УДК 519.25+004.9
DOI: 10.15827/0236-235X.126.318-325

Дата подачи статьи: 14.12.18
2019. Т. 32. № 2. С. 318–325

Особенности использования DWDM-технологии для уплотнения оптических каналов

Ю.М. Лисецкий¹, д.т.н., генеральный директор, Yurii.Lisetskyi@snt.ua
Ю.С. Перекопайко¹, главный консультант, Yuri.Perekopayiko@snt.ua

¹ Компания «ЭС ЭНД ТИ УКРАИНА», г. Киев, 03680, Украина

В статье рассмотрена значимость DWDM-технологии для спектрального уплотнения оптических каналов. Использование этой технологии позволяет многократно увеличить пропускную способность оптической кабельной инфраструктуры за счет возможности передачи по одному оптическому волокну до 160 независимых информационных каналов на различных оптических несущих (длинах волн) трафик различных протоколов с разными скоростями. Данная проблема актуальна для операторов связи и телекоммуникационных провайдеров, построивших достаточно большое количество оптических магистральных транспортных сетей, а с динамичным ростом абонентской базы, длительности разговоров, появлением новых неголосовых услуг столкнувшихся с необходимостью уплотнения трафика.

В отличие от классических оптических технологий, использующих одну пару волокон для передачи данных одного канала, основной особенностью DWDM является возможность по одной паре волокон передавать n -е количество каналов. Это достигается за счет передачи каждого потока данных на смежных несущих частотах, рабочий диапазон которых в технологии DWDM принято называть волнами.

В статье проведен анализ оптических мультимплексоров, объединяющих волны в композитный сигнал перед вводом в оптическую магистраль, который на принимающей стороне разделяется на отдельные каналы. Их основным свойством является умение собрать и разобрать композитный сигнал для выделения отдельной волны или набора волн, а остальные передать без изменений далее по магистрали. Показаны особенности оптических мультимплексоров и эволюции их развития.

Описаны концепции бесцветного и всенаправленного ROADM, позволяющие исключить необходимость наличия постоянно зарезервированной волны, а также в случае обрыва автоматически перемаршрутизировать сервисы через свободные волны на другом направлении. Отмечено, что концепции всенаправленного и бесцветного DWDM вместе с технологией Flex Spectrum и динамической плоскостью управления WSON являются ключевыми элементами инновационного решения для оптических транспортных сетей Cisco nLight. DWDM-технология с использованием ROADM-узлов, как правило, применяется для модернизации и расширения существующих волоконно-оптических транспортных сетей с целью повышения уровня их пропускной способности и доступности.

Ключевые слова: DWDM-технология, оптические каналы, транспортные сети, мультимплексоры, уплотнение, длины волн, узлы.

Появление новой волоконно-оптической техники стало одним из факторов, обусловивших стремительное развитие телекоммуникационной отрасли [1]. Операторы связи и телекоммуникационные провайдеры, решая задачи увеличения территориального покрытия, скорости передачи трафика и улучшения его качества, построили достаточно большое количество оптических магистральных транспортных сетей [2–4], однако в силу динамичного увеличения абонентской базы, длительности разговоров, предоставления новых неголосовых услуг они столкнулись с проблемой необходимости уплотнения трафика. Наиболее эффективным средством для ее решения стало внедрение технологии DWDM (Dense Wave Division Multiplexing), которая позволяет мно-

гократно увеличить пропускную способность оптической кабельной инфраструктуры [5].

DWDM представляет собой современную технологию передачи и уплотнения в одном оптоволокне нескольких оптических сигналов с различными длинами волн. Оборудование DWDM позволяет передавать по одному оптическому волокну до 160 независимых информационных каналов на различных оптических несущих (длинах волн) трафик различных протоколов (IP, ATM, SONET, SDH, Ethernet) с разными скоростями (от 100 Мбит/с до 2,5 Гбит/с). Именно технология спектрального уплотнения оптических каналов лежит сегодня в основе большинства магистральных сетей операторов связи и телекоммуникационных провайдеров [6–8].

