

УДК 004.75
ББК 32.81max

СРЕДСТВА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИЙ КОММУТИРУЕМЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ

Стецюра Г. Г.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Рассмотрены новые средства для создания оптических непосредственных, но при этом децентрализовано коммутируемых соединений между устройствами компьютерных систем. В качестве средств распределенной коммутации применены лазерные демультимплексоры. В модули ретрансляции сигналов введены элементы памяти. Предложенные решения позволяют быстро создавать одновременные соединения между группами устройств и синхронизовать их действия.

Ключевые слова: распределенная коммутация, лазерный демультимплексор, распределенная синхронизация.

1. Введение

В статье [2] были рассмотрены вопросы формирования непосредственных, но при этом коммутируемых в свободном пространстве (беспроводных) оптических связей между объектами цифровых систем обработки данных. В этой структуре связей отсутствовал централизованный коммутатор, и коммутация выполнялась с использованием оптических демультимплексоров, каждый из которых размещался совместно с объектом системы. Была показана эффективность такой структуры связей при выполнении групповых взаимодействий объектов системы. В предлагаемой статье предложены новые решения в организа-

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

ции средств коммутации и модулей ретрансляции сигналов, расширяющие возможности групповых взаимодействий.

В [2] общая схема взаимодействия источников и приемников такова. Источник для отправки цифрового сообщения в заданный приемник направляет сообщение в предоставленный приемнику промежуточный ретрорефлекторный модуль (RCM), используя модулированный сигналами сообщения лазерный луч, ориентированный в пространстве с помощью своего оптического демультиплексора. Приемник аналогичным способом направляет непрерывный лазерный луч в RCM. При этом RCM содержит ретрорефлектор, возвращающий поступающие к нему лучи к их источникам. Вторая основная компонента RCM – модуляторы света, которые модулируют возвращаемые RCM сигналы. Приемник получает сообщение источника, так как RCM модулирует луч приемника в соответствии с принимаемыми RCM сигналами источника. Каждый объект, источник или приемник сообщения содержит два демультиплексора, и совокупность демультиплексоров всех объектов действует как распределенный коммутатор, соединяющий источники и приемники сообщений через соответствующие приемникам модули RCM. Основными устройствами связи здесь являются оптический демультиплексор и модуль RCM. Такая структура связей расширяет возможности средств чисто электронной коммутации, в частности ускоряется время соединения объектов и упрощаются соединения групп объектов.

В настоящей статье предлагается еще один способ создания демультиплексора, отличающийся тем, что новый демультиплексор позволяет источнику послать сигналы одновременно группе модулей RCM и связанным с ними приемникам. Демультиплексор из [2] посылал сигналы только одному выбранному им модулю RCM. Чтобы он мог передать сигнал группе приемников, последние должны были предварительно получить команду на подключение к указанному модулю RCM. В новом варианте настройка приемников не требуется. Необходимые для создания нового демультиплексора компоненты довольно хорошо исследованы и практически применяются.

Второе решение настоящей статьи состоит во включении в RCM элемента памяти, позволяющего хранить вне объектов

сведения об их состоянии, что ускоряет получение этих сведений и дает дополнительные возможности для синхронизации действий объектов.

2. Организация предлагаемого лазерного демультиплексора

Схема демультиплексора приведена на рис. 1.

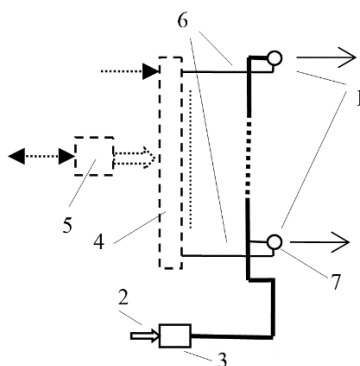


Рис. 1. Демультиплексор для одновременной связи с группой приемников

Здесь 1 – решетка лазеров, разделенных на группы, и устройства управления лазерами в группе (все лазеры группы направляют сигналы конкретному модулю RCM); 2 – линии сигналов сообщения и служебных сигналов; 3 – блок формирования сигнала питания лазеров; 4 – сдвиговый регистр; 5 – контроллер; 6 – набор линий, по которым сигналы поступают из регистра для выбора групп лазеров из лазеров решетки; 7 – блок, содержащий устройство управления и связанную с ним группу лазеров.

Узлы демультиплексора взаимодействуют следующим образом. От блока формирования сигнала питания лазеров 3 при подаче сигналов 2, управляющих блоком 3, сигнал питания поступает на все устройства управления лазерами в 1. Эти сигналы при наличии сигнала «логическая единица» в разряде кода, поступающего из регистра 4, включают соответствующую разря-

ду группу лазеров решетки. Лазеры группы одновременно выдают оптические сигналы, которые поступят в модуль RCM, соответствующий выбранной группе лазеров.

