

УДК 004.057.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КОММУТИРУЕМОМУ МНОГОКАНАЛЬНОМУ ОПТОВОЛОКОННОМУ СОЕДИНЕНИЮ

В. Г. Шаров^а, канд. физ.-мат. наук

В. С. Никитин^б, канд. техн. наук

А. Н. Ломанов^а, канд. техн. наук

С. В. Чайка^а, инженер-программист, аспирант

^аРыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева, Рыбинск, РФ

^бООО «Научно-технологический центр информационной физики «Интрофизика», Рыбинск, РФ

Постановка проблемы: рассматривается система передачи данных по коммутируемому многоканальному оптоволоконному соединению. Целью работы является программно-аппаратная реализация рассматриваемой системы в виде экспериментальной установки и ее исследование. **Методы:** сопоставлены результаты, полученные на экспериментальной установке, с результатами вычислительного эксперимента на динамической модели той же геометрической конфигурации. Исследовалось поведение системы в режиме передачи данных без перекоммутации, а также функции коммутации каналов и самовосстановления соединения. **Результаты:** подтверждена работоспособность системы передачи данных, построенной на основе коммутируемого многоканального оптоволоконного соединения (в частности, была подтверждена работоспособность функций коммутации каналов, передачи данных и самовосстановления соединения), а также подтверждена адекватность построенной динамической модели. **Практическая значимость:** результаты, полученные в ходе вычислительного эксперимента на динамической модели, позволили оптимизировать геометрическую конфигурацию экспериментальной установки.

Ключевые слова — системы повышенной надежности, многоканальные оптоволоконные соединения, самоорганизующиеся системы, протоколы передачи данных.

Введение

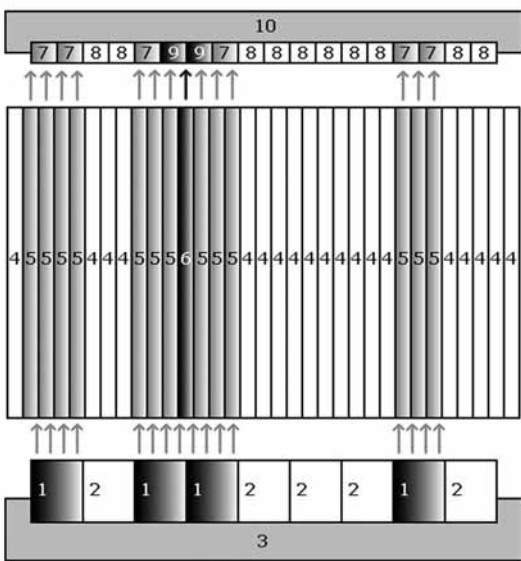
В последние годы все большее внимание при проектировании высокопроизводительных вычислительных систем (сложных микросхем, многопроцессорных суперкомпьютерных систем) уделяется проблеме организации межсоединений [1—3]. Межсоединения определяют организацию обмена информацией между узлами сети и могут быть описаны такими характеристиками, как физическая среда, топология сети, используемые протоколы передачи данных. Если говорить о физической среде, то одним из перспективных направлений развития межсоединений являются многоканальные оптоволоконные соединения.

Основная причина, по которой соединения такого типа до сих пор не получили массового распространения, — это сложность монтажа. Важно, чтобы при монтаже была выполнена строгая юстировка компонентов оптоволоконного соединения (источника и приемника сигнала, а также оптического канала) друг относительно друга. Процедура юстировки и монтажа требует высокоточного, дорогостоящего оборудования. Кроме того, оптоволоконное соединение не обладает достаточной устойчивостью к внешним воздействиям: смещение компонентов друг относительно друга, а также чрезмерный излом оптоволоконных волокон могут привести к трудновосстановимому

нарушению связи. Если говорить о многоканальных оптоволоконных соединениях, то увеличение количества каналов ведет не только к росту производительности соединения, но и к усложнению его монтажа. Наиболее распространенные сегодня многоканальные оптоволоконные соединения — это активные оптические кабели и высокоплотные параллельные оптоволоконные соединения. Разработчики таких соединений решают в основном технологические проблемы высокоточного монтажа, стремясь разместить как можно больше каналов в корпусах небольших размеров.

Возможным альтернативным решением проблемы построения многоканальных оптоволоконных соединений является технология передачи данных по коммутируемому многоканальному оптоволоконному соединению [4]. В данной статье приводятся результаты исследования системы передачи данных, построенной на основе предложенной технологии.

Общая схема системы передачи данных показана на рис. 1. На входы лазерной матрицы 3 подаются электрические импульсы от управляющей микросхемы источника, которые модулируют излучение некоторого множества лазеров 1 (источников сигналов). Это излучение (сигналы 5 и 6) по оптошине (каналу передачи данных) поступает к матрице фотодиодов 10 и активирует некоторое множество фотодиодов 7 и 9 (приемни-



■ **Рис. 1.** Схема прохождения сигналов: 1 — активированный источник света; 2 — неактивированный источник света; 3 — матрица излучателей; 4 — недействующие волокна оптошины; 5 — задействованные волокна оптошины; 6 — волокна оптошины, в которые были направлены несколько лучей света; 7 — активированные фотодиоды; 8 — неактивированные фотодиоды; 9 — активированные фотодиоды, принявшие сигнал из волокон 6; 10 — матрица фотоприемников

