

УДК 004.75  
ББК 32.81

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОММУТИРУЕМЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ АКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

Стецюра Г. Г.<sup>1</sup>

(ФГБУН Институт проблем управления РАН, Москва)

*Предложен способ создания коммутируемых непосредственных соединений большого количества цифровых источников и приемников сообщений. Быстро разрешаются конфликты на входе приемника. Устранение отказов в соединениях требует небольшого количества аппаратных средств. Показана возможность реализации таких соединений с применением оптоэлектронных средств.*

Ключевые слова: распределенная коммутация, ретрорефлектор, отказоустойчивость, бесконфликтный доступ.

### 1. Введение

Современные сложные вычислительные и управляющие системы содержат тысячи активных объектов (далее объектов), которые по собственной инициативе вступают в сложные взаимодействия, часто сопровождаемые конфликтами доступа к ресурсам. В таких системах требуется обеспечивать быстрые связи объектов, трансформировать структуры связей с привлечением достаточно простых аппаратных средств и аппаратно синхронизовать процессы обмена сообщениями.

В статье предлагается способ организации таких связей. Реализацию способа нельзя обеспечить средствами электроники, поэтому в статье предложена распределенная коммутация, использующая средства оптоэлектроники для установления

---

<sup>1</sup> Геннадий Георгиевич Стецюра, г.н.с., доктор технических наук, профессор (stetsura@ipu.ru).

беспроводных связей между объектами. Обеспечиваются следующие особенности способа.

– Для соединения объекта с любым из  $n$  объектов в каждом объекте используется демультиплексор, состоящий из  $2\lceil \log_2 \sqrt{n} \rceil$  оптических дефлекторов – двоичных переключателей направления передачи оптического сигнала.

– Каждый приемник сообщений имеет единственный приемник оптических сигналов, и на входе последнего возникают конфликты, если источникам требуется одновременный доступ к приемнику. Такие внешние по отношению к коммутатору конфликты быстро разрешаются непосредственно средствами коммутатора. Это требуется и при борьбе с отказами коммутатора, как показано ниже. Источники после обнаружения конфликта доставляют приемникам свои сообщения как единое сообщение без временных пауз между его составляющими.

– Обычно объекты невозможно разместить так, чтобы оптические сигналы источника поступали в любой из приемников, и для обеспечения доставки этих сигналов применен не содержащий коммутирующих элементов центр – группа оптоэлектронных ретрорефлекторных стыковочных модулей, по одному модулю для каждого объекта – приемника сообщений. Модули в центре между собой не связаны.

– Модуль не закреплен постоянно за конкретным приемником, но соответствие модуля приемнику известно каждому объекту и может быть изменено в динамике.

– При ожидаемых  $m$  отказах в модулях достаточно добавить в центр  $m$  модулей и количество переключателей в каждом демультиплексоре увеличить до  $2\lceil \log_2 \sqrt{n+m} \rceil$ . Если допустимо увеличивать времена соединения объектов, то добавлять оборудование не требуется.

– Для передачи сообщений объекты не создают оптические сигналы, а модулируют сигналы внешних источников, что уменьшает энергопотребление объектов.

Хотя центральной задачей способа является обеспечение коммутации распределенных объектов, из перечисленных возможностей способа видно, что они не ограничиваются коммута-

цией и решают более широкие задачи обеспечения взаимодействия распределенных объектов, включающие устранение конфликтов на входах приемников и повышение отказоустойчивости связей. Можно надеяться, что быстрое и гибкое формирование связей между объектами системы позволит создавать более быстрые способы управления работой цифровой системы в целом.

Рассмотрим кратко известные результаты, использованные в настоящей статье. Предлагаемая структура оптоэлектронных связей является развитием структуры, приведенной в [4, 5]. Предлагается использовать демультиплексор, аналогичный демультиплексору в [4, 5], но введен дополнительный ретрорефлекторный стыковочный модуль, существенно расширивший возможности способа. В [4, 5] посылаемые источником световые сигналы обычно не могут непосредственно поступить к требуемому приемнику и направляются к нему дополнительным неуправляемым отражателем. Для каждого источника их количество равно количеству приемников сигналов источника, что при большом количестве коммутируемых объектов представляет трудности. В настоящей статье количество стыковочных модулей может быть равно количеству приемников, а также быть больше или меньше их количества. Каждый приемник в динамике выбирает для взаимодействия с источниками один из модулей. Источник посылает свое сообщение не приемнику, а модулю, соответствующему приемнику, изменяя состояние модуля. Приемник посылает луч света в модуль, который отражает его приемнику, модулируя луч сигналами источника.

