

© 2012 г. Г.Г. СТЕЦЮРА, д-р техн. наук
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ КОНФЛИКТОВ ДОСТУПА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБМЕНА ДАНЫМИ

Показана возможность быстрого разрешения конфликтов доступа при обмене сообщениями в цифровых управляющих системах, работающих в режиме жесткого реального времени (ЖРВ). Используются оптические беспроводные каналы и оптико-электронные средства разрешения конфликта доступа.

METHOD OF ACCESS CONFLICTS ELIMINATION FOR SYSTEMS WITH OPTICAL DATA EXCHANGE MEANS / G.G. Stetsjura (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: stetsura@ipu.ru). Abstract. We describe fast access conflicts elimination method for hard real time systems of measuring and control. Optoelectronic means are used.

1. Введение

Рассматривается следующая задача разрешения конфликтов доступа к ресурсам в системах ЖРВ. Группа объектов – источников сообщений по *индивидуальному* для каждого объекта беспроводному оптическому каналу связи обращается с пересечением во времени к объекту – приемнику, который одновременно может взаимодействовать только с одним объектом – источником. Требуется устранить возникающий конфликт доступа.

Для решения этой задачи предлагается совместно с объектом – приемником размещать устройство разрешения конфликтов доступа (УРКД), которое обнаруживает конфликтующие запросы доступа, синхронизирует их, разрешает объектам самостоятельно определить порядок обслуживания запросов, осуществляет обмен сообщениями. Для уменьшения энергопотребления объекта – приемника взаимодействие его с источниками осуществляется за счет энергии источников.

Предлагаемый способ устранения конфликтов доступа ориентирован на системы, в которых объекты связаны беспроводными оптическими каналами и взаимно удалены в диапазоне расстояний ~ 10 см – 100 м. Способ может быть применен для связи между модулями цифровых устройств, для обмена сообщениями между объектами сложного управляющего комплекса.

Жесткие требования к разрешению конфликтов доступа предъявляют и аварийные ситуации, особенно при управлении быстродействующими объектами.

В достаточно простой системе часто можно определить заранее реакции на все возможные ситуации, но в сложной системе это исключено. Наличие конфликтов доступа к ресурсам – один из отличительных признаков действительно сложной системы.

Работа УРКД базируется на двух результатах, приведенных в разделе 2.

2. Основы предлагаемого способа устранения конфликтов

Первый указанный выше результат изложен в статье [1]. Пусть имеется группа из n объектов, каждый из которых посылает сигналы другим объектам, применяя оптический демультиплексор, состоящий из последовательно соединенных оптических переключателей, направляющих поступающий от предшествующего переключателя луч света в одном из двух возможных для переключателя направлений. Выходящий из демультиплексора луч света должен направляться в заданное объектом одно из n направлений, где расположены объекты. Сложность такого демультиплексора $\sim \log_2 n$, так как каналы формируются демультиплексором по мере необходимости.

Демультиплексор направляет свой луч не непосредственно адресату, а на пассивный отражатель света, который расположен так, чтобы пришедший на него луч был направлен любому требуемому адресату. Отражатель представляет собой группу мини отражателей, по одному для каждого приемника сигналов.

Объект – приемник оптического сигнала имеет ретрорефлектор с модулятором света, который отражает пришедшие сигналы источника запроса в обратном направлении и модулирует эти сигналы для передачи данных.

Таким образом, при отсутствии конфликтов доступа оптические средства непосредственно, без промежуточных звеньев, могут связать одновременно n источников с n приемниками. При этом за счет создания каналов в динамике общая сложность средств коммутации $\sim n \log_2 n$. Для передачи приемник потребляет мало энергии, пользуясь энергией сигналов источника.

Второй результат изложен в [2]. Здесь группа произвольно расположенных n объектов бесконфликтно обменивается между собой по беспроводным каналам сигналами одинаковой частоты на предельно высокой скорости, не зависящей от расположения объектов. Для достижения этого использован центр, и каждый объект может определить интервал времени T_i , требуемый для прохождения его сигнала до центра и обратно. Каждому объекту известно $T_{\max} > T_i, i = 1, \dots, n$.

Имеется объект-лидер, посылающий через центр всем объектам синхросигнал начала передачи. Получив синхросигнал, объект – источник использует T_{\max} и задерживает отправку своего сообщения на $t_i = T_{\max} - T_i$, что обеспечивает одновременный приход в центр одноименных сигналов сообщений всех объектов. Используя свой порядковый номер или команду лидера, объекты вносят дополнительные задержки так, чтобы сообщения объектов поступали в центр одно за другим как единое сообщение. Это сообщение центр ретранслирует всем объектам. Возможная пауза между сообщениями объектов определяется только точностью измерения времени распространения сигнала. Так достигается бесконфликтная передача сообщений с высокой скоростью, не зависящей от расположения объектов.