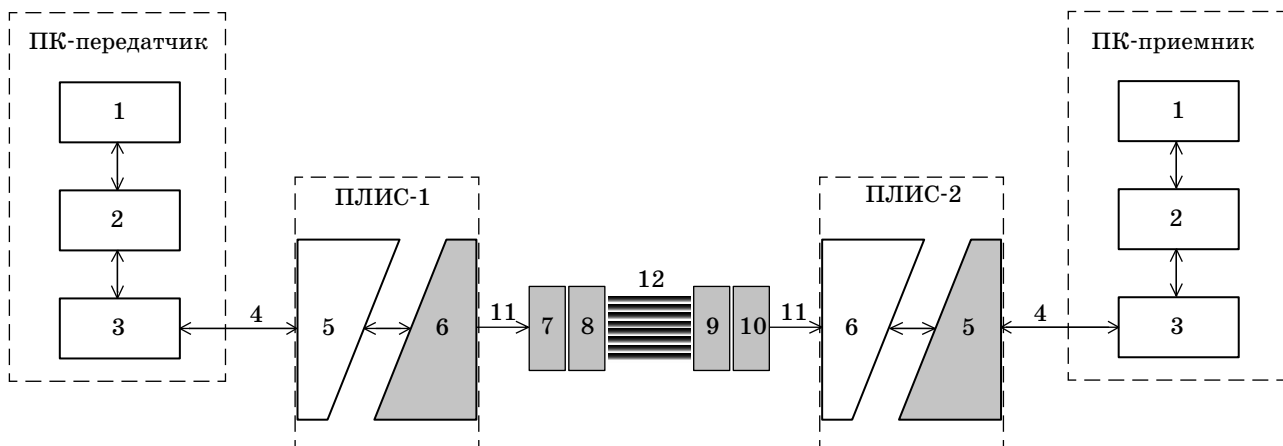
произвольно, совмещая лишь оптические области матриц и оптошины путем установки концов оптошины в оптические разъемы микросхем приемника и передатчика. Поэтому, зная только множество активированных фотодиодов матрицы-приемника, невозможно определить, каким из лазеров был испущен активировавший эти фотодиоды сигнал. Один из основных принципов рассматриваемой системы заключается в том, чтобы до начала передачи данных выполнить коммутацию логических каналов: установить соответствие между каждым лазером и активируемыми этим лазером фотодиодами, а также задействованными для передачи сигналов каналами.

Процедура коммутации логических каналов производится однократно до начала передачи данных и никак не влияет на скорость передачи в дальнейшем. При обнаружении нарушения связи, например, вследствие частичного повреждения оптошины или ее смещения относительно матриц приемника и передатчика, процедура коммутации каналов может быть выполнена повторно без вмешательства оператора.

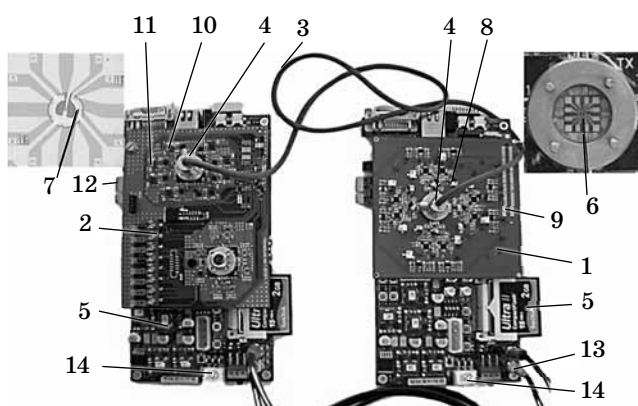
Теоретические исследования системы передачи данных по коммутируемому многоканальному оптоволоконному соединению выполнены в работах [5, 6]. В настоящей работе приводится экспериментальное исследование системы передачи данных. При этом результаты, полученные на экспериментальной установке (ЭУ), сопоставляются с результатами вычислительного эксперимента, выполненного на динамической модели, построенной с использованием аппарата раскрашенных сетей Петри (PCП, *Coloured Petri Nets*) [7].

ков сигналов). Активированные фотодиоды генерируют поток электрических импульсов к управляющей микросхеме приемника.

При соединении оптошину подключают к матрицам передатчика и приемника достаточно



■ **Рис. 2.** Схема экспериментальной установки: 1 — тестовое приложение верхнего уровня; 2 — *user-mode* драйвер устройства; 3 — *kernel-mode* драйвер устройства; 4 — шина *PCIe*; 5, 6 (как единое целое) — устройство на шине *PCIe* (ПЛИС-1, ПЛИС-2); 5 — часть ПЛИС, отвечающая за взаимодействие с ПК; 6 — часть ПЛИС, отвечающая за коммутацию и управление каналами смартлинка; 7 — драйвер матрицы лазеров; 8 — матрица лазеров; 9 — матрица фотодиодов; 10 — драйвер матрицы фотодиодов; 11 — электрические соединения; 12 — оптошина

