

*Д. Волощук,  
студент 5 курса факультета  
Компьютерных наук и инновационных технологий,  
Международный гуманитарный университет;  
руководитель – д-р. техн. наук, проф. С. А. Михайлов*

## **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОММУТАЦИИ НА ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ**

Для передачи больших потоков информации (1 Гбит/с и выше) по оптимическому волокну на расстояния до сотен километров и выше требуется решение множества технических и организационных задач. Главными препятствиями на пути построения протяженных сегментов без регенераторов являются: дисперсия распространяемого по волокну оптического сигнала, влияние нелинейных эффектов в мультиплексной оптической линии, вносимые шумы и помехи.

Создание качественно новых типов одномодовых волокон и более совершенных оптических усилителей в последние 5–8 лет, а также улучшение технических характеристик компонентной базы в целом, позволило увеличить расстояние и пропускную способность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и стало началом масштабного внедрения новых концепций и технологий построения волоконно-оптических сетей на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Полностью оптические сети AON (All-optical Networks) представляют класс сетей, в функционировании которых главную роль при коммутации, мультиплексировании, ретрансляции играют не электронные (оптоэлектронные), а чисто оптические технологии.

Полностью оптические сети претендуют на роль главенствующей сетевой технологии, способной обеспечивать гигантскую полосу пропускания как для сегодняшних, так и завтрашних сетевых информационных приложений. На протяжении последних нескольких лет в этой области ведутся интенсивные исследования, создается более совершенное оборудование (лазеры с перестраиваемой длиной волны, оптические волновые мультиплексоры WDM, широкополосные оптические усилители EDFA, оптические коммутаторы), строятся прототипы архитектур, вырабатываются стандарты. Среди фирм, которые наиболее активно ведут такие исследования, следует выделить: Lucent Technologies, Alcatel, Ericsson, Fujitsu, Hewlett Packard, NEC, NTT, Nortel, Siemens.

### **Основные определения и элементы**

Большинство оптических коммуникационных устройств и элементов, применяемых в AON, используют цифровую передачу сигнала с модуляцией интенсивности, при которой бинарной «единице» соответствует передача света большой интенсивности, а бинарному «нулю» — передача света низкой интенсивности. Последнее связано с тем, что оптические усилители EDFA вносят дополнительный шум в усиление оптического сигнала.

**Лазеры и светодиоды.** В качестве источников излучения могут использоваться светодиоды и лазеры. Светодиоды рассчитаны на большой диаметр сердцевины волокна (многомодовые волокна), а лазеры лучше подходят для передачи сигнала по одномодовому волокну. Типичные значения спектральной полосы излучения составляют для светодиодов от 20 до 100 нм, для многомодовых лазерных диодов от 1 до 5 нм и для одномодовых лазерных диодов – менее 0,1 нм. Потребляемая мощность для светодиодов – около 10 мВт, и порядка 1 мВт для лазерных диодов. Выпускаются как недорогие

коммерческие pin-фотодиоды на основе InGaAsP, работающие на длине волны 1300 нм и обеспечивающие скорость передачи до 100 Мбит/с, так и специализированные лазеры с распределенной обратной связью (DFB), предназначенные для работы в окне 1550 нм и обеспечивающие скорость передачи до 10 Гбит/с.

**Волокно.** Наибольшее распространение получили три типа одномодового волокна: одномодовое волокно со ступенчатым профилем (стандартное волокно, standard fiber, SF), волокно со смещенной дисперсией (dispersion shifted fiber, DSF), волокно с ненулевой смещенной дисперсией (non-zero dispersion shifted fiber, NZDSF), а также два типа градиентного многомодового волокна стандартов 50/125 и 62,5/125. В протяженных магистралях применяются исключительно одномодовые волокна из-за лучших дисперсионных характеристик. Для многоканальной мультиплексной передачи лучше всего подходит волокно типа NZDSF, а наименее удачным оказалось одномодовое волокно DSF.

Использование многомодового волокна ограничено локальными сетями с характерными длинами сегментов до 2 км. В то же время в локальных сетях все чаще начинает использоваться, наряду с многомодовым, и одномодовое волокно, обеспечивающее более высокую полосу пропускания. Это связано с падением стоимости лазерных оптических передатчиков и возрастающим числом сетевых приложений, требующих большой полосы пропускания, которую может обеспечить только одномодовое волокно.

**Приемопередатчики.** Выпускаются разнообразные приемо-передающие оптоэлектронные модули, предназначенные для сетей FDDI, Fast Ethernet (скорость передачи 100 Мбит/с, частота модуляции 125 МГц), ATM (STM-1 155Мбит/с, частота модуляции 194 МГц), более быстрые для сетей STM-4 622 Мбит/с (частота модуляции 778 МГц) и Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с, частота модуляции 1250 МГц), и еще более быстрые, предназначенные для передачи каналов STM-16 (2,5 Гбит/с), и, наконец, STM-64 (10 Гбит/с).

**Пассивные оптические мультиплексоры/демультиплексоры.** В настоящее время выпускается огромное число устройств, от простых мультиплексоров и направленных ответвителей WDM, до сложных устройств, обеспечивающих плотное волновое мультиплексирование / демультиплексирование (DWDM) с числом каналов до 40 и более.

