В.Никитин, к. т. н., НТЦ «Интрофизика»,
Э. Семенов, д. т. н.; А. Ломанов, к.т.н.,
Рыбинская государственная авиационная технологическая академия (РГАТА), introfiz@yaroslavl.ru

ПЕРВЫЙ СМАРТЛИНК
СОЗДАН В РОССИИ

Впервые создано многоканальное оптоволоконное оптическое соединение, способное автоматически без юстировки восстанавливать разорванные оптические цепи даже при произвольном повороте жгута в разъеме или его смещении на величины порядка 0,1 0,2 диаметра. Впервые удалось осуществить одновременную передачу информации по четырем раздельным оптическим каналам, автоматически сформированным в одной оптошине диаметром 3 мм на базе стекловолоконного жгута.

СМАРТЛИНКИ – НОВЫЙ ТИП ОПТОВОЛОКОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Под таким заголовком журнал «Фотоника» анонсировал первое сообщение о смартлинках на обложке своего 13-го номера в январе 2009 года [1]. Это число оказалось счастливым. Сразу же после публикации нашей разработкой заинтересовались несколько солидных заказчиков. А в мае 2009 года нам удалось победить в сложнейшем конкурсе Роснауки и выиграть тендер на заключение Государственного контракта на НИР (Госконтракт № 02.513.11.3449) [2]. Статья в журнале была замечена экспертной комиссией Роснауки.

Актуальность создания смартлинков обусловлена важнейшей технологической проблемой современной электроники – поиском принципиально нового способа соединений, позволяющего легко выводить из сложнейших микросистем десятки тысяч информационных каналов и соединять в суперкомпьютерах миллионы процессоров. Большинство экспертов высказывают мысль о том, что на современном уровне развития электроники фактически достигнут физический предел пропускной способности электрических средств «ввода-вывода» в электронных микросистемах. Например, количество коммутируемых элементов в микросхемах стремительно приближается к миллиардам единиц на кристалл. А количество выводов в них вот уже 10 лет не может перешагнуть рубеж в 2000 контактов. В связи с этим в электронике обострилась серьезная техническая проблема, которую называют «тиранией соединений». Для разработчиков электронных микросистем «тирания соединений» сводится к тому, что из них становится все труднее и труднее выводить информацию.

Смартлинки позволяют решить эту задачу за счет использования интеллектуальной технологии многоканальных соединений, по которой соединения осуществляются по принципу «как получится», а процессор с помощью коммутатора переподключает образовавшиеся связи «как нужно». Эта технология позволяет совершить прорыв в области многоканальных оптических коммутаций электронных микросистем (патенты РФ №№ 2270493 и 2350054), заключающийся в том, что можно будет создавать высокоскоростные наноразмерные многоканальные оптоволоконные интерфейсы для электронных микросистем с большим количеством элементов, при этом пропускная способность этих интерфейсов может достигнуть сотен терабайт в секунду. Электрические соединения и одноканальные оптоволоконные соединения уже не способны достичь такой производительности. Необходимость дальнейшего развития трех крупнейших областей

Рис.1 Активный оптический кабель (АОК) на 5 гигабит в секунду компании Zarlink [3]

электроники – микросистемной техники, архитектуры оптических суперкомпьютеров и биокибернетики подталкивает к реализации нового способа соединения микросистем с оптоволоконным вводом/выводом информации, то есть созданию смартлинков. Прогресс в этих областях непосредственно связан с дальнейшим развитием современных технологий электронных соединений.

КОНКУРЕНТЫ, ОНИ ЖЕ И СОЮЗНИКИ

Развитию оптических многоканальных соединений уделяют большое внимание все ведущие производители оптических средств передачи информации. Разработки ведутся в двух основных направлениях – создание активных оптических кабелей (АОК) и высокоплотных параллельных оптических соединений (Highly Parallel Optical Interconnect). Принципиально это близкие к смартлинкам классы многоканальных оптоволоконных соединений, но не обладающие встроенным интеллектом.

Несмотря на это, по некоторым оценкам [2], в ближайшие четыре года ожидается десятикратный рост на рынке АОК. Причина в том, что цены на активные оптические кабели за 5 лет упали более чем в 50 раз, опустившись до 100 долларов США. Они стали дешевле медных кабелей близкой пропускной способности. В 2009 году было продано около 2 миллионов АОК стоимостью 200 млн.долл. В 2013 году ожидается рост рынка до 2,6 млрд. долл. США. Скорость передачи данных по дешевым АОК уже достигла 5 Гбит/с. Уже сейчас на больших расстояниях и на больших скоростях у активных оптических кабелей нет реальной конкуренции. Количество компаний, выпускающих АОК, постоянно рас-

тет. Компании Emcore Zarlink, Avago, Finisar, Reflex Photonics, Tyco, MergeOptics, Luxtera – активно осваивают новый рынок, «который увеличивается еще быстрее, чем скорость передачи данных» [3].