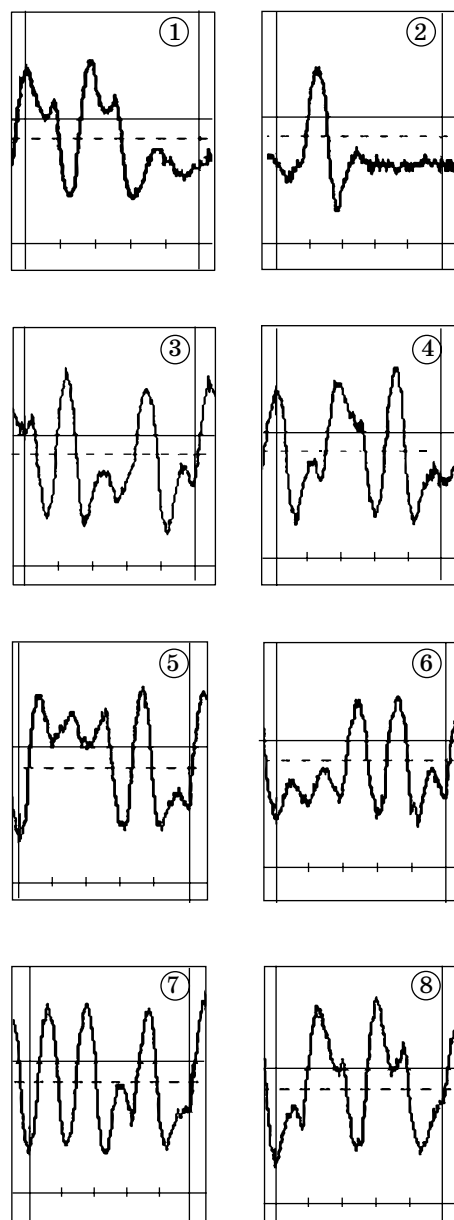


■ **Рис. 3.** Устройство, реализующее коммутируемое многоканальное оптоволоконное соединение: 1 — передающий модуль; 2 — принимающий модуль; 3 — оптошина; 4 — опторазъем; 5 — плата с ПЛИС; 6 — массив VCSEL-лазеров; 7 — массив *pin*-фотодиодов; 8 — драйвер лазера; 9 — LC-фильтр; 10 — трансимпедансный усилитель; 11 — усилитель-ограничитель (10, 11 — драйвер фотодиода); 12 — разъем *PCIe* подключения к ПК; 13 — коаксиальные кабели *GPIO* портов с коннекторами *SMA*; 14 — разъем для кабеля питающего напряжения

Общая схема и параметры экспериментальной установки

Для проведения экспериментальных исследований системы передачи данных была спроектирована и разработана ЭУ [8]. Серым цветом на рис. 2 условно выделено устройство (так называемый смартлинк), реализующее коммутируемое многоканальное оптоволоконное соединение. Детально оно показано на рис. 3.

Устройство содержит передающий и принимающий модули, соединенные с платой, на которой размещена программируемая логическая интегральная схема ПЛИС *Xilinx Spartan-6 FPGA SP605*, подключенная к шине *PCIe x1*. На внешней поверхности передающего и принимающего модуля размещен оптический разъем, внутри которого в основном находится интегральный массив с соответственно восемью VCSEL-лазерами и восемью *pin*-фотодиодами. Передающий и принимающий модули соединены оптошиной, наконечники (оконечные втулки) которой вставлены в оптические разъемы указанных модулей. Битрейт в *PCIe x1* равен 2,5 Гбит/с, и с учетом избыточности кодирования 8 бит/10 бит теоретическая пропускная способность шины *PCIe x1* может быть рассчитана как $2,5 \cdot 8/10 = 2$ Гбит/с. Передача полезных данных в *PCIe x1* составляет приблизительно 50 % от общего объема передаваемых данных. Таким образом, полезная пропускная способность *PCIe x1* приблизительно равна 1 Гбит/с. Это же подтверждается и анализом разверток осциллографа. На ос-



■ **Рис. 4.** Пиковая активность каналов: 1—8 — информационные каналы передатчика

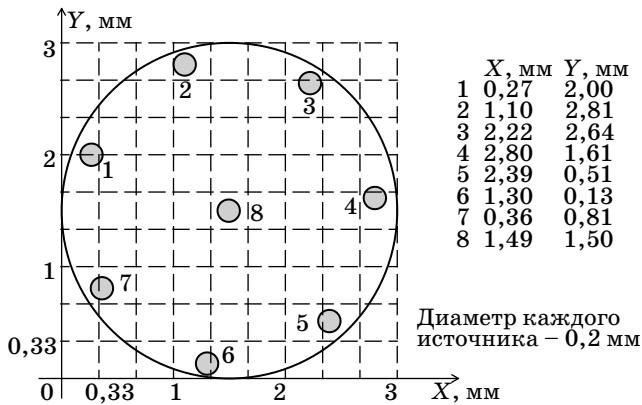
циллограмме (рис. 4) визуально видно, что в одной клетке (50 нс) помещается 8 информационных бит.

Следовательно, длительность одного информационного бита $T_6 = 50/8 = 6,25$ нс.

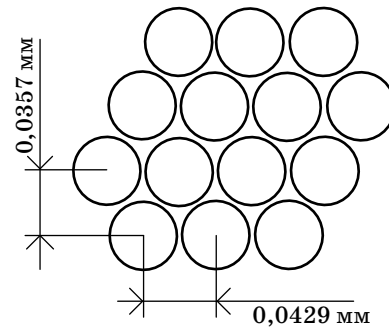
Тогда скорость передачи данных по одному каналу кабеля $G = 1/T_6 = 1/6,25 = 160$ Мбит/с.

Полагая эту скорость передачи одинаковой для всех каналов, получаем суммарную физическую скорость передачи/приема данных по восьми активным каналам кабеля: $G_{\text{сум}} = 160 \cdot 8 = 1280$ Мбит/с.

С учетом избыточности кодирования значащие (полезные) биты передаются с меньшей скоростью: $G_{\text{сум.инф}} = 1280 \cdot 0,8 = 1024$ Мбит/с.