Оптический мультиплексор собирает несколько простых сигналов разных длин волн из нескольких волокон в мультиплексный сигнал, распространяющийся по одному волокну. Демультиплексор выполняет обратную функцию и обеспечивает выделение каналов в отдельные волокна из сложного мультиплексного сигнала, представленного множеством каналов и идущего по одному волокну.

**Оптические усилители** требуются в сетях при больших расстояниях между регенераторами. В полностью оптических сетях широкое распространение получили эрбиевые усилители EDFA, использующие лазер накачки с длиной волны 980 нм или 1480 нм. Работая в диапазоне от 1535 до 1560 нм, они могут обеспечивать усиление входного сигнала на 30-38 дБ в зависимости от его длины волны. Усилители EDFA не только заменили дорогостоящие оптоэлектронные системы регенерации оптического сигнала, но обеспечили возможность усиления многоканального WDM сигнала, сокращая число электронных регенераторов на протяженной оптической мультиплексной линии.

**Оптические коммутаторы** выполняют в полностью оптических сетях ту же функцию, что и обычные электронные коммутаторы в традиционных сетях, а именно обеспечивают коммутацию каналов или коммутацию пакетов. Наряду с простейшим коммутатором 2x2 в настоящее время начали поставляться коммутаторы с числом портов 4x4, 8x8 и 16x16.

Фильтры предназначены для выделения одного нужного канала из множества мультиплексных каналов, распространяемых в волокне. Поскольку фотоприемники имеют обычно широкую спектральную область чувствительности, то фильтр необходим для того, чтобы подавить (ослабить) соседние каналы. Наряду с фильтрами, предназначенными для работы на определенной длине волны, выпускаются также фильтры с перестраиваемой длиной волны. Функции фильтра может выполнять оптический демультиплексор.

**Волновые конвертеры** предназначены для преобразования одной длины волны в другую. Так, если информационный сигнал в подсети 1 был представлен каналом на длине волны, которая уже задействована в другой подсети – подсети 2, то волновой конвертер может преобразовать этот сигнал при переходе из подсети 1 в подсеть 2 на другую свободную в подсети 2 длину волны, обеспечив прозрачную связь между устройствами в разных подсетях.

#### **Классификация полностью оптических сетей**

По мере роста объема передаваемой информации по сети рано или поздно возникает задача увеличения емкости сети. Менее трудоемкое наращивание волоконно-оптических сетей происходит либо при помощи замены коммутаторов в центральных узлах на более мощные электронные устройства, рассчитанные на скорость передачи по волокну до 1 Гбит/с, 2,5 Гбит/с или до 10 Гбит/с и имеющие различные вариации механизма пакетной коммутации ATM/SDH, Gigabit Ethernet и т. д., либо при помощи привлечения ранее не используемых резервных «темных» волокон в проложенных ВОЛС. Что делать, если больше не осталось «темных» волокон? Один из путей – прокладывать новые кабели, но такое решение может оказаться очень дорогим, неудобным и не всегда быстрым. Другой путь – привлечение оптических технологий и построение магистралей на основе технологий полностью оптических сетей AON, что делает возможным значительно повысить экономичность, гибкость и надежность сетей, и, самое главное – значительно увеличить пропускную способность, не переоборудуя существующие кабельные системы.

**Категории AON.** Все AON можно разбить на три основные категории: сети, использующие многоволновые (мультиплексные) линии связи, сети с коммутацией каналов и сети с коммутацией пакетов.

**Прозрачные AON.** Первые две категории AON имеют одну важную характеристику – прозрачность сети по отношению к используемому приложению. Главным фактором прозрачной AON выступает гибкость по отношению к используемым конечными узлами приложениям (ATM, FDDI, и т. д.). Оптическая прозрачность (передача оптического сигнала в формате приложения – код, частота модуляции) достигается по любому из оптических WDM каналов от узла-источника до узла-назначения без использования оптоэлектронных устройств преобразования сигнала. Сигнальный формат в пределах каждого WDM канала может быть виртуально произвольным, обеспечивая экономичность и гигантский потенциал наращивания. Кроме чисто пассивных компонентов (мультиплексоров, демультиплексоров, ответвителей), прозрачные AON могут содержать активные элементы, такие как, конфигурируемые волновые

маршрутизаторы, волновые конвертеры, оптические коммутаторы. Даже если управление этими устройствами электронное, весь путь распространения самого сигнала остается оптическим. Электронный контроль требует меньшей полосы (допустимо под управление выделение специального отдельного канала) и используется, главным образом, для реконфигурирования узлов сети, WDM каналов, изменения структуры потоков, удовлетворяя различным требованиям пользователей.

Оптическое терминальное оборудование в прозрачной AON в наиболее общем случае представляют: перестраиваемые лазерные передатчики (tunable-laser transmitters) и/или перестраиваемые поворотные фильтры (tunable filters или heterodynes). Два конечных узла сети могут установить канал связи через такую сеть посредством настройки на определенные две волны (для приема и передачи), которые им предоставляет сетевой контроллер оптического терминала, обработав соответствующий предварительный запрос. После установления соединения магистральный канал становится прозрачным по отношению к используемому приложению.