Центральные устройства, используемые в статье – оптоэлектронный демультиплексор и ретрорефлекторный стыковочный модуль, содержащий ретрорефлектор и оптический модулятор. Демультиплексор содержит группу двоичных переключателей направления светового луча. Известно довольно много таких переключателей, но для целей статьи нужны переключатели, в которых направление выходящего из них луча не зависит от нестабильности управляющего электрического сигнала. Это довольно сильное ограничение и практически ему удовлетворяют переключатели на основе микрооптоэлектромеханических систем (МОЭМС) и переключатели, использующие

соединения ванадия, которые пропускают или отражают свет при изменении управляющего воздействия.

МОЭМС выпускаются промышленно для многих видов приложений, широко отраженных в интернете. В качестве публикаций, близких к рассматриваемой теме, приведем обзоры [7, 12]. Недостаток МОЭМС: их быстродействие ограничено долями миллисекунды. Поэтому в цифровых системах их можно использовать только для реконфигурации структуры системы, где указанное время приемлемо. Такие средства могут сохранять результат переключения при снятии управляющего воздействия.

Чисто электронные переключатели на соединениях ванадия находятся в стадии научных разработок, их преимущество – высокое быстродействие, измеряемое долями пикосекунды. В последние годы публикаций по этой тематике появилось много, здесь приведены [1, 6, 8, 9].

Доведенные до уровня технических устройств разработки ретрорефлекторов и модуляторов, требуемые в статье, можно найти в [10, 11]. Заметим, что в качестве модуляторов можно использовать указанные выше отклоняющие свет устройства. Они имеют преимущество: сигналы, которые не требуется передавать далее в системе, из нее удаляются.

## **2. Оптоэлектронный ретрорефлекторный стыковочный модуль**

Организация каждого ретрорефлекторного стыковочного модуля (далее *RCM*) центра показана на рис. 1. Он имеет фотоприемник  $FR_s$ , ретрорефлектор  $RRF$  и модулятор оптических сигналов  $M_s$ . На  $FR_s$  поступает группа сигналов  $F_s$ . Сигналы группы  $F_s$  посылают источник сообщения –  $S$  и приемник сообщения –  $R$ . Сигналы в группе имеют различные частоты, часть из них вырабатывает в фотоприемнике электрические сигналы, управляющие пропускной способностью модулятора.

Ретрорефлектор (на рис. 1 катафот, но может быть использован «кошачий глаз», как в [10, 11]) обладает свойством возвращать поступающий на него оптический сигнал в направлении источника сигнала.

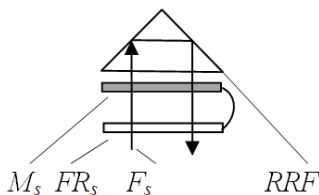


Рис. 1. Стыковочный модуль с ретрорефлектором

Источник  $S_i$ , чтобы послать сообщение приемнику  $R_k$ , посылает в  $RCM_j$ , выделенный для соединения всех источников с  $R_k$ , сигналы группы  $F_s$ : сигналы сообщения  $f_{2s}$  на частоте  $f_{2s}$  и непрерывный сигнал  $f_{3s}$  на частоте  $f_{3s}$ . Все используемые сигналами частоты обозначаются как соответствующие им сигналы. Эти обозначения соответствуют обозначениям в статьях [2, 3], результаты которых использованы ниже. Приемник постоянно посылает в  $RCM_j$  непрерывный сигнал  $f_{3s}$  из группы  $F_s$  на частоте  $f_{3s}$ . Получив от источника очередной сигнал  $f_{2s}$ , приемник  $FR_s$  модуля воздействует на модулятор  $M_s$ , который на время действия этого сигнала перекрывает поступление сигнала  $f_{3s}$  на ретрорефлектор  $RRF$ . В результате действия модулятора  $M_s$  приемник  $R_k$ , следящий за модулем, зафиксирует поступление в  $RCM_j$  сигнала источника.

Для посылки ответных сигналов от приемника к источнику приемник в выделенный ему модуль посылает сигнал  $f_{2s}$ , который, пройдя через фотоприемник  $FR_s$ , воздействует на модулятор  $M_s$ , и источник зафиксирует поступление в  $RCM$  сигнала приемника в результате модуляции сигнала  $f_{3s}$  источника.

В таком стыковочном модуле могут быть использованы приведенные в [10, 11] способы реализации ретрорефлектора типа «кошачий глаз», а также фотоприемника и модулятора оптических сигналов на фотонных кристаллах.