Особенности DWDM-технологии

В отличие от классических оптических технологий, которые задействуют одну пару волокон для передачи данных одного канала, DWDM-системы позволяют по одной паре волокон передавать n -е количество каналов [9]. Достичь этого удастся за счет передачи каждого потока данных на смежных несущих частотах. Диапазон рабочих частот определен стандартом ITU-T G.694.1, и в технологии DWDM их принято называть волнами. Согласно рекомендациям ITU-T, в DWDM-системах используются С (1525...1565 нм) и L (1570...1610 нм) окна прозрачности. В каждый диапазон попадают по 80 каналов с шагом 0.8 нм (100 ГГц). Обычно используется только диапазон С, поскольку количества каналов, которые можно организовать в этом диапазоне, хватает с избытком, к тому же затухание в волокне стандарта G.652 в С-диапазоне несколько ниже, чем в L-диапазоне.

В открытых DWDM-системах сигнал каждой волны формируется отдельным приемо-передающим элементом – транспондером, который преобразует сигнал от клиентского оборудования в ITU-T-совместимый. В закрытых системах прием и передачу сигнала на DWDM-волне осуществляет оконечное оборудование, однако такие системы встречаются гораздо реже.

Перед вводом в оптическую магистраль волны объединяются в композитный сигнал мультиплексором (mux), а на принимающей

стороне композитный сигнал разделяется на отдельные каналы демультиплексором (demux).

В связи с тем, что оптический сигнал имеет свойство затухать по мере прохождения расстояния, для восстановления его уровня вдоль оптической магистрали устанавливаются специальные узлы – усилители, или amplifiers. Если один или несколько каналов нужно терминировать на пути прохождения магистрали, используются узлы другого типа – мультиплексоры, или Add/Drop-узлы (рис. 1). Их основным свойством является умение разобрать и собрать композитный сигнал для выделения отдельной волны или набора волн, а остальные передать без изменений дальше по магистрали. Это стало возможным благодаря появлению новой линейки специальных устройств – оптических мультиплексоров [10].

Оптические мультиплексоры, эволюция развития и особенности

Fixed-OADM (FOADM). На начальном этапе развития DWDM-технологии Add/Drop-узлы архитектурно незначительно отличались от своих предшественников, терминирующих TDM-потоки в SDH-сетях, которые и должны были заменить DWDM-сети. Они поддерживали линейные и кольцевые топологии. Для выделения канала на OADM-узле композитный канал должен быть предварительно разобран по диапазонам, диапазоны – по отдельным волнам, и только тогда волна может быть

принята на элементе, преобразующем ее в совместимый с клиентским оборудованием сигнал. Обратный процесс производился при добавлении канала на OADM-узле (рис. 2). Процесс создания нового сервиса при этом, кроме подключения клиентского оборудования в точках его терминирования, требовал выполнить физическую коммутацию соответствующей волны или диапазона волн на всех транзитных узлах. Таким образом, коммутация сервиса в лучшем случае занимала несколько дней.

Reconfigurable-OADM (ROADM). Следующим этапом развития архитектуры узлов-мультиплексоров стали узлы с возможностью программно настраиваемого режима работы каждой отдельной волны: добавление/терминация (add/drop) или транзит (pass-through) (рис. 3).

Достичь такого результата удалось за счет добавления в систему узла двух элементов – оптического распределителя и оптического коммутатора (2x1). Задача первого – разделить оптическую мощность входящего композитного сигнала на две части: первая (более слабая) передается на элемент демультиплексирования того же направления узла, вторая (более мощная) – на вторую сторону узла, где композитный сигнал демультиплексируется и каждая отдельная волна попадает на первый вход оптического коммутатора. На второй вход приходит локально добавленный сигнал той же длины волны, и в зависимости от конфигурации коммутатора для передачи выбирается один из двух входящих сигналов. После этого отфильтрованные волны вновь мультиплексируются в композитный сигнал

и передаются далее в магистраль, где процесс повторяется на каждом ROADM-узле.

Таким образом, появление ROADM-узлов значительно уменьшило количество времени на создание новых сервисов за счет возможности программно задавать режим передачи канала на определенной волне и исключило необходимость делать физическую коммутацию на каждом промежуточном узле. Данный тип узлов, как и предыдущий, поддерживает линейные и кольцевые топологии.

Multi-Degree ROADM.

