

УДК 004.75
ББК 32.81max

ОРГАНИЗАЦИЯ КОММУТИРУЕМЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ АКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

Стецюра Г.Г.¹

*(Учреждение Российской академии наук
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 должны обеспечиваться быстрые связи объектов, аппаратно синхронизоваться протекающие в системе процессы обмена сообщениями и трансформироваться структуры связей с привлечением для этого достаточно простых аппаратных средств.

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

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

использующая средства оптоэлектроники для установления 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.

Далее рассмотрены пути достижения этих особенностей, а также структуры оптоэлектронного ретрорефлекторного сты-

ковочного модуля и демультиплексора, необходимых для технической реализации способа.

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.

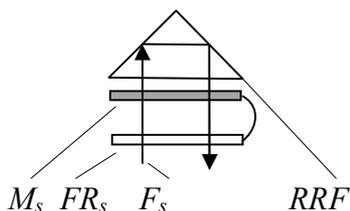


Рис. 1. Стыковочный модуль с ретрорефлектором

Ретрорефлектор (на рис. 1 катафот, может быть использован «кошачий глаз», как в [5]) обладает свойством возвращать поступающий на него оптический сигнал в направлении источника сигнала.

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 и соответствующие сигналы. Эти обозначения соответствуют обозначениям в статьях [1, 2], 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 дейст-

вия этого сигнала перекрывает поступление сигнала f_{3s} на ретро-рефлектор RRF . В результате действия модулятора M_s приемник R_k , следящий за модулем, зафиксировывает 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 зафиксировывает поступление в RCM сигнала приемника в результате модуляции сигнала f_{3s} источника.

В таком стыковочном модуле могут быть использованы приведенные в [5] способы реализации ретрорефлектора, фотоприемника и модулятора оптических сигналов.

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.

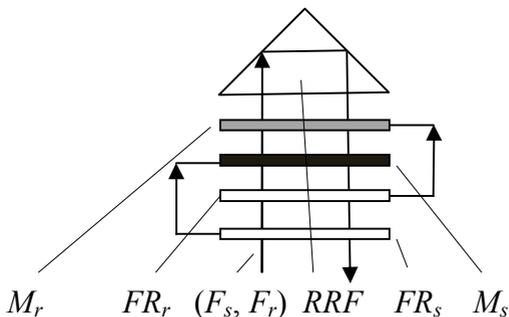


Рис. 2 Стыковочный модуль с группой приемников и модуляторов

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 демультимплексора

Рассмотрим структуру демультимплексора D , который для посылки луча света в одном из n направлений состоит из $S_d = 2 \log_2 \sqrt{n}$ переключателей на два направления. На рис. 3 показано сечение плоскостью x,y демультимплексора D на 4 направления луча, выбранного в качестве примера.

Переключатели в D имеют протяженность вдоль оси z и ортогональны плоскости x,y , причем D состоит из двух переключателей на два направления $s1$ и $s2$. На первый переключатель вдоль оси x поступает луч света. Каждый из двух переключателей содержит управляемый (1, 3) и неуправляемый (2, 4) элементы, отражающие свет. Под действием электрического 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 [3, 4]. По отношению к входящему лучу элементы наклонены на 45^0 . Расстояния между элементами переключателей выбраны так, чтобы расстояния между выходящими лучами были одинаковы.

Добавим к этому демультимплексору такой же демультимплексор D_1 , расположенный в плоскости x,z , в который луч лазера

поступает по оси z . Выходные лучи D_1 поступают на вход демультимплексора D . В результате совместного действия D и D_1 получим 16 направлений сигнала на выходе D при $S_d = 4$.

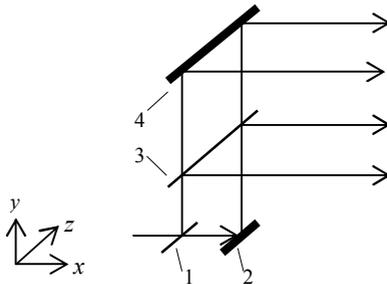


Рис. 3. Структура демультимплексора

Сложный демультимплексор строится из простых: используем группу пар демультимплексоров D , D_1 и дополнительный демультимплексор D_2 , выходы которого подключим к входам D_1 .

Количества переключателей в D , D_1 и D_2 могут быть разными и выбираются в зависимости от конкретного конструкторского решения. При небольшом количестве объектов достаточно ограничиться одним D . Демультимплексор каждого объекта при вхождении в систему должен быть ориентирован так, чтобы лучи с его выхода попали в адресованный демультимплексором 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.

В [3, 4] приведены сведения из литературы о способах реализации оптических переключателей, которые можно использовать в демультимплексоре. Такие переключатели возможны с быстродействием от долей миллисекунды до долей пикосекунды. Исследования в этой области ведутся во многих НИИ.

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

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*₁, из которого его получает приемник (штрихпунктирные линии).

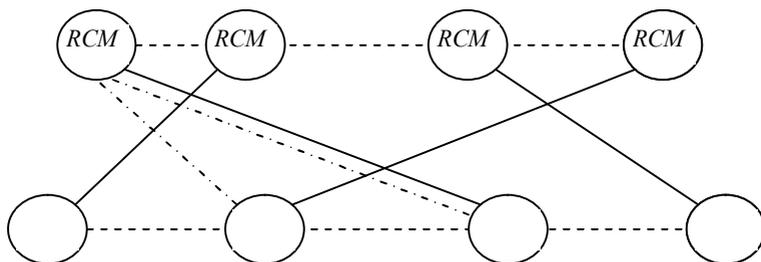


Рис. 4. Структура связей объектов со стыковочными модулями

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. Любой объект группы чтобы послать сообщение всем объектам 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 объект 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 кон-

кретного 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

Источник начинает передачу сообщения приемнику, если нет других обращений к приемнику, т.е. если RCM приемника не модулирует сигнал f_{3s} данного источника сигналами f_{2s} других источников.