Желательно между объектами и ретрорефлектором размещать последовательно дополнительные селективные фотоприемники и модуляторы, реагирующие на различные частоты. В частности, это позволит ускорить и упростить обнаружение искажений сообщений, применяя передачу источником разрядов сообщения на разных частотах – частотами  $f_{2s}$  и  $f_{3s}$  для сигнала 1

и частотами  $f_{2s0}$  и  $f_{3s0}$  для сигнала 0. На дополнительных частотах можно передавать синхросигналы, разделять на подгруппы группу объектов, направляющих сигналы на *RCM*, передавать параллельно несколько битов и т.п.

На рис. 2 показан пример конструкции *RCM* с группой из двух фотоприемников и модуляторов.

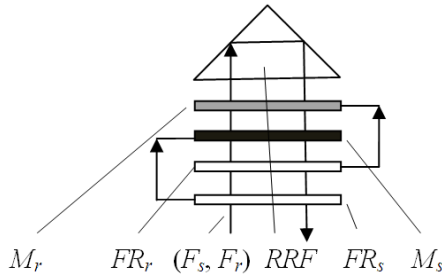


Рис. 2 Стыковочный модуль с группой приемников и модуляторов

Здесь между объектами и ретрорефлектором последовательно размещены узлы  $FR_s$ ,  $FR_r$ ,  $M_s$  и  $M_r$ , что предъявляет к фотоприемникам и модуляторам более жесткие требования: каждый из них должен реагировать указанным выше способом только на сигналы соответствующей ему частоты, пропуская остальные сигналы. Электрические сигналы каждого фотоприемника действуют на соответствующий модулятор.

В приведенных взаимодействиях источника и приемника от *RCM* не требуется генерация оптических сигналов – энергия нужна только для изменения состояния модуляторов сигналов.

Таким образом, особенность предложенного взаимодействия объектов в том, что сигналы источника сообщения непосредственно в приемник не поступают, и приемник для их приема должен передавать сигнал  $f_{3s}$ .

### 3. Структура демультиплексора

Рассмотрим структуру демультиплексора *D*, который для посылки луча света в одном из  $n$  направлений состоит из

$S_d = 2 \lceil \log_2 \sqrt{n} \rceil$  переключателей на два направления. На рис. 3 показано сечение плоскостью  $xu$  демультиплексора  $D$  на 4 направления луча, выбранного в качестве примера.

Переключатели в  $D$  имеют протяженность вдоль оси  $z$  и ортогональны плоскости  $xu$ , причем  $D$  состоит из двух переключателей на два направления  $s_1$  и  $s_2$ . На первый переключатель вдоль оси  $x$  поступает луч света. Каждый из двух переключателей содержит отражающие или пропускающие свет управляемые элементы (1, 3) и отражающие свет неуправляемые элементы (2, 4). Под действием управляющего сигнала элемент 1, 3 либо пропускает свет на элемент 2, 4, либо отражает его. При этом управляемые элементы или меняют прозрачность, или удаляются с пути поступления входного сигнала [4, 5]. Пусть по отношению к входящему лучу элементы наклонены на  $45^\circ$  (при различных реализациях углы могут быть другими [4, 5]). Расстояния между элементами переключателей выбраны так, чтобы расстояния между выходящими лучами были одинаковы.

Добавим к этому демультиплексору такой же демультиплексор  $D_1$ , расположенный в плоскости  $xz$ , в который луч лазера поступает по осиз. Выходные лучи  $D_1$  поступают на вход демультиплексора  $D$ . В результате совместного действия  $D$  и  $D_1$  получим 16 направлений сигнала на выходе  $D$  при  $S_d = 4$ .

Демультиплексор каждого объекта при вхождении в систему должен быть ориентирован так, чтобы лучи с его выхода попали в адресованный демультиплексором CRM.

На рис. 3 используется небольшая часть площади элементов 1–4, поэтому каждый элемент можно заменить группой элементов меньшего размера, управляемых одним и тем же сигналом. По управлению сложность обоих решений одинакова, и выбор решения определяется требованиями технологии.

Пропускающий луч элемент частично отражает его, что создает помеху. Если необходимо дополнительно уменьшать такие помехи, то поместим на выходе каждого управляемого элемента управляемый фильтр, дополнительно ослабляющий помеху. Это могут быть фильтры, изменяющие пропускную способность при подаче управляющего сигнала, либо управляемые элементы из  $VO_2$ , отводящие нежелательный сигнал в

сторону. Для управления фильтрами не требуются дополнительные сигналы, и сложность по управлению сохраняется.