Классические ROADM-узлы имеют одно существенное ограничение – у них только два направления, что позволяет принимать не более двух магистральных линий. Для транзитных узлов, строящихся вдоль оптических трасс, этого вполне достаточно, но в местах концентрации магистралей, например, в крупных городах, для приема всех линий требуется строить несколько ROADM-узлов или терминалов (ROADM-узлы с одним направлением). В таких случаях возникают трудности с организацией клиентского канала, который должен идти транзитом через эти

Рис. 2. Блок-схема типового OADM-узла

Fig. 2. A flow chart of the typical OADM node

Рис. 3. Блок-схема типового ROADM-узла

Fig. 3. A flow chart of typical ROADM Node

узлы. Требуется разбивать его на два отдельных DWDM-канала, а клиентские порты транспондеров на площадке подключать между собой для регенерации сигнала. Организация таких каналов требует использования дополнительных транспондеров на каждом подобном участке, что увеличивает его стоимость и усложняет обслуживание. Обойти данное ограничение позволяет построение многонаправленных узлов – Multi-Degree ROADM (рис. 4).

Добавление дополнительной стороны к классическому ROADM-узлу стало возможным за счет архитектурного изменения в компоновке стороны узла. Между сторонами добавлен дополнительный оптический элемент $1 \times N$, зеркалирующий композитный сигнал от каждой стороны на остальные, где для каждой волны оптический коммутатор $N \times 1$ передает на линию либо локально добавленную волну, либо волну, приходящую с определенного направления (рис. 5). Многонаправленные узлы позволили строить DWDM-сети полносвязной топологии, обеспечив при этом построение сервисов точка-точка без необходимости разбивки сервиса на части на подобных узлах.

Colorless & Omnidirectional ROADM (C&O ROADM). Все описанные архитектурные модели узлов-мультиплексоров имеют один существенный недостаток: обеспечение резервирования сервиса на уровне транспортной сети может осуществляться только за счет предварительно зарезервированной волны через другое направление. Резервный путь в этом случае простаивает во время штатной работы сети, а также

блокирует возможность использования той же волны на всем участке.

Таким образом, резервирование сервисов на уровне DWDM-сети довольно неэффективно, так как приводит к неоптимальному использованию ее ресурсов. Альтернативный вариант – переключение сервиса в ручном режиме на другое направление в случае обрыва на основном, который требует физической переконмутации патчкордов на обоих концах сервиса.

Концепция бесцветного и всенаправленного ROADM-узла позволяет решить обе упомянутые проблемы, так как не требует постоянно зарезервированной волны, а в случае обрыва позволяет автоматически перемаршрутизировать нужные сервисы через свободные волны на другом направлении. В технологии DWDM цветными называют те оптические интерфейсы, которые излучают и принимают оп-

Рис. 4. Сравнение ROADM-based- и Mesh-архитектур

Fig. 4. Comparison of ROADM-based and Mesh Architectures

Рис. 5. Блок-схема одного направления Multi-Degree ROADM-узла

Fig. 5. A flow chart of one direction of Multi-Degree ROADM node

тический сигнал на волне, определенной стандартами ITU-T. Если раньше производители выпускали оптические трансиверы с фиксированной длиной волны или работающие на нескольких смежных волнах, то в настоящее время акцент делается на модули, поддерживающие целые диапазоны волн. В данном случае под определением «бесцветный» следует понимать возможность аппаратных компонент работать с оптическим сигналом, сформированным на любой волне диапазона (рис. 6).

Рис. 6. Блок-схема 80-канального двунаправленного цветного и бесцветного ROADM-узлов

Fig. 6. A flow chart of a 80-channel bidirectional colorless and colorless ROADM node

До появления понятия «бесцветный» трансиверы подключались к мультиплексорной части узла через порты с предопределенным значением волны. То есть для изменения волны для определенного сервиса требовалось не только ее изменение на оптическом модуле, но и физическое переключение в порт мультиплексора, соответствующего но-

вой волне. Концепция бесцветности предполагает подключение трансивера в порты, которые могут обрабатывать полный диапазон DWDM-волн, не требуя физической перекоммутации в случае изменения длины волны на порту трансивера.

Omnidirectional ROADM. В архитектуре классических ROADM-узлов трансиверы подключаются в порты с фиксированной длиной волны, а каждая пара мультиплексор/демультиплексор, к портам которой подключаются трансиверы, привязана к определенному направлению (рис. 7). Для изменения направления для отдельного сервиса (даже при использовании той же волны) необходимо переключение соответствующего трансивера в порты Mux/Demux требуемого направления.

Архитектура всенаправленного ROADM-узла предполагает разделение мультиплексорной и линейной частей таким образом, чтобы первая не зависела от второй. Для достижения такого результата каждая пара Mux/Demux-устройств подключается к оптическому коммутатору $1 \times N$, который зеркалирует композитный сигнал на все стороны узла, где линейный оптический коммутатор $N \times 1$, исходя из конфи-

Рис. 7. Блок-схема всенаправленного ROADM-узла со всеми возможными маршрутами канала

Fig. 7. A flow chart of an omnidirectional ROADM node with all possible channel routes

гурации, для каждой пары Mux/Demux-устройств выбирает набор волн, который необходимо передать в линию.