С использованием оптических сигналов и ретрорефлекторов все объекты определяют T_i одновременно, что существенно как для подвижных объектов, так и при изменении условий распространения сигналов.

3. Схема взаимодействия объектов с УРКД

Функции приведенного в разделе 2.2 центра возложим на УРКД, который содержит приемно-передатчик с ретрорефлектором и модулятором отраженных световых лучей. Каждый из n объектов может быть соединен с УРКД любого другого объекта трактом, состоящим из трех беспроводных каналов f_1, f_2, f_3 . Тракты создаются по мере необходимости, как показано в разделе 2.1. Каждый канал обеспечивает два пути распространения сигнала – от источника к УРКД (прямые пути) и от УРКД к источнику (обратные пути). Обозначим прямые пути как f_{11}, f_{21}, f_{31} , обратные как – f_{12}, f_{22}, f_{32} . По трем каналам f_1, f_2, f_3 сигналы передаются на трех частотах f_1, f_2, f_3 соответственно. В зависимости от используемого пути сигналы обозначим так же, как эти пути: f_{11}, f_{21}, f_{31} и f_{12}, f_{22}, f_{32} .

По путям f_{11} объекты посылают в УРКД импульсные сигналы для определения удаленности объектов от УРКД. При неподвижных объектах и неизменности условий прохождения сигналов эти измерения могут быть выполнены заранее. По пути f_{21} объект, которому УРКД предоставит право передачи сообщения, передает двоичные сигналы сообщения. По пути f_{31} объекты посылают непрерывные сигналы f_{31} . УРКД принимает сигналы f_{21} и при появлении каждого приходящего импульсного сигнала с помощью модулятора прерывает непрерывные сигналы f_{32} – возвращаемые ретрорефлектором сигналы f_{31} источников. В результате все объекты получают передаваемое по пути f_{21} сообщение. УРКД может также модулировать f_{32} собственными сигналами и сигналами объекта-приемника.

Для обмена информацией используются импульсные сигналы трех длительностей ν, σ, τ , которые связаны соотношением $\nu < \sigma < \tau$. Ниже они указываются перед именем сигнала.

При подаче управляющего электрического сигнала модулятор в УРКД одновременно модулирует все сигналы f_{32} и только их.

4. Решение задачи устранения конфликтов доступа

Объекты взаимодействуют с УРКД, как указано в разделе 3. Для устранения конфликтов применен приведенный ниже алгоритм разрешения конфликта доступа (АРКД).

Для участия в работе алгоритма объекты независимо друг от друга в произвольные моменты времени выполняют следующие действия.

– Каждый объект – источник сообщения, а также объекты, желающие наблюдать за сообщениями, поступающими в приемник, посылают в УРКД приемника непрерывный сигнал f_{31} , возвращаемый объектам как сигнал f_{32} .

– Каждый объект – источник сообщения посылает в УРКД импульсный сигнал f_{11} . Ретрорефлектор УРКД возвращает этот сигнал источнику в виде сигнала f_{12} , который источник использует для измерения интервала времени прохождения сигнала от объекта до УРКД (раздел 2.2 доклада). Длительность сигнала f_{11} не регламентируется.

– Источники передают сообщения импульсными сигналами νf_{21} . При этом передается также постоянный сигнал f_{31} . Передача сигналов синхронизируется разрешающими сигналами УРКД приемника. Для этого УРКД приемника модулирует сигналы f_{32} кодами

или сигналами, разрешающими источникам передачу. Модуляция возможна при отсутствии в УРКД сигнала νf_{21} .

Если УРКД обнаруживает конфликт доступа, то выполняется алгоритм АРКД. При этом каждый источник, анализируя f_{32} , также обнаруживает конфликт.

Алгоритм АРКД

1. Если УРКД объекта-приемника обнаруживает конфликт, то он прерывает одновременно все возвращаемые источникам с помощью УРКД сигналы f_{32} одиночным синхроимпульсом τf_{32} . Этот сигнал все объекты воспринимают как начало процесса устранения конфликта. УРКД также прекращает разрешать источникам, не находящимся в конфликте, передачу сообщений.

2. Получив синхроимпульс τf_{32} , каждый объект, которому требуется передать сообщение в УРКД, посылает в УРКД импульс νf_{21} с задержкой $k\nu$, где k – порядковый номер объекта. Источники действуют, как указано в разделе 2.2 и в результате все объекты создадут единое сообщение S1 длительностью $n\nu$, содержащее импульсы νf_{21} в количестве, равном количеству запрашивающих доступ объектов. Здесь n – максимально возможное количество объектов, которым может потребоваться доступ к УРКД, ν – длительность сигнала сообщения.