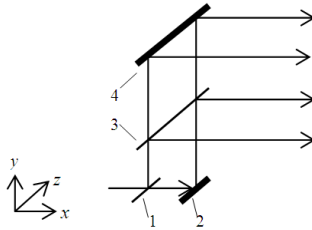


Рис. 3. Структура демультиплексора

Заметим, что вводить фильтры потребуется только для систем, в которых допускаются конфликты доступа с одновременным обращением к соседним *RCM* такого количества источников, что полезный сигнал не будет отличаться от помехи. Но и в этом случае можно воспользоваться случайным доступом.

На рис. 4 показана структура связей объектов *O* с применением стыковочных модулей *RCM*.

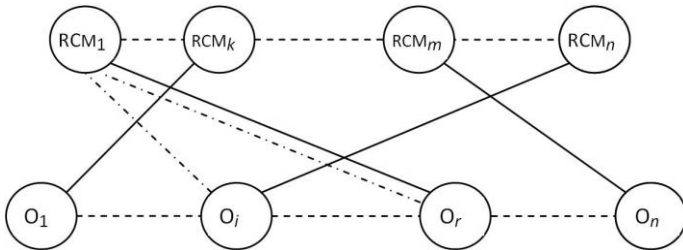


Рис. 4. Структура связей объектов со стыковочными модулями

Сплошными линиями показаны связи приемников сообщений с модулями *RCM*. Связи приемники устанавливают заданием адреса *RCM*, который выделен данному приемнику. Источник сообщения для связи с приемником сообщения с помощью демультиплексора направляет свой сигнал в *RCM* этого приемника. Например, объект  $O_i$  для отправки сообщения приемнику  $O_r$  направляет его в *RCM*<sub>1</sub>, из которого его получает приемник (штрихпунктирные линии).



Рассмотрим организацию групповых обменов сообщениями. Так как сложность демультиплексора мала, то введем в объекты дополнительный демультиплексор. Выделим объект – источник групповых сообщений (ИГС). Объекты, объединенные в группу, используют второй демультиплексор, чтобы постоянно следить за ИГС. Чтобы послать сообщение всем объектам группы, любой объект группы посылает его в ИГС, что автоматически обеспечивает требуемую доставку сообщения.

Если посылается широковещательное сообщение всем объектам системы, то решение упрощается. Должен быть выделен источник широковещательных сообщений (ИШС), используемый подобно ИГС, который имеет источник оптических сигналов, излучающий в конусе, охватывающем все объекты системы. Для получения сигналов ИШС каждый приемник должен вместо демультиплексора иметь простой фотоприемник этих сигналов.

Так как демультиплексоры имеют малую сложность, то их можно делать «с запасом», в расчете на максимальное для конкретного вида систем количество коммутируемых объектов.

Из раздела следует, что технические средства связи источника и приемника одинаковы, отличие только в способе использования модулей *RCM*, выделяемых приемникам.

#### **4. Устранение конфликтов доступа к *RCM***

Пусть источник передает сообщение. Для *RCM* по рис. 1 передача возможна, если в течение интервала времени  $1,5T_{max}$  источник не получает сигналов  $f_{2s}$  от приемника. Для *RCM* по рис. 2 надо на запрос источника – дополнительного сигнала  $f_{2q}$ , действующего подобно сигналу  $f_{2s}$ , получить разрешение от приемника.

Если после начала передачи сообщения на *RCM* приемника не приходят одновременно сигналы от нескольких источников, то рассмотренный коммутатор обеспечивает бесконфликтный обмен сообщениями. Однако отсутствие конфликтов на входе приемника обычно нереализуемо в системах управления, где трудно синхронизовать действия источников. Конфликты возможны также в одном из предлагаемых ниже способов борьбы с

отказами коммутатора. В данном разделе рассмотрен способ устранения конфликтов доступа с применением *RCM*.

Способ разрешения конфликта на входе *RCM* близок к способу разрешения конфликта на входе приемника объекта, показанному в [2], он требует выполнения следующих шагов.

Шаг 1. Источники сообщений измеряют интервал времени прохода сигнала от объекта к *RCM* и обратно. Свойства ретро-рефлектора позволяют всем источникам выполнять это измерение одновременно без конфликтов.

Шаг 2. Источники обнаруживают конфликт.

Шаг 3. Источники определяют момент начала передачи своего сообщения, обеспечивающего устранение конфликта.

Шаг 4. Источники, воспользовавшись результатами шага 1, передают свои сообщения одно за другим *без временных пробоев* между ними, как единое сообщение.

**Операции шага 1.** Каждый источник  $S_i$  измеряет интервал времени  $T_i$  прохода сигнала от объекта к *RCM* и обратно. Для этого в группу сигналов  $F_s$  вводится сигнал  $f_{1s}$ , который проходит через модулятор  $M_s$  без модуляции и возвращается ретро-рефлектором  $RRF_s$  источнику сигнала, что позволяет последнему измерить  $T_i$ .