Демультимплексор может применяться в двух конфигурациях: он может составлять единое целое с конструкцией коммутируемого объекта или выполняться как отдельное устройство. В первом случае нет необходимости в узлах 4 и 5 на рис. 1, так как даже при большом количестве линий 6 они находятся внутри интегральной схемы. Во втором случае большое количество вводов в демультимплексор вызывает трудности и требуется добавить сдвиговый регистр 4, в который загрузка сигналов для линий 6 выполняется последовательно. Дополнительно можно ввести программируемый контроллер 5, который имеет связь с участвующим в коммутации объектом и с регистром. Загрузка данных из памяти контроллера в регистр выполняется полностью параллельно или несколькими группами сигналов.

Рассмотрим устройство каждого блока 7, приведенное на рис. 2.

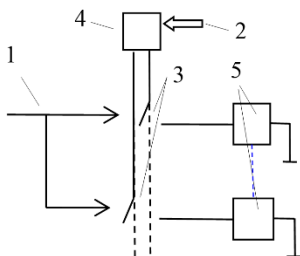


Рис. 2. Группа лазеров с устройством управления

Здесь 1 – линия связи, идущая от разряда регистра 6 на рис. 1 к устройству управления группой лазеров в блоке 7 на рис. 1; 2 – группа сигналов (2 на рис. 1), управляющих выбором сигнала питания лазеров; 3 – ключи; 4 – узел выдачи сигналов питания лазеров; 5 – группа лазеров решетки, сигналы которых должны направляться в один и тот же модуль RCM.

Узел 4 и группа сигналов 2 общие для всех блоков 7 и на рис. 1 имеют обозначения 3 и 2 соответственно. Если сигнал на линии 1 находится в состоянии «1», то ключи 3 включены. Если

на вход элемента 4, формирующего сигналы питания лазера, поступают сигналы 2 управления и передаваемого сообщения, то через ключи сигналы питания включают выбранные лазеры, и оптические сигналы лазеров направляются на модуль RCM. Как будет показано ниже, излучаемые выбранными лазерами сигналы в различных ситуациях должны иметь разные частоты. Предпочтительно использовать лазеры, частота излучения которых меняется при изменении сигнала, управляющего работой лазера (например, сигнала, управляющего током питания лазера). Альтернативное решение – лазер имеет одну, только ему соответствующую частоту генерируемого сигнала. Второй вариант требует большего количества оборудования, но лазеры с фиксированной частотой генерации в настоящее время более широко распространены. Далее изложение будет в основном ориентировано на перестраиваемые лазеры.

Таким образом, средства, показанные на рис. 1 и 2, выбирают набор и частоту сигналов, посылаемых демультиплексором одновременно ко всем выбранным модулям RCM для отправки им общего сообщения. Как показано в [2] и используется ниже, источник сообщения должен одновременно посылать в RCM не менее двух видов сигналов, отличающихся по частоте. Отсюда следует, что в решетке лазеров их количество также должно быть увеличено по сравнению с приведенным выше. Кроме того, так как объект одновременно передает и принимает сигналы, то объект должен иметь два демультиплексора.

Такова сложность предлагаемого демультиплексора. Интервал времени выбора направления отправки лучей лазеров сравним с интервалом времени обращения к ячейке обычной оперативной памяти, и на время установления связи в основном влияет длина пути сигнала между коммутируемыми объектами.

В качестве примера разработки матрицы лазеров приведем работу [1].

3. Описание нового модуля RCM

В конструкцию модуля RCM из [2] добавляются элементы памяти и средства управления ими. Конструкция нового модуля RCM показана на рис. 3.

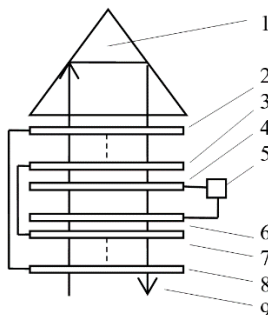


Рис. 3. Ретрорефлекторный модуль

Здесь 1 – ретрорефлектор; 2–4 – оптические фильтры; 5 – добавляемый в настоящей статье элемент памяти с управлением; 6–8 – фотоприемники; 9 – оптические сигналы, поступающие в RCM от объекта и возвращаемые объекту.

На рис. 3 показан ретрорефлектор-катафот, наряду с катафотом может быть использован ретрорефлектор типа «кошачий глаз». Новыми по сравнению с [2] здесь являются связки «фотоприемник сигнала демультиплексора – элемент памяти – светофильтр».