Таким образом, независимо от того, к какой паре Mux/Demux подключен транспондер, сервис, терминируемый им, может быть направлен в любое из направлений. Кроме того, на узле существует только одна мультиплексорная часть, волны которой могут быть распределены между направлениями.

Для большинства архитектурных решений, используемых в настоящее время, DWDM считается технологией для организации статических транспортных соединений типа точка-точка. Эволюция ROADM-узлов до всенаправленных и бесцветных открывает возможность строить динамическую и гибкую полносвязную транспортную сеть с большим количеством оптических путей, которая позволяет оптимально использовать имеющиеся ресурсы, а также уменьшить потери клиентского трафика при обрывах на магистральных линиях или во время запланированного «окна» обслуживания.

Всенаправленные и бесцветные ROADM-узлы могут быть интегрированы в сети, построенные на классических ROADM/Multi-Degree-узлах, а существующие узлы могут быть, соответственно, модернизированы до такой же архитектуры, обеспечивая бесшовный переход на нее (рис. 8).

Концепции всенаправленного и бесцветного DWDM вместе с технологией Flex Spectrum и динамической плоскостью управления WSON являются ключевыми элементами инновационного решения для транспортных сетей Cisco nLight. Примером реализации проекта на основе технологии Cisco nLight является построение магистральной сети польского кабельного оператора Vectra в 2014 году. В результате внедрения этой технологии удалось существенно повысить эффективность и емкость сети, а также значительно сократить расходы на ее эксплуатацию. Кроме этого, с трех месяцев до одного уменьшилось время запуска новых сервисов, а также с

двух часов в месяц до нуля сократилось время простоя ядра сети. Остальные крупные производители DWDM-оборудования также используют концепцию C&O DWDM, и в их линейке представлено оборудование, поддерживающее Multi-Degree C&O ROADM-узлы.

Заключение

В статье рассмотрена значимость DWDM-технологии для спектрального уплотнения оптических каналов, использование которой позволяет многократно увеличить пропускную способность оптической кабельной инфраструктуры за счет возможности передачи по одному оптическому волокну до 160 независимых информационных каналов на различных длинах волн трафика различных протоколов с разными скоростями.

Проведен анализ оптических мультиплексоров, основной особенностью которых является умение разобрать и собрать композитный сигнал для выделения отдельной волны или набора волн, а остальные передать без изменений далее по магистрали, а также показана эволюция их развития.

Описаны концепции бесцветного и всенаправленного ROADM, позволяющие исключить необходимость наличия постоянно зарезервированной волны, а также в случае об-

рыва автоматически перемаршрутизировать сервисы через свободные волны на другом направлении. Отмечено, что концепции всенаправленного и бесцветного DWDM вместе с технологией Flex Spectrum и динамической плоскостью управления WSON являются ключевыми элементами инновационного решения для оптических транспортных сетей Cisco nLight. DWDM-технология с использованием ROADM-узлов, как правило, применяется для модернизации и расширения существующих волоконно-оптических транспортных сетей с целью повышения уровня их пропускной способности и доступности.

Литература

1. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы. М., 2005. 576 с.
2. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. М.: Эко-Трендз, 2002. 276 с.
3. Шмалько А.В. Планирование и построение современных цифровых корпоративных сетей связи // Вестн. связи. 2011. № 34. С. 58–65.
4. Андреев В.А., Бурдин В.А., Попов В.В. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. М.: Радио и связь, 1995. 348 с.
5. DWDM-технология уплотнения оптических каналов. URL: http://shop.nag.ru/catalog/article/id/19/catalog_id/71 (дата обращения: 12.12.2018).
6. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М.: Радио и связь, 2000. 468 с.
7. Алексеев Е.Б., Скляр О.К., Устинов С.А. Оптические сети операторов связи DWDM и CWDM в России // Технологии и средства связи. 2004. № 2. С. 21–24.
8. Лисецкий Ю.М. Построение оптической транспортной магистрали оператора связи // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 142–144.
9. Листвин В.Н., Трешиков В.Н. DWDM-системы. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2017. 352 с.
10. Ульянов А.В. Мультиплексоры сетей OTN/DWDM // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 85–94.