**Операции шага 2.** Первый способ: если источник, принимая свои сигналы  $f_{3s}$ , модулированные в  $M_s$ , обнаруживает искажение своего сообщения другими источниками, то возник конфликт и требуется выполнение шага 3.

Второй способ: конфликт обнаруживает приемник и сигналами  $f_{2s}$  посылает в *RCM* сообщение о конфликте. Это сообщение поступает к источнику и требует перехода к шагу 3.

**Замечание.** Обнаружение искажений ускоряет передача разрядов сообщения на разных частотах – частотами  $f_{2s}$  и  $f_{3s}$  для сигнала 1 и частотами  $f_{2s0}$  и  $f_{3s0}$  для сигнала 0 (см. раздел 2).

**Операции шага 3.** Источникам известно  $l$  – количество источников, которым разрешено обращаться к данному приемнику. В частности  $l$  равно  $n$ . Все эти источники упорядочены. Полученное на шаге 2 сообщение о конфликте инициирует синхронизацию следующих действий источников.

Конфликтующие источники посылают в *RCM* координирующее сообщение, содержащее  $l$  разрядов. Посылка этого сооб-

щения выполняется так. Обнаружив конфликт (шаг 2), конфликтующий источник с номером  $i$  с задержкой  $\tilde{T}_i = T_{\max} - T_i$  посылает сообщение в  $RCM$ . Здесь  $T_{\max} \geq \max T_i$ . Все такие сообщения поступят в  $RCM$  одновременно, с задержкой  $T_{\max}$  после завершения шага 2 в источнике. Таким образом, все сообщения группы источников в  $RCM$  накладываются одно на другое и представляют собой одно сообщение. В него каждый конфликтующий источник вносит единицу в разряд сообщения, соответствующий порядковому номеру (приоритету) источника. Сообщение получают все его источники, длительность этого сообщения известна источникам, и его окончание – начало шага 4.

**Операции шага 4.** Завершив шаг 3, каждый конфликтующий источник  $S_i$  знает, сколько источников передадут свои сообщения раньше него, и передает свое сообщение с задержкой  $T_{\max} - T_i + Q$ , где  $Q$  – суммарная длительность сообщений, переданных источниками с более высоким приоритетом ( $Q$  известно источнику). Конфликт устранен.

Изложенный способ разрешения конфликтов следует результатам статьи [2]. В статье [3] приведено ускорение способа, существенное для наиболее скоростных современных систем. Это ускорение достигалось усложнением оборудования, рассмотренного в [2], и применением более сложной совокупности оптических сигналов. Результаты [3] также реализуемы в предлагаемом коммутаторе. Но это потребует дополнительных оптических сигналов  $f_{4s}$  и  $f_{5s}$ , используемых подобно сигналам  $f_{2s}$  и  $f_{3s}$  соответственно, на которые должен реагировать  $RCM$ .

Замечание к разделу 4. Использовать шаг 1 не требуется, если на шаге 3 сигналы имеют малую длительность и скорость передачи сигналов достаточно низкая, такие, что сдвиг во времени передачи сигналов источниками не приводит к наложению разрядов в сообщении шага 3, т.е.  $\max_{i,j} |T_i - T_j| < \tau$ ,  $i, j = 1, \dots, l$ , где  $\tau$  – интервал времени между сигналами сообщения шага 3. При этом на шаге 4 сообщения надо передавать с задержкой  $Q_i + \tau$  которая исключает наложение сообщений, но не требует ограничивать скорость передачи сообщения.

## 5. Борьба с отказами RCM

Отказы в коммутаторе возможны в демультиплексорах и в RCM. Отказ в демультиплексоре отключает от системы только владеющий им объект, такой отказ должен обнаруживаться и нейтрализоваться средствами объекта. Отметим, что частичные отказы в демультиплексоре, исключающие связь с отдельными приемниками, можно устранять системными средствами. Достаточно объекту с таким отказом потребовать переключения приемника на другой RCM, как показано ниже.

Модули RCM находятся вне объекта, с их отказами надо бороться системными средствами. Возможны два способа. При первом способе в центр добавляются резервные RCM. При обнаружении отказа конкретного RCM выполняется переход приемника и источников на один из резервных RCM. Для этого потребуется добавить в центр  $m$  дополнительных модулей и увеличить количество переключателей в каждом демультиплексоре до  $2 \lceil \log_2 \sqrt{n+m} \rceil$ . Во втором способе при отказе RCM приемник разделяет один из работоспособных RCM с другими приемниками. Возможные конфликты доступа к приемнику и, следовательно, к RCM разрешаются способом, изложенным в разделе 4. В обоих случаях источники и приемники сообщений должны обнаруживать отказы в RCM и иметь информацию для перехода к новому RCM.