Принципиально конструкция АОК предполагает механическое соединение с помощью металлических контактов к источнику сигналов, преобразование электрического сигнала в оптический и передачу оптического сигнала в оптоволокно через неразъемное соединение каждого волокна с индивидуальным лазером. На приемном конце расположено неразъемное соединение волокна с pin-фотодиодом, реализующее процедуру обратного преобразования скоростного оптического сигнала в электрический, и механическое соединение с помощью металлических контактов к потребителю. Это довольно громоздкая система, увеличивающая габариты ответных частей кабелей. Поэтому, несмотря на то, что с помощью АОК решается вопрос передачи сигналов с большой скоростью, разумное число жил в АОК все же останется небольшим. Это определяет специфику рыночной ниши, которую займут АОК. Предполагается, что это будут сегменты неответственных межкластерных соединений, сверхчеткое, а может быть даже и голографическое, видео. Это, конечно, очень большой сегмент устройств, но в нем остается достаточно места для других решений, в том числе и для смартлинков.

Еще одно направление, конкурирующее со смартлинками, это высокоплотные параллельные оптические соединения (Highly Parallel Optical Interconnect). На рис. 2 показан оптический разъем на 80 оптоволоконных каналов, выполненный по технологии Highly Parallel Optical Interconnect [4] . В соединении, показанном на рис. 3, оптический многоканальный кабель имеет разъемное оптическое многоканальное соединение на 160 волокон. По 80 волокнам сигнал направляется от лазерного VCSEL массива в волокна, от каждого элемента массива в отдельное волокно. Обратный сигнал идет по 80 другим волокнам к массиву pin-фотодиодов. Сами массивы установлены на переходном кристалле по flip-chip технологии. На переходном кремниевом кристалле размещены интерфейсные и усилительные элементы соединения, которые в свою очередь соединены контактной сваркой с площадками внешнего PGA- корпуса соединения. Реализованная скорость двухсторонней передачи составила 1,25 Гбит/с на канал, а всего 80 Гбит/с. При создании этого устройства разработчиками проделана очень сложная кропотливая ювелирная работа, которая под силу только западным умельцам. Такой сложный сендвич из разных технологий иначе как гибридным не назовешь. Нам, русским, с нашим характером, любящим свободу и простор, в массовом производстве никогда не сделать ничего подобного. А если сделаем – получится хуже некуда. С выходом годных в единицы процентов.

И все же главным недостатком высокоплотных параллельных оптических соединений является их низкая надежность. Представьте себе, при сдвиге разъема всего лишь на полдиаметра волокна, а это 20–50 мкм (!), все 80 каналов высокоплотного соединения становятся неработоспособными, окончательно и бесповоротно. Поэтому мы пошли другим путем – создали смартлинки, или интеллектуальные соединения с русским национальным характером. Они не требуют высочайшей точности, которая присуща западным и японским специалистам. Наоборот, там все может быть сделано «как получится», но подключать каналы они все равно будут