■ Рис. 5. Источники сигналов в координатах X0Y



■ Рис. 6. Разметка каналов

Конфигурация матрицы источников сигналов, используемой в ЭУ, представлена на рис. 5.

Оптоволоконная шина имеет круглую форму сечения входного торца, что дает возможность обеспечить соответствие сечения жгута форме источника излучения. Диаметр оптоволоконной шины по наружной оболочке составляет 3 мм. Оптические волокна собраны в пучок с гексагональной вертикальной раскладкой. Оптоволоконная шина изготовлена с использованием многомодовых оптических волокон из специального стекла с диаметром светопроводящего ядра (сердцевины) 0,03 мм. Диаметр внешнего радиуса оптического волокна составляет 0,04 мм. Принимая коэффициент упаковки каналов в оптошину равным 0,8, количество каналов в оптошине можно рассчитать следующим образом:

$$n_k = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \rho}{\pi \cdot r^2} \times \frac{7,0686}{0,0013} \times 0,8 \approx 4500 \text{ шт.}$$

Конфигурация оптических каналов определяется по разметке (рис. 6).

Длина оптошины составляет 817,3 мм.

Конфигурация матрицы источников сигналов, используемой в ЭУ, представлена на рис. 7. Следует отметить, что светочувствительной является только периферийная область окружности приемника, а центральная область — нет. Диаметр внешнего радиуса приемника составляет 0,2 мм, диаметр внутреннего радиуса — 0,13 мм.

Оптошина жестко фиксируется в разъемах приемника и передатчика в плоскости X0Y, но при этом допускается ее свободное позиционирование при юстировке по оси Z (как вдоль оси, так и вокруг оси).

При вращении одной из матриц вокруг оси Z происходит уменьшение количества каналов, участвующих в засветке приемников, что приводит

к снижению интенсивности засветки этих приемников. При этом, очевидно, существует семь положений, в которых интенсивность засветки каждого приемника близка к максимальной. При переходе из одного такого положения в другое должна выполняться перекоммутация каналов.

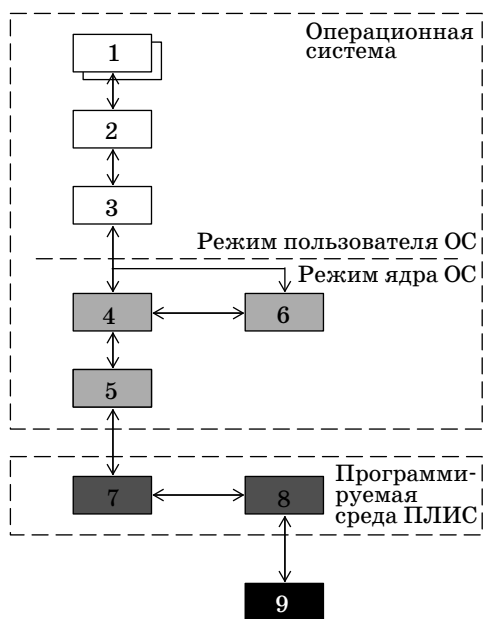
Программное обеспечение системы передачи данных в экспериментальной установке

Программное обеспечение ЭУ включает в себя комплекс программных компонент, реализующих протоколы низкоуровневого и высокоуровневого обмена данными между узлами соединения, драйверы устройств, а также приложения для исследования работы системы передачи данных:

- приложение верхнего уровня, разработанное для исследования и тестирования установки, обеспечивающее прием и передачу данных, а также сбор необходимой статистической информации;



■ Рис. 7. Приемник сигналов в координатах X0Y



■ **Рис. 8.** Общая схема программной реализации: 1 — приложение верхнего уровня; 2 — *user-mode* драйвер устройства; 3 — библиотека базовых функций *Win32 API*; 4 — *kernel-mode* драйвер устройства; 5 — драйвер шины *PCIe*; 6 — ядро операционной системы; 7 — часть прошитого в ПЛИС приложения, обеспечивающая взаимодействие с ПК; 8 — часть прошитого в ПЛИС приложения, работающая с драйверами матрицы лазеров или драйверами матрицы фотодиодов; 9 — программное обеспечение драйверов матрицы лазеров или драйверов матрицы фотодиодов

- *user-mode* драйвер устройства, реализующий протокол управления логическим уровнем соединения;
- *kernel-mode* драйвер устройства, реализующий протокол управления канальным уровнем соединения;
- драйвер шины;
- прошитое в ПЛИС приложение, реализующее протокол управления физическим уровнем соединения;
- драйверы матрицы лазеров и матрицы фотодиодов.

Схема программной реализации системы передачи данных (рис. 8) является общей для приемника и передатчика.

Для реализации приложений верхнего уровня используется стандартная библиотека функций *Win32 API*. В качестве драйвера шины *PCIe* используется стандартный драйвер шины *PCIe* для *Windows XP* и более поздних версий *Windows*, поэтому его специальная реализация не требуется.

Для реализации *kernel-mode* драйвера устройства применен механизм *DMA*-передачи. *DMA*-передача возможна, поскольку используемое устройство является устройством-мастером ши-

ны (*bus-master*). Устройство-мастер шины содержит все необходимые электронные компоненты и логику, чтобы взять управление шиной, к которой оно подключено, и выполнять обмен данными между своим буфером и системной памятью ПК без участия центрального процессора ПК.

Kernel-mode драйвер устройства представляет собой событийно-ориентированную программу (набор обработчиков событий — *IRP*-запросов). Основные *IRP*-запросы, обрабатываемые драйвером:

- *IRP_MN_READ* — чтение данных из буфера ПК в устройство;
- *IRP_MN_WRITE* — запись данных из устройства в буфер ПК.