Рассмотрим функционирование нового модуля RCM. Как и в RCM из [2], поступающие извне в RCM сигналы (9) лазеров вначале проходят через последовательность фотоприемников 6–8, каждый из которых реагирует на сигнал только одной, характерной для него частоты из частот, генерируемых лазерами. Имеется такое же количество светофильтров, каждым из которых управляет сигнал, поступающий от одного из фотоприемников (см. раздел 4). В предлагаемом RCM только часть фильтров связана непосредственно с фотоприемниками, для части фильтров в разрыв такой связи помещен элемент управления с памятью. Для упрощения чертежа показаны две пары «фотоприемник и фильтр», соединенных непосредственно, и одна пара, соединенная через элемент управления с памятью, хотя количество пар может быть увеличено. При поступлении сигнала от фотоприемника каждый фильтр прекращает пропускать частоту, на которую настроен фильтр, все другие частоты фильтры пропускают. Предполагается также, что фотоприемни-

ки пропускают через себя все частоты, излучаемые лазерами. Элемент управления с памятью 5 позволяет делать управляемый им фильтр непрозрачным, пока элемент памяти не будет возвращен в исходное состояние, делающее фильтр прозрачным.

Выше считается, что электрический сигнал от фотоприемника непосредственно управляет светофильтром, но, естественно, может потребоваться усиление этого сигнала.

В большинстве применений распределенного коммутатора площадь решетки лазеров меньше площади, занимаемой модулями RCM. При этом выше предполагается, что лучи лазеров выходят параллельно друг другу. Поэтому требуются пассивные средства, изменяющие направления лучей лазеров.

Объект кроме демультиплексора должен иметь группу фотоприемников, которые принимают сигналы, возвращаемые модулями RCM. Фотоприемники в объекте должны располагаться так, чтобы получать все эти сигналы и при этом не мешать передаче сигналов лазеров в RCM.

4. Применение предлагаемых средств коммутации

Ниже приведено несколько основных операций, демонстрирующих полезность предлагаемых изменений в демультиплексоре и модуле RCM. Операции с номерами 3–5 реализуются с использованием средств данной статьи и позволяют ускорить решение задач с групповыми взаимодействиями объектов. К ним добавлены операции 1 и 2, являющиеся базовыми для [2], но они используются ниже в операциях этого раздела.

1. Бесконфликтная передача сообщения отдельному приемнику. Объект – источник сообщения посылает непрерывный луч частоты f_t в модуль RCM, используемый приемником сообщения. Сообщение передается включением или выключением луча в соответствии со значениями битов сообщения. Приемник сообщения посылает в модуль RCM непрерывный сигнал приема, имеющий частоту f_r . Модуль RCM модулирует возвращаемые в приемник сигналы приемника сигналами источника сообщения, что и обеспечивает прием сообщения источника.

Кроме этого источник посылает в указанный выше RCM непрерывный сигнал f_r . Модуль RCM модулирует сигнал f_r сигналами f_i поступающего в RCM сообщения, что позволяет источнику получить свое сообщение, посылаемое в RCM. Любые объекты, посылающие в данный модуль RCM сигналы f_r , также получают передаваемое источником сообщение.

Приемник посылает ответ источнику, модулируя свой сигнал f_r . Этот ответ одновременно получают все объекты, посылающие непрерывный сигнал f_r в RCM приемника.

2. Обеспечение одновременности прихода к RCM сообщений от группы источников (синхронизация источников). Будем считать, что расположение объектов-источников и RCM фиксировано, что позволяет заранее для любого объекта знать расстояние между ним и всеми модулями RCM и определить время передачи сигнала T_{ij} между каждым объектом S_i и модулем RCM $_j$.

Пусть к источникам приходит сигнал от RCM, в ответ на который источники должны послать свои сигналы этому RCM. Так как расстояния источников от RCM могут быть различны, то сигнал от RCM поступит к источникам в разное время. Пусть произвольный источник S_i посылает свой сигнал в RCM $_j$ с задержкой $\tilde{T}_i = T_{max} - T_{ij}$. Здесь $T_{max} \geq \max T_{ij}$. Сигналы всех источников, действующих так же, поступят в RCM $_j$ одновременно, с задержкой T_{max} . Если источники таким способом передадут сообщения, то одноименные разряды сообщений наложатся один на другой и представят собой единое сообщение.

Если требуется, чтобы сообщения поступали в RCM одно за другим без временных пробелов как одно сообщение, то каждый источник S_i должен передать свое сообщение с задержкой $T_{max} - T_{ij} + Q$, где Q – суммарная длительность сообщений, переданных источниками ранее источника S_i (считается, что Q известно источнику).