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.126.318-325

Received 14.12.18
2019, vol. 32, no. 2, pp. 318–325

Special aspects of DWDM technology for fiber optic multiplexing

Yu.M. Lisetskyi¹, Dr.Sc. (Engineering), Director General, Yurii.Lisetskyi@snt.ua
Yu.S. Perekopayko¹, Senior Consultant, Yuri.Perekopayiko@snt.ua

¹ S&T Ukraine, Kiev, 03680, Ukraine

Abstract. The paper considers the importance of DWDM technology for wavelength division multiplexing of fiber optic channels that enables multiplication of bandwidth of a fiber optic cable infrastructure. It is achieved by transmitting of up to 160 independent information channels through one optic fiber. Different wavelengths are used to carry traffic with different protocols and speeds. This is an important problem for telecommunications service providers owning numerous fiber optic backbone networks and facing the need to dense the traffic in view of dynamic growth of the amount of subscribers, average duration of communication sessions and introduction of new non-voice services.

Conventional fiber optic technologies use one pair of fibers to transmit one channel data. On the contrary, the basic feature of DWDM is the ability to transmit N channels through one pair of fibers. It is achieved through transmitting each data stream on adjoining carrying frequencies. Their operating ranges in DWDM technology are usually called wavelengths.

The paper analyzes optic multiplexers combining wavelengths into one composite signal before entering the fiber optic line. The receiving side then decomposes it into different channels. Their essential feature is the ability to decompose and compose composite signal to single out a wavelength or set of wavelengths and transmit the rest further down the line unchanged. There are demonstrated features of optic multiplexers as well as the evolution of their development.

The paper describes the conceptions of Colorless & Omnidirectional ROADM which eliminates the need to reserve a wavelength on a permanent basis or automatically reroute services through vacant wavelengths on another direction in case of line failure. It is noted that the concepts of omnidirectional and colorful DWDM

together with Flex Spectrum technology and dynamic plane of WSON management are key elements of innovative solution for Cisco nLight fiber optic transport networks. Typically, the DWDM technology utilizing ROADM nodes is used to modernize or expand existing fiber optic networks to increase their bandwidth and availability.

Keywords: DWDM technology, fiber optic channels, transport networks, multiplexers, multiplexing, wavelengths, nodes.

References

1. Dmitriev S.A., Slepov N.N. *Fiber Optic Solutions: Modern State and Perspectives*. Moscow, 2005, 576 p.
2. Iorgachev D.V., Bondarenko O.V. *Fiber Optic Cables and Communication Lines*. Moscow, Eco-Trends Publ., 2002, 276 p.
3. Shmalko A.V. Design and implementation of modern corporate networks. *Communications J.* 2011, no. 34, pp. 58–65 (in Russ.).
4. Andreev V.A., Burdin V.A., Popov V.V. *Manual on Implementation and Operation of the Fiber-Optic Lines*. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 1995, 348 p.
5. *DWDM Technology of Multiplexing Optical Channels*. Available at: http://shop.nag.ru/catalog/article/id/19/catalog_id/71 (accessed December 12, 2018).
6. Slepov N.N. *Modern Technologies of Digital Fiber Optic Lines*. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 2000, 468 p.
7. Alekseev E.B., Sklyarov O.K., Ustinov C.A. DWDM and CWDM fiber-optic networks of the telecommunications service providers in Russia. *Communication Technologies and Means*. 2004, no. 2, pp. 21–24 (in Russ.).
8. Lisetsky Yu.M. Implementation of the backbone fiber-optic network for the telecommunications service provider. *Software & Systems*. 2010, no. 4, pp. 142–144 (in Russ.).
9. Listvin V.N., Treshchikov V.N. *DWDM Systems*. 3rd ed. Moscow, TEKHNOSPHERA Publ., 2017, 352 p.
10. Ulyanov A.V. Multiplexers of OTN/DWDM networks. *Information Technologies and Telecommunications*. 2016, vol. 4, no. 3, pp. 85–94 (in Russ.).

Для цитирования

Лисецкий Ю.М., Перекопайко Ю.С. Особенности использования DWDM-технологии для уплотнения оптических каналов // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32. № 2. С. 318–325. DOI: 10.15827/0236-235X.126.318-325.

For citation

Lisetskyi Yu.M., Perekopayko Yu.S. Special aspects of DWDM technology for fiber optic multiplexing. *Software & Systems*. 2019, vol. 32, no. 2, pp. 318–325 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.126.318-325.