Алгоритм обработки запроса *IRP_MN_READ* включает в себя 3 шага.

1. Сброс устройства.

2. Инициализация *DMA*-передачи данных. Устанавливаются значения следующих регистров устройства:

- *READ_ADDR_OFFSET* — начальный адрес буфера памяти на ПК, данные из которого должны быть записаны в устройство;
- *READ_SIZE_OFFSET* — размер *TLP*-пакета в байтах;
- *READ_COUNT_OFFSET* — количество *TLP*-пакетов.

Размер одной *DMA*-передачи определяется как произведение значений регистров *READ_SIZE_OFFSET* · *READ_COUNT_OFFSET* и не может превышать 32 КБ.

В случае успешного выполнения функция инициализации *DMA*-передачи должна возвращать статус *PENDING*.

3. Старт *DMA*-передачи, означающий начало копирования данных из буфера памяти на ПК в устройство. При этом буфер памяти на ПК организован как *Scatter/Gather-list*, обеспечивающий максимальный быстрый доступ к данным без участия центрального процессора. При завершении передачи данных генерируется прерывание.

Аналогичную структуру имеет и алгоритм обработки запроса *IRP_MN_WRITE*.

Одна *DMA*-передача размером 32 КБ соответствует одному пакету данных для протокола управления логическим каналом, который реализуется в *user-mode* драйвере устройства. Основные соглашения протокола:

- целостная единица данных — это сообщение (например, файл);
- одновременно передатчик может передавать, а приемник может принимать несколько сообщений, каждое из которых имеет уникальный идентификатор;
- каждое сообщение на стороне передатчика разбивается на пронумерованные пакеты размером 32 КБ, включающие в себя заголовок и основной блок;

- выделяется три основных типа пакетов:
 - информационные пакеты, содержащие передаваемые данные;
 - служебные пакеты для передачи управляющих сигналов протокола логического канала;
 - служебные пакеты для взаимодействия с ПЛИС;

— пакеты могут поступать в приемник в порядке, отличном от того, в котором они были отправлены передатчиком, и собираться в сообщении в соответствии с их порядковыми номерами;

— в том случае, если не все пакеты были приняты, приемник требует от передатчика повторной передачи недостающих пакетов до тех пор, пока сообщение не будет полностью собрано.

Результаты исследования

В ходе исследований сопоставлялись результаты, полученные на ЭУ, с результатами вычислительного эксперимента на динамической РСМ-модели той же геометрической конфигурации [7]. Исследовалось поведение системы в режиме передачи данных без перекоммутации, а также функции коммутации каналов и самовосстановления соединения. Для каждого режима определен набор показателей для сопоставления.

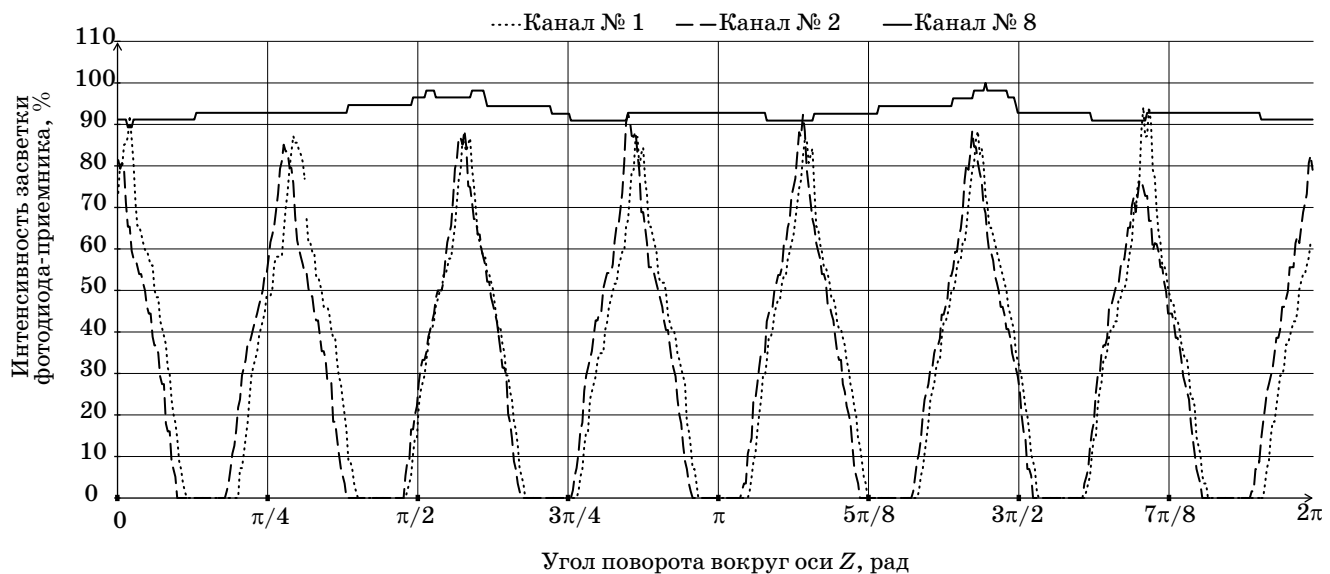
В режиме передачи данных без перекоммутации сравнивались входная и выходная последовательности данных, в режиме коммутации сопоставлялись сформированные множества логических каналов, в режиме самовосстановления исследовалась реакция системы на взаимное смещение источников и приемников (перемещение вдоль и поворот вокруг оси Z).