Объект для обнаружения отказа RCM посылает в RCM контрольное сообщение сигналами  $f_{2s}$  и непрерывный сигнал  $f_{3s}$ . При исправном RCM объект получит от RCM сигнал  $f_{3s}$ , модулированный сигналами  $f_{2s}$ .

При обнаружении отказа RCM требуется перейти к исправному RCM. Для этого используем способ из раздела 3 выполнения групповых обменов сообщениями с помощью источника групповых сообщений ИГС. Объект, обнаруживший отказавший RCM, сообщает об этом в ИГС, и все объекты получают эту информацию, возможно с дополнительной информацией для выбора заменяемого RCM.

Если переключение выполняется на уже занятый приемником RCM, то может потребоваться, чтобы приемники созданной

группы выдавали сигналы в *RCM* синхронно, действуя как один объект. Это надо, например, для операции шага 2 из раздела 4.

Для этого приведенные выше времена  $T_i$  и  $T_{max}$ , применим в объекте-приемнике. Обнаружив необходимость передать сообщение, приемники с задержкой  $\tilde{T}_i = T_{max} - T_i$  начинают отправку сигналов сообщения в *RCM*, что эквивалентно действиям единственного приемника.

Использование общего *RCM* группой приемников позволяет регулировать сложность центра и, что особенно важно, сохранять его работоспособность при множественных отказах в центре ценой постепенного уменьшения пропускной способности коммутатора. В пределе при наличии только одного *RCM* центр превращается в разделяемый всеми источниками общий канал связи. В последнем случае не требуется точно определять местонахождение *RCM*.

## **6. Формирование групп объектов и сложных связей в системе**

Рассмотрим взаимодействие групп активных объектов и сложные взаимодействия объектов в группах. Так как в каждый объект заложена возможность связи с любым другим объектом системы, то формирование связей в системе сводится к наложению запретов на связи отдельных объектов, чтобы обеспечить бесконфликтное параллельное выполнение процессов. Таким способом очень быстро создаются группы, изменяются их состав и функции.

Подробное рассмотрение способов взаимодействия объектов в задачи статьи не входит, но ряд примеров приводится ниже.

Пусть выполняются следующие условия. Имеется  $n$  мест, в любое из которых должен быть помещен объект, претендующий на включение в состав системы. Места пронумерованы, помещенному в одно из мест объекту присваивается номер места. Демультимплексор объекта, занявшего одно из мест, может устанавливать связь с любым *RCM* центра, как показано в разделе 3. Пусть объект с номером 1 выполняет функции организатора

системы. Вопросы, связанные с изменениями в системе, объекты разрешают, обращаясь к объекту 1. В частности, входящий с систему объект, объявляет объекту 1 о своем появлении. Перейдем к примерам взаимодействия объектов.

### 6.1. ФОРМИРОВАНИЕ ГРУПП, ЗАДАНИЕ ОБЪЕКТАМ ИХ ФУНКЦИЙ

1. Создание групп и изменение их состава в динамике выполняется объектом 1 в ответ на поступающие запросы объектов и сводится к сообщению объектам разрешенных адресов для связи с другими объектами системы. Достаточные для этого средства даны в разделах 1–4.

2. Для создания в группе источников групповых обменов сообщениями – ИГС – объект 1 посылает команду будущим ИГС выполнять групповые обмены и информирует о выделенных ИГС другие объекты группы. В сформированной группе переназначение ИГС могут выполнять ИГС группы.

3. Рассылка широкоэвещательных сообщений, посылаемых всем объектам системы, выполняется с использованием объекта 1, имеющего *RSM* с источником ненаправленных оптических сигналов, как это изложено в разделе 3.

### 6.2. ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕПОЧЕЧНЫХ И ДРЕВОВИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБЪЕКТОВ В ГРУППЕ.

Такие соединения полезны, если требуется, чтобы сообщения передавались через последовательность объектов и объекты вносили изменения и дополнения в проходящее через них сообщение. Формирующий структуру соединений объект посылает объектам команду или программу, задающую их действия. Каждый объект формируемой структуры получает адрес объекта – предшественника в структуре. Для защиты объектов формируемой структуры от запрещенных обращений к ним исключаются адреса этих объектов из списка адресов связи, хранящихся у объектов, не участвующих в данной операции.