Получая в сообщения S1 сигналы νf_{21} , УРКД ретранслирует их всем объектам, прерывая сигналы f_{32} каждым сигналом νf_{21} . Этим УРКД создает сообщение S2. Приемник или его УРКД, обнаружив завершение сообщения S1, посылает сигнал σf_{32} , прерывая f_{32} , как при посылке сигнала τf_{32} .

3. Получив S2, каждый объект формирует сообщение C_i , в котором объект указывает размер будущего сообщения в пакетах – сообщениях фиксированного объема.

Так как в S2 отмечены только объекты, запрашивающие доступ в текущий момент времени, то, анализируя S2, объекты создадут новую, возможно сокращенную нумерацию порядка передачи C_i .

4. В ответ на синхросигнал σf_{32} объекты сигналами f_{21} посылают в УРКД сообщение S3, состоящее из созданных в п. 3 сообщений C_i , одинаковой длительности, с временным сдвигом, соответствующим порядковому номеру передачи C_i . Эти сообщения УРКД также ретранслирует объектам, прерывая f_{32} .

5. Как и на шаге 2 приемник, обнаружив завершение передачи сообщения S3, содержащего все C_i , посылает сигнал σf_{32} .

6. В ответ на сигнал σf_{32} объекты посылают, используя f_{21} , свои сообщения приемнику с временным сдвигом, соответствующим порядковому номеру передачи. В результате в УРКД поступит состоящее из этих сообщений общее сообщение S4, длительность которого также не зависит от расположения объектов. УРКД направляет S4 своему объекту-приемнику и ретранслирует всем объектам, создавшим S4.

После завершения S4 устранение конфликта завершено и УРКД приемника начинает передавать источникам синхросигналы, разрешающие передачу сообщений, как это делалось до начала работы АРКД.

Шаги 3, 4, 5 алгоритма отсутствует, если каждое сообщение передается одним пакетом.

Приемник, может запретить работу алгоритма до завершения обслуживания принятых от источников сообщений. Для этого приемник задерживает отправку синхросигналов, разрешающих передачу сообщений. Результаты работ приемник, как отмечалось, рассылает всем заказчикам, модулируя сигналы f_{32} .

Помимо конфликтов причиной отказа в доставке сообщений приемнику может служить отказ приемника принимать данные. Об этом УРКД сообщит источникам также с помощью модуляции f_{32} .

Рассмотрим некоторые модификации АРКД.

– Сигналы многоуровневых слов, посылаемых в S4, источники могут посылать одновременно, используя разные частоты. Используя только ретрорефлектор (без модулятора), УРКД приемника возвратит каждому источнику, посланные им сигналы, что позволит источнику проверить отсутствие ошибок в доставленном в УРКД сообщении. Сигналы других источников источники не получают. Сигнал τf_{32} , как и ранее, используется для уведомления источников о наличии конфликта.

– Сигналы длительностей σ и τ можно заменить специальными кодами, не используемыми в сообщениях. Количество таких кодов можно увеличить, расширяя этим возможности алгоритма.

– АРКД позволяет использовать УРКД как канал множественного доступа, так как сообщения источников УРКД может ретранслировать всем объектам.

5. О времени разрешения конфликта и времени установления соединения

Пусть один из источников послал сообщение, которое искажено конфликтующими с ним сообщениями. В худшем случае УРКД обнаружит конфликт через время $L/c + T^*$, где L – наибольшее расстояние между объектами системы, c – скорость света, T^* – наибольшая длительность сообщений источников. Обнаружив конфликт, УРКД посылает сигнал τf_{32} . Источники получают этот сигнал через время $T_L = L/c$, начнут передавать S1, и через интервал времени $2T_L + T_{s1}$ получают S2. Сразу после этого будет послано S3, которое источники получают с задержкой $2T_L + T_{s3}$. После этого начинается передача сообщения S4 – последовательности индивидуальных сообщений источников. Таким образом, задержка на разрешение конфликта $T_k = 6L/c + T^* + T_{s1} + T_{s3}$.

Теперь рассмотрим время установления соединения при отсутствии конфликта. Как показано выше, для возможности взаимодействия с приемником источник должен начать передавать приемнику непрерывный сигнал f_{31} . Только после этого источник будет получать сигналы от ретрорефлектора УРКД приемника. Первый такой сигнал поступит в источник через интервал времени $2T_L$ после начала посылки сигнала f_{31} источником. Если источник не может с указанным опережением установить соединение, то $2T_L$ – дополнительные потери времени на каждое передаваемое сообщение.

Если конфликты возможны, то передавать сообщения без учета указанной временной задержки АРКД не позволяет, так как источник может послать свое сообщение во время работы АРКД, чем нарушит его работу.