На графике (рис. 9), полученном в ходе вычислительного эксперимента на динамической РСМ-модели, приведена зависимость интенсивности засветки приемников от угла поворота одной из матриц для каналов 1, 2 и 8. Для каналов 3, 4, 5, 6 и 7 зависимости имеют характер, аналогичный характеру для каналов 1 и 2.

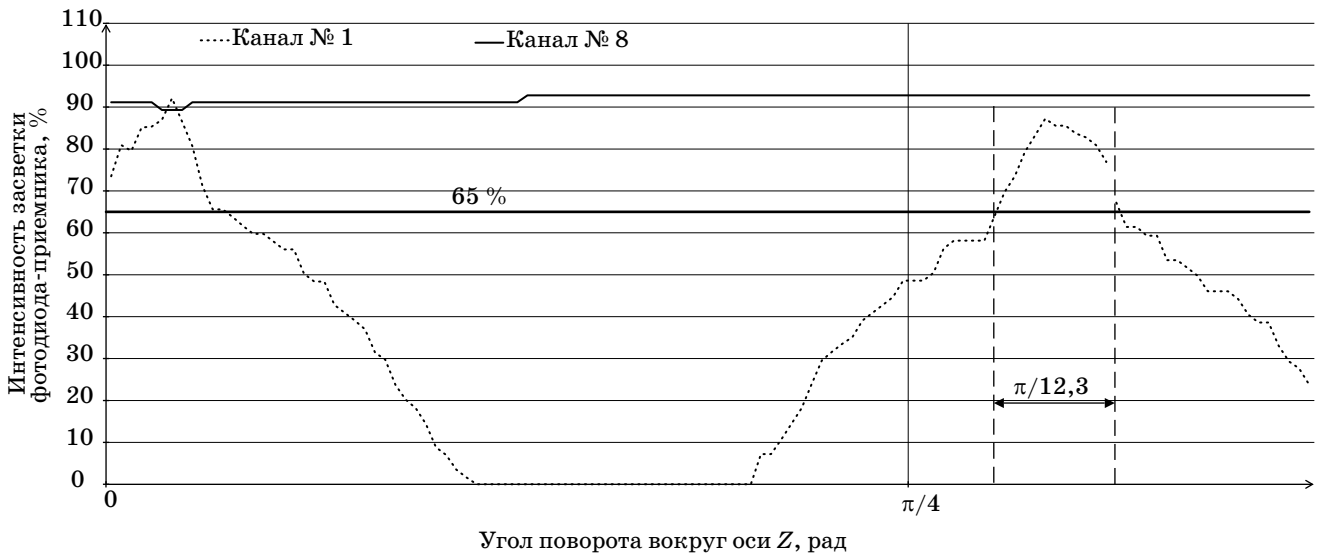
Интенсивность засветки приемника, достаточная для его активации, зависит от типа приемника, и была определена экспериментально. Устойчивая активация приемников наблюдается при интенсивности засветки не ниже 65 % от максимальной. При этих условиях сохраняется возможность самовосстановления соединения.

На графике, полученном в ходе вычислительного эксперимента на динамической РСМ-модели (рис. 10), видно, что для достижения допустимой засветки приемника канала 1 угол поворота матрицы источников сигналов или матрицы приемников сигналов не должен превышать $\pi/12,3$. Поскольку характер соответствующих графиков для каналов 2, 3, 4, 5, 6 и 7 аналогичен характеру графика для канала 1, то максимально допустимый угол поворота матрицы источников сигналов или матрицы приемников сигналов для этих каналов также не должен превышать значения, приблизительно равного $\pi/12,3$ ($14,3^\circ$). Полученные результаты подтвердились в ходе проведения исследований на ЭУ, здесь максимальный угол составил приблизительно $13,5^\circ$.

Очевидно, в случае использования матрицы приемников сигналов, равномерно и плотно покрытой фотодиодами, в любом положении матрицы при ее вращении вокруг оси Z интенсивность засветки будет близка к максимальной.



■ **Рис. 9.** Зависимость засветки приемников сигналов от угла поворота вокруг оси Z матрицы источников или приемников сигналов

