

Artem S. Yakovlev, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Ph.D student, Novosibirsk, Russia