Вместо процедуры вычисления T_{ij} можно использовать способ из [2], измеряющий в динамике времена распространения сигналов между объектами и RCM с привлечением дополнительного оборудования.

Помимо того что синхронизация позволяет быстро осуществлять групповую передачу сообщений, в [2] показано ее применение для устранения конфликтов при одновременном доступе группы источников к приемнику.

3. Одновременная передача сообщения одного источника группе приемников. Эта передача фактически уже описана выше: источник посылает сигналы сообщения в блоки 7 (рис. 1) своего демультимплексора, которые направят сигналы управляемых ими лазеров в группу модулей RCM, ретранслирующих сигналы соединенным с модулями приемникам.

Для передачи источником сообщения группе приемников средствами [2] приемники группы должны были заранее получить информацию о необходимости соединиться с RCM, которому источник пошлет сообщение. Только после подключения приемников к RCM источник может послать сообщение. При новом способе источник создает группы приемников в динамике, не оповещая заранее об этом приемники, что существенно ускоряет действия источников. При этом предполагается, что конфликт доступа к приемникам исключен, например, с применением следующей операции 4.

Далее рассмотрены операции, которые используют возможности, предоставленные решениями настоящей статьи.

4. Резервирование права доступа к приемнику. Используются элементы управления с памятью в RCM (элемент 5 на рис. 3). Если приемник готов к приему сообщений источников, то он устанавливает элемент 5 в состояние, разрешающее возврат ретрорефлектором сигналов источников. Источник сообщения посылает сигнал f_w , возврат которого зависит от состояния элемента памяти. Если этот сигнал возвращается к источнику, то посылка им сообщения возможна. В частности такой способ позволяет резервировать право доступа к приемнику определенной группе источников, которым разрешено игнорировать запрет передачи сообщения.

5. Сообщение о состоянии источника неизвестному ему приемнику. Пусть имеется источник, которому требуется сообщить объекту-приемнику об изменении своего состояния, причем источник не знает, кто является приемником – последний может определяться текущим состоянием системы.

В этой ситуации источник устанавливает элемент 5 (рис. 3) памяти в своем RCM в режим пропускания сигнала связанным с элементом 5 светофильтром. Начальное состояние элемента 5 запрещает пропускание света через фильтр. Приемник действует как источник, обращающийся к модулю RCM источника. Если приемник обнаруживает возврат своего сигнала, опрашивающего RCM источника, которым управляет элемент 5, то он фиксирует необходимость обращения к источнику. Такие действия не сопровождаются конфликтами, так как при опросе RCM конфликты не возникают. После этого приемник обращается к источнику и считывает сообщение о состоянии источника.

6. Синхронизация действий объектов. Пусть группа $Go1$ объектов O системы должна синхронизовать свои действия с действиями другой группы объектов $Go2$ и действовать только в том случае, если все объекты из $Go2$ перешли в заданное состояние. Каждый объект из $Go2$ при переходе в это состояние устанавливает в своем модуле RCM элемент памяти 5 в состояние, запрещающее возврат сигнала, опрашивающего модуль. Объекты $Go1$ опрашивают модули RCM группы $Go2$ одновременно и при отсутствии возвращения опрашивающего сигнала от всей группы модулей $Go2$ начинают выполнять требуемое действие.

Пусть теперь объекты группы $Go1$ дополнительно при наступлении синхронизации должны передать свои сообщения группе объектов $Go2$ как единое сообщение, без пробелов между частными сообщениями объектов. Непосредственно передать сообщения *всех* членов $Go1$ *всем* членам $Go2$ без временных пробелов невозможно. Одно из возможных решений следующее. Выделим в $Go1$ один из объектов O_1 , который пошлет в $Go2$ сообщение со своим адресом. Объекты $Go2$ настроятся на прием сообщений от принадлежащего O_1 модуля RCM. Объекты $Go1$ установят связь с модулем RCM объекта O_1 . Объект O_1 отправит синхронизирующее сообщение о начале передачи группового сообщения всем объектам $Go1$. Эти объекты выполняют синхронизацию своих передач в соответствии с операцией 2 и пошлют свои сообщения как единое сообщение в RCM, выделенный для O_1 . Это сообщение получают все объекты $Go2$.

Таким образом, быстро выполняется сложно и довольно медленно реализуемая обычными средствами операция синхронного взаимодействия групп объектов цифровой системы.