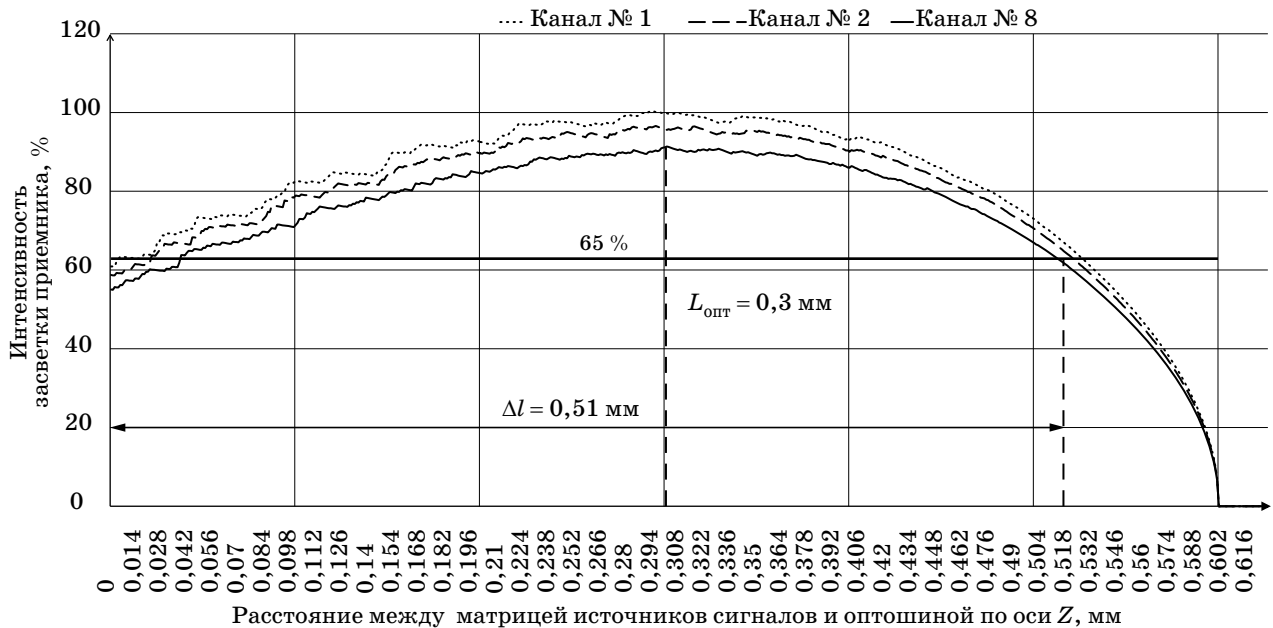


■ **Рис. 10.** Определение максимально допустимого угла поворота матрицы источников сигналов или матрицы приемников сигналов

Увеличение расстояния по оси Z между матрицей источников сигналов и оптоиной приводит, с одной стороны, к снижению интенсивности сигналов, попадающих в каналы, а с другой стороны — к рассеиванию сигналов и увеличению количества задействованных каналов. В ходе проведения вычислительного эксперимента на динамической РСП-модели была исследована зависимость интенсивности засветки приемников от расстояния по оси Z между матрицей источников сигналов и оптоиной (рис. 11). График показывает, что максимальная интенсивность за-

светки приемников достигается при расстоянии между матрицей источников сигналов и оптоиной $0,3$ мм. Для получения минимально допустимой засветки на уровне 65% расстояние не должно превышать $0,51$ мм. Полученные результаты подтвердились в ходе проведения исследований на ЭУ, здесь максимально допустимое расстояние между матрицей источников сигналов и оптоиной приблизительно равно $0,55$ мм.

Таким образом, результаты исследований на ЭУ и на модели показали, что самовосстановление соединения возможно при повороте матри-



■ **Рис. 11.** Зависимость интенсивности засветки приемников от расстояния по оси Z между матрицей источников сигналов и оптоиной

цы источников или приемников сигналов вокруг оси Z на угол, не превышающий $13\text{--}14^\circ$, и при смещении оптошины относительно матрицы источников сигналов вдоль оси Z на расстояние, не превышающее $0,5\text{--}0,6$ мм.

Увеличение расстояния по оси Z между матрицей приемников сигналов и оптошиной приводит к снижению интенсивности сигналов, попадающих в каналы; возникающее при этом рассеивание сигналов не приводит к изменению количества задействованных приемников. Поэтому для получения максимальной интенсивности засветки приемников матрицу приемников сигналов необходимо размещать максимально близко к оптошине.

При моделировании и в ходе проведения исследований на ЭУ было скоммутировано 8 логических каналов.

При передаче данных в нормальном режиме без необходимости повторной коммутации каналов в ЭУ и на модели отмечено отсутствие потерь при передаче данных, т. е. полное совпадение принятой и отправленной последовательностей. При этом скорость передачи данных на установке $0,8\text{--}0,9$ Гбит/с. В динамической модели скоростные характеристики передачи данных не определялись.

В режиме коммутации каналов было отмечено полное совпадение скоммутированных множеств источников и приемников при расхождении в задействованных физических каналах на $5\text{--}15\%$. Расхождение связано с неточностью моделирования физических факторов, влияющих на прохождение сигналов в оптическом канале, а также на входе и на выходе из него. При этом среднее время коммутации в ЭУ составило $0,34$ мс. В ди-

намической модели временные характеристики передачи данных не определялись.

В режиме самовосстановления моделировалось восстановление соединения при выходе из строя источников и приемников, а также при повороте вокруг и смещении вдоль оси Z . Отключение источников и приемников в ЭУ инициирует выполнение функции перекоммутации, что в свою очередь приводит к формированию нового множества логических каналов. В ходе исследования было установлено, что полученные таким образом на ЭУ множества логических каналов совпали с соответствующими множествами каналов, скоммутированными на динамической модели. Выход из строя физических каналов моделировался только в вычислительном эксперименте.

Заключение

Разработка динамической модели и создание экспериментального стенда позволили провести исследования, по которым сделаны следующие выводы:

— подтверждена работоспособность системы передачи данных, построенной на основе коммутируемого многоканального оптоволоконного соединения, в режимах коммутации каналов, передачи данных и самовосстановления соединения;

— в целом подтверждена адекватность построенной динамической модели передачи данных по сопоставимым параметрам;

— результаты, полученные в ходе вычислительного эксперимента на динамической модели, позволили оптимизировать геометрическую конфигурацию ЭУ.