Демультимплексор любого включенного в структуру объекта устанавливает связь с *RSM* предшественника, посылая ему непрерывный луч  $f_{3s}$ . Первый объект структуры, используя луч  $f_{2s}$ , направит сообщение в свой *RSM*. Следящие за этим *RSM*

объекты получают сообщение первого объекта в виде своих сигналов  $f_{3s}$ , модулированных битами сообщения. Объекты, получившие сообщение, при необходимости преобразуют его содержимое или добавляют в сообщение дополнительную информацию и отправят сообщение в свои  $RCM$  сигналами  $f_{2s}$ . Эти сообщения получают объекты, посылавшие сигналы  $f_{3s}$  своим предшественникам и т.д.

Объекты, не задерживая сообщение на обработку, могут выполнять над его содержимым логические операции **И** и **ИЛИ**, а также, задерживая сообщение на время формирования одного бита результата операции, выполнять другие логические операции и арифметические сложение, вычитание, умножение.

На рис. 5 даны примеры построения цепочки и дерева соединений.

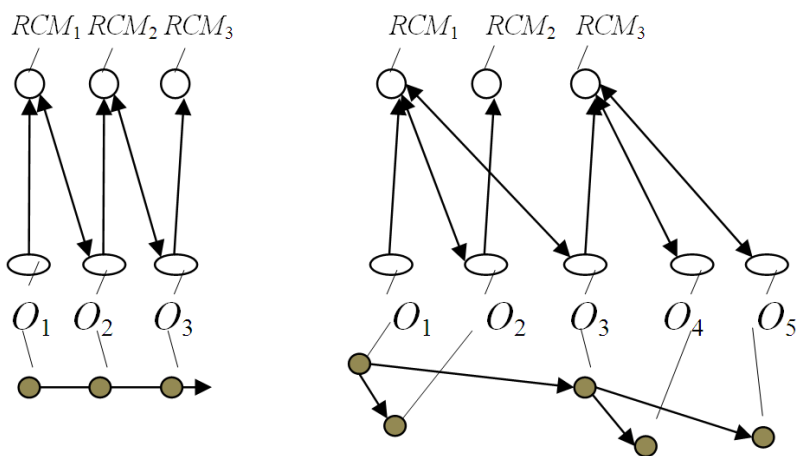


Рис. 5. Последовательности связей объектов объектов

Здесь  $O_i$  – коммутируемые объекты; однонаправленные линии – посылка в  $RCM$  сигналов  $f_{2s}$ ; двунаправленные линии – посылка сигналов  $f_{3s}$ .

На нижней части рисунка показаны цепочечное и древоподобное соединения между объектами, реализуемые структурами верхней части рисунка.

От объектов в дереве требуются затраты энергии такие же, как в цепочке, поскольку передача сигналов выполняется за счет энергии сигналов  $f_3$ , приемников сообщения.

Раздел показывает, что группа объектов ведет себя как единое образование – метаобъект, который, используя встроенные в объекты средства коммутации, может в динамике изменять набор объектов, их функционирование и характер взаимодействия метаобъекта с другими метаобъектами.

## 7. Заключение

Перечисленные во введении требования к предлагаемой коммутации связей достигнуты. Каждый источник и приемник сообщения соединяются непосредственно. Для выбора одного из  $n$  объектов-приемников беспроводные оптические соединения формируются демультиплексорами, находящимися в коммутируемых объектах и содержащими  $2 \lceil \log_2 \sqrt{n} \rceil$  двоичных переключателей направления передачи оптического сигнала. Выполняются парные, групповые и широкоэмиттерные обменные сообщениями, а также сложные последовательности перемещения сообщений между объектами, в том числе с обработкой их содержимого.

Экономично устраняются отказы в оборудовании коммутации. Аппаратными средствами устраняются конфликты при одновременном обращении к приемнику группы источников сообщений.

С учетом изложенного в статье еще раз остановимся на возможности создания необходимых технических устройств. Необходимые для ретрорефлекторного стыковочного модуля ретрорефлектор, модулятор и фотоприемник, как показано в [10, 11], реализуемы. Уровень развития микрооптоэлектромеханических систем также показывает возможность создания требуемых в демультиплексоре переключателей [7, 12]. Быстродействующие оптические переключатели [1, 6, 8, 9] пока находятся в стадии быстро развивающихся научных исследований.

Так как источник оптического излучения в предлагаемых решениях может находиться вне коммутируемых объектов, то



увеличение его мощности компенсирует потери света в многокаскадных демультимплексорах.