Допускается более интересная возможность, когда любая группа пользователей может получить соответствующий набор длин волн от прозрачной AON и организовать свою собственную виртуальную сеть. Каждый пользователь в этой сети способен открыть одновременно несколько сессий. Таким образом, прозрачная AON потенциально обладает очень богатыми возможностями объединения пользователей на локальном или глобальном масштабах расстояний.

### **Архитектура AON**

Полностью оптические сети могут строиться на любом масштабе: от локального, например, объединяя парк суперкомпьютеров, до глобального, где в перспективе они, безусловно, займут место главных магистралей. Общая структура глобальной информационной сети может быть весьма разнообразной, столь же разнообразной, как и число различных приложений, которые в ней используются. В самом оптическом уровне, который, в общем случае, имеет иерархическую структуру, выделяют три подуровня Уровень-0, Уровень-1 и Уровень-2.

Оптический терминал ОТ – это узел сети, на котором завершаются владения AON. На этом узле поступающие сигналы стандартных приложений преобразуются в форму, предназначенную для обработки промежуточными узлами полностью оптической сети.

Уровень-0. Этот уровень определяет пассивную широкополосную AON локального масштаба с небольшим (до нескольких десятков) числом конечных узлов сети. Характерными элементами, организующими сеть этого уровня являются оптические комбайнеры/разветвители, фильтры. Элементы сети Уровня-0 напрямую взаимодействуют с оптическими терминалами, и с элементами сети Уровня-1, если таковые имеются.

Уровень-1. Этот уровень определяет AON с пассивной волновой маршрутизацией. Характерными элементами этого уровня являются устройства волнового мультиплексирования и демультимплексирования.

Уровень-2. Этот уровень определяет AON, допускающую активную волновую маршрутизацию. Характерными элементами этого уровня являются устройства волнового мультиплексирования и демультимплексирования, волновые конвертеры и оптические коммутаторы. Коммутация может происходить либо на основе чтения заголовков пакетов (AON с коммутацией пакетов), либо на основе внешнего управления (AON с активной коммутацией каналов). Только на основе узлов Уровня-2 можно строить масштабируемые полностью оптические сети глобального масштаба.

### **АОН с пассивной волновой маршрутизацией**

Частично обе проблемы могут быть решены на основе АОН с пассивной волновой маршрутизацией. В такой сети сигнал определенной длины волны может перенаправляться (статически маршрутизироваться) в узел назначения через последовательность промежуточных узлов вместо того, чтобы широковещательно распределяться между всеми конечными узлами сети. Это позволяет экономить энергию оптического сигнала из-за отсутствия разветвителей и допускает одновременное использование сигналов, представленных одной и той же длиной волны в разных неперекрывающихся частях сети.

### **АОН с активной волновой маршрутизацией**

Дальнейшее наращивание сети связано с переходом от статической к динамической маршрутизации. Маршрутизация на узлах становится активной и допускает дистанционное конфигурирование. Динамическая маршрутизация, прежде всего, предполагает использование оптических коммутаторов.

*В. Головчук,*

*студентка 5 курсу факультету*

*Комп'ютерних наук та інноваційних технологій,*

*Міжнародний гуманітарний університет;*

*керівник – канд. техн. наук, доц. В. В. Сергеев*

## **ПОЛІТИКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) отримують все більше розповсюдження у промисловості, зв'язку, будівництві та інших сферах діяльності. У них забезпечується подальше впровадження сучасних інформаційних технологій, при цьому додаються загрози інформаційної безпеки, що є характерними для інформаційних систем. Це загрози конфіденційності, цілісності та доступності, реалізація яких може привести до значних матеріальних збитків та навіть техногенних катастроф. Прикладом цього є інцидент із центром ядерних досліджень в місті Натанз (Іран), сервер АСУ ТП якого був атакований у 2010 р. шкідливою програмою – хрпаком Stuxnet. Є думка, що ця програма була створена спеціально для ушкодження АСУ ТП.

Оскільки інформаційна безпека стає актуальною для АСУ ТП, то необхідно вирішувати питання захисту інформації, яка обробляється у цих системах. Методологічною основою захисту можна вважати міжнародні стандарти у галузі інформаційної безпеки, наприклад, ISO/IEC серії 27000, а також спеціалізовані стандарти ISA (International Society of Automation) – Міжнародної Спільки Автоматизації – ANSI/ISA99.00.01-2007 і ANSI/ISA-99.02.01-2009 та ін. Рішення завдання забезпечення інформаційної безпеки АСУ ТП бачиться у комплексному поєднанні організаційних та технічних заходів захисту інформації.

Основа організаційних заходів повинна складати політика інформаційної безпеки АСУ ТП, яка повинна враховувати організацію та впровадження заходів протидії зовнішнім та внутрішнім загрозам.

Вона повинна містити, наприклад:

- визначення пріоритетних завдань щодо забезпечення цілісності, доступності або конфіденційності інформації;