Литература

1. **10 Gbits/sec and beyond: High speed in the data center.** www.cablinginstall.com/articles/print/volume-16/issue-1/features/10-gbits-sec-and-beyond-high-speed-in-the-data-center.html (дата обращения: 01.12.2013).
2. **comScore Releases Overview of European Internet Usage in September 2011.** http://www.comscore.com/Press_Events/Press_Releases/2011/11/comScore_Releases_Overview_of_European_Internet_Usage_in_September_2011 (дата обращения: 01.12.2013).
3. **IBM Cancels Blue Waters.** <http://insidehpc.com/2011/08/08/ibm-cancels-blue-waters/> (дата обращения: 01.12.2013).
4. **Пат. 2270493 Российской Федерации, Н 01 L 23/525.** Способы самовосстанавливающегося соединения многоконтактных приборов или микросхем и устройство для его осуществления/ В. С. Никитин (Российская Федерация). – № 2004101348; заявл. 16.01.04; опубл. 20.02.06. http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/electron_bulletins/inventions_utility_models/ (дата обращения: 24.12.2013).
5. **Шаров В. Г., Чайка С. В.** Оценка надежности системы передачи данных на основе интеллектуальных многоканальных оптоволоконных соединений // Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьева. 2012. № 2. С. 169–175.
6. **Шаров В. Г., Никитин В. С., Ломанов А. Н., Чайка С. В.** Адаптивный протокол передачи данных для многоканальных оптоволоконных соединений // Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьева. 2011. № 1. С. 104–111.
7. **Шаров В. Г., Ломанов А. Н., Чайка С. В.** Верификация адаптивного протокола передачи данных для многоканальных оптоволоконных соединений // Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьева. 2011. № 3(21). С. 113–119.

8. Пат. 125740 Российской Федерации, G 06 F 13/00. Программно-аппаратный комплекс передачи данных по многоканальному оптоволоконному соединению / В. Г. Шаров, В. Н. Никитин, А. Н. Ломанов, С. В. Чайка (Российская Федерация). –

№ 2012130126; заявл. 15.07.12; опубл. 10.03.13. http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/electron_bulletins/inventions_utility_models/ (дата обращения: 24.12.2013).

UDC 004.057.4

Experimental Investigation of a Data Transfer System Based on a Switched Multi-Channel Fiber-Optic Connection

Sharov V. G.^a, PhD, Phys.-Math., sharov@rsatu.ru

Nikitin V. S.^b, PhD, Tech., 505z@mail.ru

Lomanov A. N.^a, PhD, Tech., lepss@yandex.ru

Chaika S. V.^a, Programmer Engineer, Post-Graduate Student, chaika_sv@mail.ru

^aP. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, 53, Pushkin St., 152934, Rybinsk, Russian Federation

^b«NTC «Introfizica», PLC, 59, Apt. 7, Gor'kii St., 152918, Rybinsk, Russian Federation

Purpose: There has been discussed a data transfer system based on a switched multi-channel fiber-optic connection. The goal of the paper is software and hardware implementation of the system (development of a test desk) and its experimental investigation. **Methods:** There have been compared results obtained from the test desk and results of a computational experiment involving a dynamic model of the same geometric configuration. Experimental investigations of the system have been carried out in a mode of steady data transfer as well as applying switching and self-recovering functions. **Results:** There has been confirmed operability of the data transfer system based on a switched multi-channel fiber-optic connection (in particular, high performance of channel commutation, data transfer and connection self-recovering have been proven); adequacy of the constructed dynamic model has been confirmed. **Practical relevance:** The results obtained from the computational experiment engaging the dynamic model allow optimizing the test desk geometric configuration.

Keywords — Enhanced Reliability Systems, Multi-Channel Fiber-Optic Connections, Self-Organizing Systems, Data Transfer Protocols.

References

1. *10 Gbits/sec and Beyond: High Speed in the Data Center*. Available at: <http://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-16/issue-1/features/10-gbits-sec-and-beyond-high-speed-in-the-data-center.html> (accessed 1 December 2013).
2. *ComScore Releases Overview of European Internet Usage in September 2011*. Available at: http://www.comscore.com/Press_Events/Press_Releases/2011/11/comScore_Releases_Overview_of_European_Internet_Usage_in_September_2011 (accessed 1 December 2013).
3. *IBM Cancels Blue Waters*. Available at: <http://insidehpc.com/2011/08/08/ibm-cancels-blue-waters/> (accessed 1 December 2013).
4. Nikitin V. S., et al. *Sposoby samovosstanavlivaiushchegosia soedineniia mnogokontaktnykh priborov ili mikroshkem i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia* [The Ways of Building Multicontact Devices or Chips and Device to Implement it]. Patent Russian Federation, no. 2270493/20–06, 2006.
5. Sharov V. G., Chaika S. V. Reliability Evaluation of the Data Transfer System Based on the Intellectual Multi-Channel Fiber Optic Connections. *Vestnik RGATU im. P. A. Solov'eva*, 2012, no. 2, pp. 169–175 (In Russian).
6. Sharov V. G., Nikitin V. S., Lomanov A. N., Chaika S. V. Adaptive Link Protocol for Multichannel Fiber Optic Connections. *Vestnik RGATU im. P. A. Solov'eva*, 2011, no. 1, pp. 104–111 (In Russian).
7. Sharov V. G., Lomanov A. N., Chaika S. V. Adaptive Link Protocol for Multichannel Fiber Optic Connections. *Vestnik RGATU im. P. A. Solov'eva*, 2011, no. 3, pp. 113–119 (In Russian).
8. Sharov V. G., Nikitin V. S., Lomanov A. N., Chaika S. V., et al. *Programmno-apparatnyi kompleks peredachi dannykh po mnogokanal'nomu optovolokonnomu soedineniiu* [Software-Hardware Data Transfer Complex on Multicore Fiber Interface]. Patent Russian Federation, no. 125740/15–07, 2012.