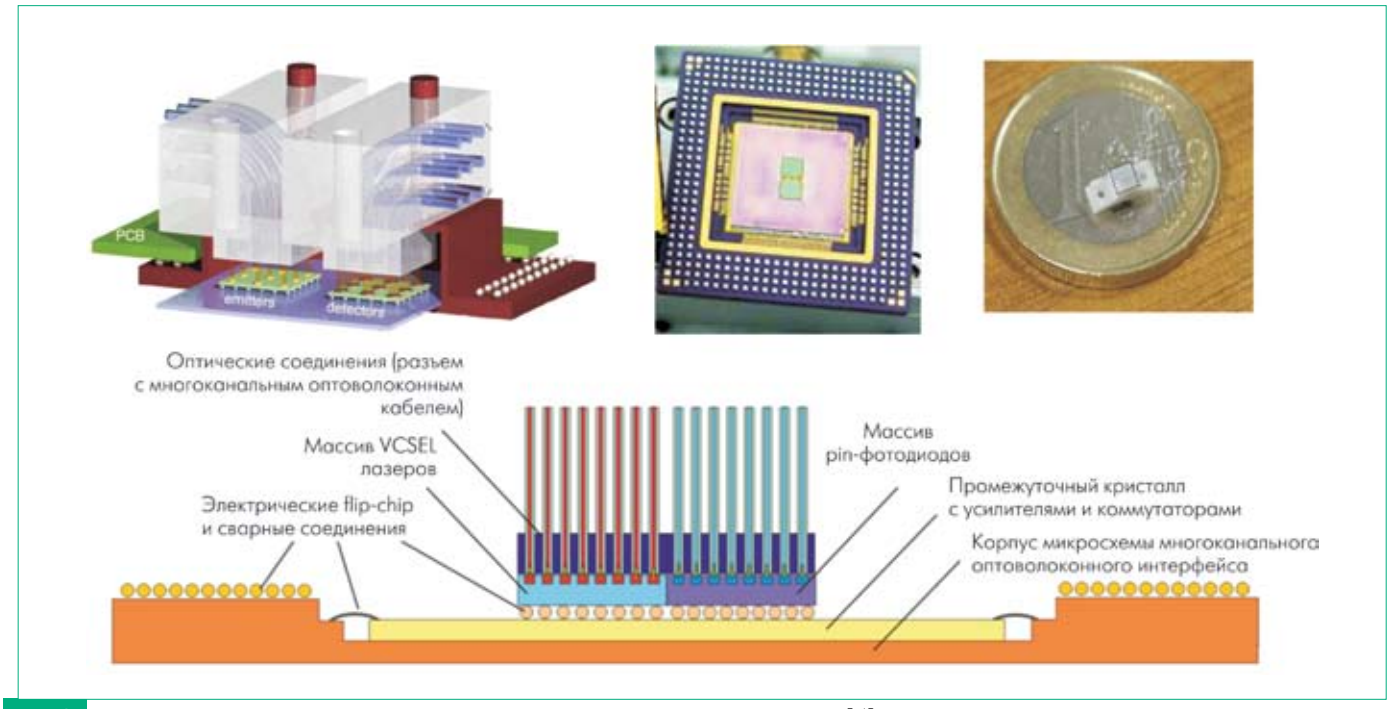

Рис.2 Традиционная схема многоканального оптоволоконного соединения [4]

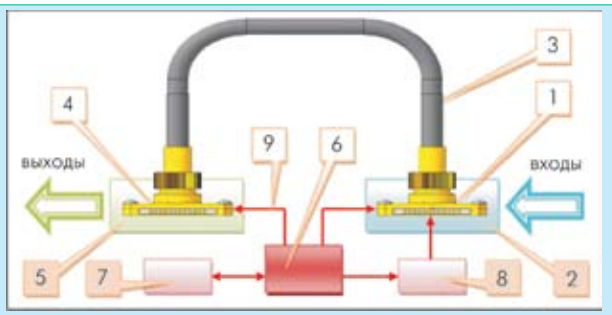

Рис.3 Схема лабораторного образца смартлинка: 1 - электрические flip-chip и сварные соединения, 2 - оптические соединения (разъем с многоканальным оптоволоконным кабелем), 3 - массив VCSEL лазеров, 4 - массив pin-фотодиодов, 5 - промежуточный кристалл с усилителями и коммутаторами, 6- корпус микросхемы многоканального оптоволоконного интерфейса

«как нужно». Только такой принцип позволит соединять не только десятки, но и сотни, а затем и тысячи каналов. Этого никогда не достичь, если пойти путем, которым идут наши западные конкуренты. В этом большое преимущество умных смартлинков перед другими неинтеллектуальными типами оптических соединителей.

В соответствии с законами эволюции – в природе побеждает тот, кто умнее и способнее. На рынке побеждает то, что функциональнее и дешевле. С развитием технологии смартлинки станут не дороже своих конкурентов, но останутся надежнее и функциональнее. Поэтому рано или поздно они вытеснят своих неинтеллектуальных конкурентов практически из всех сфер их нынешнего применения. Наши конкуренты – АОК и высокоплотные параллельные оптические соединения – являются переходным типом оптических соединений, задача которых вытеснить медные соединения из электроники. После них наступит эпоха смартлинков. И время здесь работает на нашу русскую технологию.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОБРАЗЕЦ СМАРТЛИНКА

Первый образец смартлинка (см. рис.3) содержит передатчик, оптошину и приемник сигналов. Управление смартлинком осуществляется микропроцессором, управляющим соединением с помощью коммутатора, реализованному на ПЛИС.