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 [1], он требует выполнения следующих шагов.

Шаг 1. Источники сообщений измеряют интервал времени прохода сигнала между объектом и RCM . Свойства ретрорефлектора 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 сообщений S_i измеряет интервал времени T_i прохода сигнала между объектом и RCM . Для этого в группу сигналов F_s введен 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 сообщения 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 [1]. В статье [2] приведено ускорение способа, существенное для наиболее скоростных современных систем. Это ускорение достигалось усложнением оборудования, рассмотренного в [1], и применением более сложной совокупности оптических сигналов. Результаты [2] 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 τ – 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 демультимплексорах и в *RCM*. Отказ в демультимплексоре отключает от системы только владеющий им объект, такой отказ должен обнаруживаться и нейтрализоваться средствами объекта. Отметим, что частичные отказы в демультимплексоре, исключающие связь с отдельными приемниками, можно устранять системными средствами. Достаточно объекту с таким отказом потребовать переключения приемника на другой *CRM*, 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 демультимплексоре 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 широковещательных сообщений, посылаемых всем объектам системы выполняется с использованием объекта 1, имеющего *RCM* 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 *RCM* предшественника, посылая ему непрерывный луч f_{3s} . Первый объект структуры, используя луч f_{2s} , направит сообщение в свой *RCM*. Следящие за этим *RCM* 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 над его содержимым выполнять 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.

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 древо-видное 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_{3s} приемников сообщения.

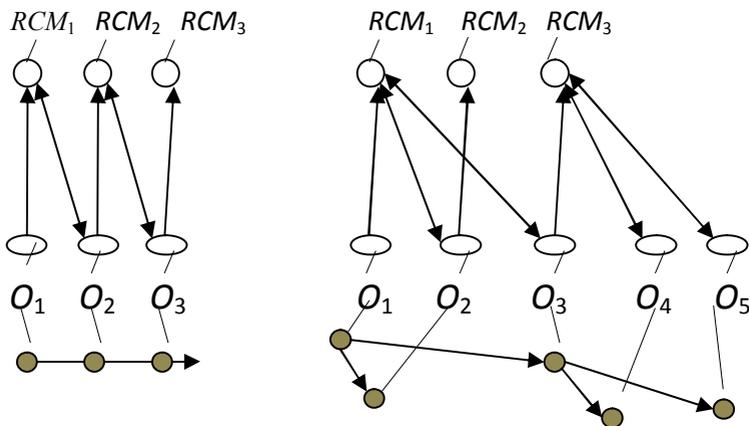


Рис. 5. Последовательности связей объектов объектов

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, содержащими $2^{\lceil \log_2 \sqrt{n} \rceil}$ двоичных переключателей направления передачи оптического сигнала. Выполняются парные, групповые и широ-

ковещательные обмены 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.

Полученные в статье результаты расширяют возможности средств оптоэлектронной коммутации [4]. Для их технической реализации требуются две компоненты – ретрорефлекторный модуль и демультимплексор. В качестве первой компоненты могут быть использованы компоненты устройства из [5]. Оптические переключатели, работающие в субмиллисекундном диапазоне, известны. Работы по созданию более быстрых оптических переключателей со свойствами, требуемыми для демультимплексора, ведутся во многих организациях, но пока находятся на стадии исследований.

Литература

1. СТЕЦЮРА Г.Г. *Способ устранения конфликтов доступа* // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 5.
URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may12/7/text.pdf> электронный журнал. (дата обращения: 10.01.14).
2. СТЕЦЮРА Г.Г. *Исключение задержки в передаче сообщений при устранении конфликтов доступа* // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 8.
URL: <http://jre.cplire.ru/jre/aug12/9/text.pdf> электронный журнал. (дата обращения: 10.01.14).
3. СТЕЦЮРА Г.Г. *Уменьшение сложности распределенного коммутатора для параллельных систем обработки данных* // *АиТ* № 5. 2010. –С. 147–154.
URL: <http://www.mathnet.ru/links/0cee2735ff4ccb086ebb26db914c89a0/at822.pdf> (дата обращения: 10.01.14).
4. СТЕЦЮРА Г.Г. *Базовые механизмы взаимодействия активных объектов цифровых систем и возможные способы их технической реализации*// Проблемы управления. 2013.

№5. –С. 39–53. URL:http://pu.mtas.ru/archive/Stetsyura_13.pdf
(дата обращения: 10.01.14).

5. RABINOVICH W.S., MEEHAN T.J., KATZER D.S., et al.
Modulating Retroreflector Implementation of MIL-STD-1553 Protocol with Free-Space Optics // Proc. of 2003 IEEE Aero-space Conf. – Paper N 1559. URL:
<http://www.nrl.navy.mil/fpco/pubs/03-1226-0334.pdf> (дата обращения: 10.01.14).

THE 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: The way of direct, switching connections for a large number of digital sources and receivers of messages is offered. Conflicts on a receiver input are being quickly removed. Elimination of refusals on connections demands a small amount of hardware. Possibility of realization of such connections with application of optoelectronic means is shown.

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

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*