Отношение длительности времени установления соединения к длительности сообщения $p = \frac{2L}{cMq}$, где L – максимальное расстояние между объектами, M – количество бит в сообщении, q – длительность бита.

Например, если задаться $p = 0,1$, то при $M = 1000$ для $L = 100$ м такое значение p обеспечивает $q = 7$ нсек, для $L = 0,1$ м – $q = 7$ псек.

Часто после принятия решения, разрешающего конфликт, действует фрагмент обработки данных, для которого задается бесконфликтное распределение ресурсов. В этом случае источники могут передавать данные, не используя АРКД, и дополнительная задержка $2T_L$ отсутствует.

При необходимости, усложнив требуемую выше аппаратуру, можно избавиться от указанной задержки установления соединения. Для этого к предложенным средствам

добавим два беспроводных канала f_4 и f_5 с одноименными частотами, прямыми путями – f_{41} , f_{51} , обратными – f_{42} , f_{52} .

По пути f_{41} объект передает сообщение. По пути f_{51} объекты посылают непрерывные сигналы f_{51} одновременно с сигналами сообщения. УРКД принимает сигналы f_{41} и при появлении каждого входящего сигнала прерывает сигналы f_{52} – возвращаемые ретрорефлектором сигналы f_{51} . В результате все объекты получают сообщение, передаваемое по пути f_{41} . По пути f_{42} каждый источник получит собственное сообщение. Действия с f_4 и f_5 не отличаются от действий с f_2 и f_3 , различие появится в управлении передачей сообщений и обработке конфликта.

Назовем часть УРКД, работающую с каналами f_2 и f_3 , блоком А, а часть, работающую с каналами f_4 и f_5 , блоком В. При отсутствии конфликтов каждый блок передает сообщения в выделенный ему порт объекта-приемника. Сообщения источников оформлены одинаково, но блок А разрешает источникам передачу сообщений посылкой указанных выше разрешающих сигналов, а для блока В посылка сигналов, разрешающих передачу сообщений, не обязательна. Выбор источниками блока А или блока В для передачи сообщений произволен.

При обнаружении источниками, работающими с блоком В, конфликта, источники переключаются на работу с блоком А и ожидают синхросигнала разрешения передачи сообщения, выполняется передача, возникает конфликт, который разрешает АРКД.

Рассмотрим второй вариант устранения блоком А конфликтующих сообщений, поступивших от блока В. Конфликтующим сообщениям блок В возвращает искаженное их сообщение и сообщает блоку А о наличии конфликта. Обнаружив искажение своего сообщения, источник переключается на работу с блоком А. Блок А включает АРКД. Если в этот момент АРКД уже разрешает конфликты, то он будет запущен повторно.

Конфликты оставляют блок В доступным для других источников.

6. Заключение

Суммируем особенности предложенного способа устранения конфликта.

- Способ использует полностью децентрализованные средства: УРКД лишь синхронизирует действия объектов, все решения по упорядочению запросов децентрализованно принимают объекты.
- Коммутатор в УРКД отсутствует: ретрорефлектор возвращает объектам ответ приемника.
- УРКД не использует собственную энергию для отправки ответов: используется энергия поступающих от объектов сигналов f_{31} , которые превращаются УРКД в модулированные f_{32} .
- Способ позволяет одновременно и непосредственно, без промежуточных звеньев, соединять любые пары объектов. Это, как показано в разделе 2.1, требует незначительного количества аппаратных средств.
- Способ сводится к очень простым действиям, поэтому он выполним чисто аппаратными средствами, что и обеспечивает его высокое быстродействие.
- УРКД может использоваться как создаваемый в динамике общий канал.

Быстродействующий оптический ретрорефлектор и модулятор, представляющие интерес для рассмотренной задачи устранения конфликта доступа, можно найти в [3]. В обзоре [4] рассмотрена более сложная задача, чем измерение времени распространения сигнала между объектами – позиционирование подвижных объектов в закрытых помещениях, и показано, что достигнута точность лучше 0,1 мм. Это дает погрешность в

измерении времени $\sim 0,3$ псек, что достаточно для проведения требуемых в докладе временных измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стецюра Г.Г.* Уменьшение сложности распределенного полного коммутатора для параллельных систем обработки данных //АиТ. 2010. №5. С. 147 – 154.
2. *Стецюра Г.Г.* Синхронизация взаимодействия цифровых устройств с помощью центра ретрансляции сигналов// Автоматика и телемеханика. 2012 г. № 5. С. 111-124.
3. *Rabinovich W.S., Goetz P.G., Mahon R. et al.* 45-Mbit/s cat's-eye modulating retroreflectors// Optical Engineering. 2007. V. 46. № 10. P. 1-8.
4. *Mautz R., Tilch S.,* Optical Indoor Positioning Systems// IPIN. Portugal. 2011.