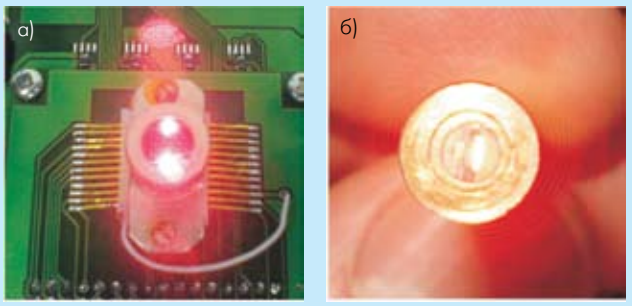

Рис.4 Лазерный передатчик и оптошина смартлинков: а) излучающий лазерный массив в разъеме, б) отображение лазерных лучей в торцевом окне оптошины

Основой передатчика стала гибридная микросхема (рис.4), содержащая 8 полупроводниковых лазеров, излучающих в видимом диапазоне (длина волны 680 – 760 нм). Мощность излучения одного лазера составляла порядка 30 – 70 мВт. В качестве оптошины в смартлинках был использован оптоволоконный жгут диаметром 3 мм. В качестве многоканального приемника в смартлинке была использована 16-элементная матрица pin-фотодиодов с прямым доступом.

Смартлинк работает следующим образом. На входы лазерной матрицы, расположенной в микросхеме – источнике информации, подают электрические импульсы, которые модулируют излучение лазеров. Это излучение по оптошине поступает к матрице фотодиодов, расположенной в приемнике информации (рис. 5), и преобразуется в поток электрических импульсов. Каждый фотодиод подключен к управляемому процессором коммутатору, реализованному на ПЛИС.

При соединении оптошину подключают к матрицам передатчика и приемника «как получится», совмещая лишь оптические области матриц и оптошины путем установки в произвольном порядке концов оптошины в оптические разъемы микросхем приемника и передатчика. Поэтому на входы матрицы-приемника сигналы от лазеров поступают в перепутанном порядке. Чтобы получить нужный порядок подключения шины, процессор в начале работы устройства соединяется с матрицей передатчика, и по особой процедуре проводит распознание каналов. С помощью коммутатора распознанные каналы связи переподключаются на выходы коммутатора в заданном порядке. Неработоспособные и дублирующие каналы отключаются. Процедура распознания каналов и переподключения производится однократно и никак не влияет на скорость передачи информации в дальнейшем.

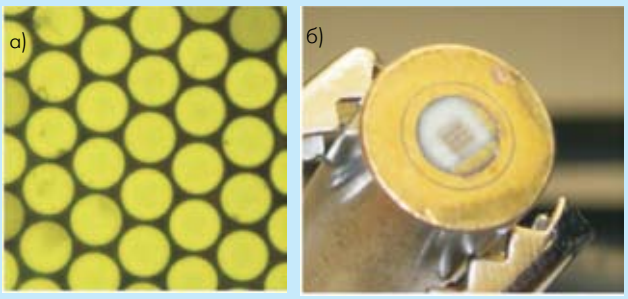

Рис.5 Оптическая шина на базе оптоволоконного жгута: а) структура жгута (x400), б) отображение массива pin-фотодиодов приемной матрицы в торцевом окне оптошины

Рис.6 Лабораторные образцы смартлинков в сборе

Рис.7 Лабораторная установка для исследования характеристик смартлинков

В случае нарушения связи смартлинк обнаруживает это и проводит повторную процедуру распознания каналов, реализуя, таким образом, свойство самовосстановления или регенерации связей. Смартлинк способен программным путем изменять порядок подключения каналов шины, реализуя свойство полиморфности.

В ходе НИР впервые удалось создать многоканальное оптоволоконное оптическое соединение (рис.6 и 7), способное автоматически без юстировки восстанавливать разорванные оптические цепи даже при произвольном повороте жгута в разъеме на любой угол или его смещении на величины порядка 0,1 – 0,2 диаметра. Впервые удалось осуществить одновременную передачу информации по четырем раздельным оптическим каналам, автоматически сформированным в одной оптошине на базе стекловолоконного жгута диаметром 3 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1.**Никитин В.С., Семенов Э.И., Ломанов А.Н и др.** Смартлинки – умные соединения. – Фотоника, 2009, №13.)

2. **Никитин В.С., Семенов Э.И., Ломанов А.Н и др.** Испытания технических возможностей лабораторного образца смартлинка. Отчет по НИР по ГК от 01.06.2009 № 02.513.11.3449, ООО НТЦ «Интрофизика», УДК 621.382-027.31, 2009 г.

3. **Anderson M.** Optical Lasers in a 100$ Cable. Really, 2010, http://spectrum.ieee.org/semiconductors/.

4. **De Wilde M.** Modeling and Integration of Highly Parallel Optical Interconnect in Electronic Systems. - Ghent University, Gent, Belgium, 2007 г. escher.elis.ugent.be/publ/Edocs/DOC/D107_158.pdf