### Литература

1. ГОЛУБЕВ В.Г., КАПЛЯНСКИЙ А.А. *Управляемые трехмерные фотонные кристаллы на основе нанокompозитов опал-полупроводник*. [Электронный ресурс] – URL: <http://85.142.23.144/packages/mifi/45B8BA7D-22B8-4275-A73A-BC1C89DB981B/1.0.0.0/11.pdf> (дата обращения: 10.01.2014).
2. СТЕЦЮРА Г.Г. *Способ устранения конфликтов доступа* // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – №5. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may12/7/text.pdf> (дата обращения: 10.01.14).
3. СТЕЦЮРА Г.Г. *Исключение задержки в передаче сообщений при устранении конфликтов доступа* // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – №8. – [Электронный ресурс]. – URL:<http://jre.cplire.ru/jre/aug12/9/text.pdf> (дата обращения: 10.01.14).
4. СТЕЦЮРА Г.Г. *Уменьшение сложности распределенного коммутатора для параллельных систем обработки данных* // Автоматика и телемеханика.– 2010. – №5. – С. 147–154.
5. СТЕЦЮРА Г.Г. *Базовые механизмы взаимодействия активных объектов цифровых систем и возможные способы их технической реализации* // Проблемы управления. – 2013. – №5. –С. 39–53.
6. DONEV E.U., SUH J., LOPEZ Y. et al. *Review Article. Using a Semiconductor-to-Metal Transition to Control Optical Transmission through Subwavelength Hole Arrays* // Hindawi Publishing Corporation Advances in OptoElectronics. – 2008. – Vol. 2008. – ArticleID 739135.doi:10.1155/2008/739135. – [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.eudonev.com/CV/docs/Donev\\_Metal-VO2\\_VO2\\_Hole-arrays\\_review.pdf](http://www.eudonev.com/CV/docs/Donev_Metal-VO2_VO2_Hole-arrays_review.pdf) (дата обращения: 25.03.2014).

7. KIM S., BARBASTATHIS G., TULLER H.L. *MEMS for Optical Functionality* // Journal of Electroceramics. – 2004. – №12. – P. 133–144.
8. MAZURENKO D.A., KERST R., DIJKHUIS J.I. et al. *Subpicosecond shifting of the photonic band gap in a three-dimensional photonic crystal* // Applied Physics Letters. – 2005. – Vol. 86. – P. 041114-1–041114-3.
9. PEVTSOV A.B., KURDYUKOV D.A., GOLUBEV V.G. et al. *Ultrafast stop band kinetics in a three-dimensional opal-VO<sub>2</sub> photonic crystal controlled by a photoinduced semiconductor-metal phase transition* // Phys. Rev. – 2007. – Vol. B 75. – P. 153101-1–153101-4.
10. RABINOVICH W.S., MEEHAN T.J., KATZER D.S., et al. *Modulating Retroreflector Implementation of MIL-STD-1553 Protocol with Free-Space Optics* // Proc. 2003 IEEE Aerospace Conf. – Paper №1559.–[Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nrl.navy.mil/fpc/pubs/03-1226-0334.pdf> (дата обращения: 10.01.14).
11. RABINOVICH W.S., GOETZ P.G., MAHON R. et al. *45-Mbit/s cat's-eye modulating retroreflectors* // Optical Engineering. – 2007. – Vol. 46.– №10. – P. 1–8.
12. WU M.C., SOLGAARD O., FORD J.E. *Invited Paper. Optical MEMS for Lightwave Communication* // Journal of Lightwave Technology. – 2006. – Vol. 24, №12. – P. 4433–4454.

## ORGANIZATION OF SWITCHED DIRECT CONNECTIONS OF ACTIVE OBJECTS IN COMPLEX DIGITAL SYSTEMS

Gennady Stetsyura, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (stetsura@ipu.ru).

*Abstract: We suggest a routine for designing direct switching connections between a large number of digital message sources and receivers. Conflicts on a receiver input are being quickly removed. Elimination of connection refusals is hardware-efficient. It is shown that the scheme of direct switching connections can be implemented by virtue of optoelectronic equipment.*

**Keywords:** distributed switching, retroreflector, fault tolerance, conflict-free access.

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М.Ф. Караваем*

*Поступила в редакцию 14.01.2014.*

*Опубликована 31.05.2014.*

**XIV – международная конференция  
Системы проектирования, технологической  
подготовки производства и управления эта-  
пами жизненного цикла промышленного  
продукта  
(CAD/CAM/PDM-2014)**

14–16 октября 2014 года, Москва, ИПУ РАН

**<http://lab18.ipu.ru>**

***КЛЮЧЕВЫЕ ДАТЫ:***

**До 15 сентября 2014 года** – заявка на участие в конференции и/или выставке.

**До 2 октября 2014 года** – полные тексты докладов.