5. Сочетание демультимплекторов – лазерного и на переключателях, использующих соединения ванадия

Предложенный в [2] оптический демультимплексор использовал переключатели на соединениях ванадия, которые переключаются в пикосекундном диапазоне, но для них характерно наличие помехи: при проходе оптического сигнала через элемент демультимплексора часть его проходит через другие элементы и создает помехи на выходе. Для борьбы с помехами приходится вводить ослабители помехи, которые ослабляют также (но в меньшей степени) полезный сигнал, что ведет к энергетическим потерям.

Предложенный в настоящей статье способ оптической коммутации с применением лазеров избавлен от этого недостатка. Кроме этого демультимплексор из [2] ориентирован на компоненты, которые, как следует из публикаций, пока находятся в стадии научной разработки, а компоненты лазерного демультимплексора имеют и практическое применение. Однако лазерный демультимплексор более сложен.

Ниже предложено объединение двух видов демультимплекторов – лазерного и на переключателях из [2]. Эта конструкция компромиссная, она накладывает ограничения на выполнение одновременной связи с группой приемников, но уменьшает потери сигнала в демультимплексоре на переключателях и упрощает оборудование лазерного демультимплексора, составляющих совместно двухуровневый демультимплексор.

На рис. 4 показаны 1 – лазерный демультимплексор; 2 – группа из четного количества m демультимплекторов на переключателях направления сигнала, выходы лазеров в демультимплексоре 1 соединены со входами демультимплекторов 2.

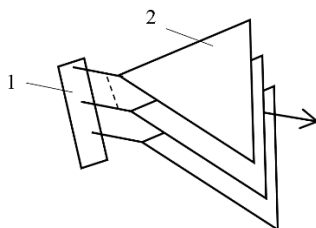


Рис. 4. Комбинированный демультиплексор

Демультиплексор 1 посылает сигналы в заданные демультиплексоры 2, которые отправят их в модули RCM, имеющие одинаковый адрес в демультиплексорах 2.

Для такой конструкции по сравнению с отсутствием демультиплексора 1 характерно следующее:

- количество N уровней демультиплексора 2 уменьшено в m раз, что уменьшает ослабление полезного сигнала до α^{N-m} , где α – ослабление сигнала на любом уровне демультиплексора 2;

- количество выходов лазерных сигналов из каждого демультиплексора 1 уменьшено с N до m ;

- двухуровневый демультиплексор позволяет одновременно послать сообщение в m модулей RCM, каждый из которых имеет одинаковый адрес в демультиплексорах 2.

6. Заключение

Предложенный в статье лазерный демультиплексор улучшает отношение сигнал/помеха по сравнению с оптическим демультиплексором, предложенным ранее в [2]. Его возможность посылать сигналы одновременно группе устройств цифровой системы существенно ускоряет групповые взаимодействия устройств. Элемент памяти, включенный в ретрорефлекторные модули – посредники между источниками и приемниками сообщений, хранит в модуле информацию о состоянии связанного с модулем устройства. Это позволило бесконфликтно проверять текущее состояние устройств, не обращаясь к ним непосредственно. Приведенные возможности также служат основой для новых способов синхронизации действий устройств системы. В частности, быстро обнаруживаются пере-

ход заданной группы устройств в требуемое состояние и синхронная передача сообщений группы источников группе приемников как единого сообщения.

Литература

1. МАЛЕЕВ Н.А., КУЗЬМЕНКОВ А.Г., ШУЛЕНКОВ А.С. и др. *Матрицы вертикально излучающих лазеров спектрального диапазона 960 нм* // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45, вып. 6. – С. 836–839.
2. СТЕЦЮРА Г.Г. *Организация коммутируемых непосредственных соединений активных объектов сложных цифровых систем* // Управление большими системами. – 2014. – № 49. – С. 148–165. – URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS4906.pdf> (дата обращения: 03.02.2015). (Перевод на английский: Stetsyura G.G. *Organization of Switched Direct Connections of Active Objects in Complex Digital Systems.* // Automation and Remote Control. – 2015.– Vol.72. – No.9. – P. 345–354.)

EXTENDING FUNCTIONS OF SWITCHED DIRECT OPTICAL CONNECTIONS IN DIGITAL SYSTEMS

Gennady Stetsyura, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (Moscow, Profsoyuznaya st., 65, (495) 334-78-31).

Abstract: We consider new possibilities for creation of direct, yet switchable in decentralized way, optical connections between elements of a computing system. Laser demultiplexors are employed for distributed commutation while repeaters are equipped with memory units. The suggested solution allows for the fast design and synchronization of immediate connections between device groups.

Keywords: distributed switching, laser demultiplexer, distributed synchronization.

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

Поступила в редакцию 09.03.2015.

Опубликована 31.07.2015.