

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧИ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ ПО ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

М.С. Половников, В.И. Ухов (ООО «СИСТЕЛ»)

*Рассмотрен адаптивный алгоритм передачи оперативных данных в электроэнергетических системах сбора и передачи информации. Определен критерий достаточности передаваемой информации. Описаны типовые способы формирования потоков данных, их достоинства и недостатки. Показано соответствие разработанного алгоритма отраслевым требованиям к передаче оперативной информации.*

*Ключевые слова: адаптивный алгоритм передачи данных, оперативные данные, система сбора, приоритет данных, цифровые каналы связи.*

Современные требования к системам сбора и передачи информации в электроэнергетике, наряду с надежностью, также включают и требования к своевременной и достоверной передаче информации. Развитие электроэнергетического сектора в стране осуществляется путем модернизации существующих и строительства новых энергообъектов и требует использования цифровых каналов связи и контролирующего и управляющего этими объектами современного оборудования. Ввод новых энергетических мощностей приводит к постоянному увеличению числа обрабатываемых данных. Поток оперативных данных в системах сбора и передачи информации (рис. 1), начиная от устройств нижнего уровня, осуществляющих первичный сбор информации с полевых шин, проходит по цепочке устройств, попадая в конечном итоге на пункт диспетчерского управления. От уровня к уровню число обрабатываемых сигналов увеличивается, а следовательно, возрастает нагрузка и на цифровые каналы.

Для пункта оперативного диспетчерского управления каждый подконтрольный энергообъект должен характеризоваться наблюдаемостью и управляемостью [1]. Это достигается эффективным обменом данными между диспетчерским пунктом и энергообъектом, предусматривающим своевременный прием и контроль полноты информации, а также оперативную выдачу команд управления. Своевременность и полнота информации определяется критерием достаточности: информация содержит актуальные состояния коммутационных аппаратов, значения токов и напряжений трансформаторов, другие дискретные и аналоговые величины, признаки передаваемых величин: достоверность, отклонение от нормального состояния, вход в заданные пределы. Критерий также определяет необходимость сохранения временной последовательности для принимаемых величин. При быстром цифровом канале и сравнительно небольшом объеме информации критерий достаточности будет выполняться, однако в реальных условиях его выполнение может быть

затруднено. При передаче данных с нижних уровней системы сбора на верхние такие факторы, как провал канала, ухудшение качества передачи из-за его повреждения, переход на более медленный канал, например, резервный, служат причинами для появления задержек в передаче данных. Увеличение цифрового потока передаваемых данных до величины большей, чем пропускная способность канала, также является причиной для несвоевременной доставки данных. Эти факторы могут создавать задержки в получении актуальной информации от уровня к уровню, а следовательно, и на диспетчерском пункте.

Скорость передачи данных между узлами систем сбора зависит от физической среды линий связи, которые могут быть как медленными, так и быстрыми, качества линий и от протокола передачи данных. В любом случае, оперативные данные должны быть приняты, обработаны и переданы на вышестоящий узел своевременно. Для этого необходим механизм обеспечения достаточности передаваемых данных, что позволит оптимально использовать текущую про-

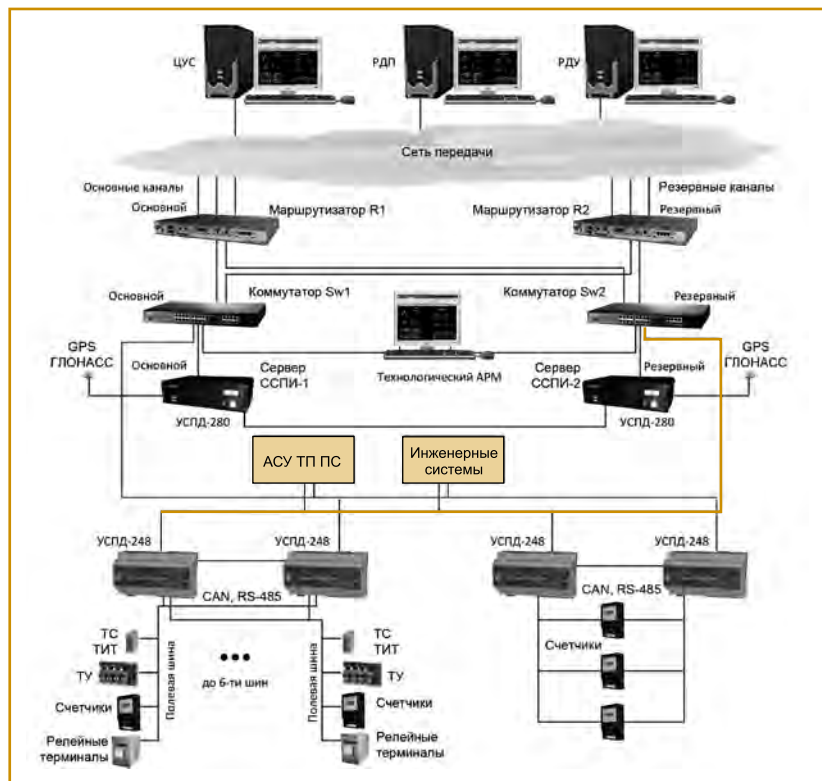


Рис. 1 Схема системы сбора и передачи информации

пусковую способность канала связи в каждый момент времени.

В электроэнергетических системах сбора применяются следующие виды передач оперативных данных: циклическая, периодическая и спорадическая [2]. Периодический тип передачи подразумевает передачу данных через заданные интервалы времени, циклический — непрерывную передачу данных, спорадический — передачу только изменившихся данных, то есть данных, значения величин или состояний которых изменились. Передача данных по цифровым каналам, с одной стороны, позволяет обеспечить оперативную передачу потока информации большого объема, например в циклическом режиме, но, с другой стороны, необходимо обеспечить достаточность передаваемых данных, устранив избыточность для оптимальной работы устройств систем сбора, сетевого оборудования и каналов связи.

Управляющее ПО узлов системы сбора, таких как сервер сбора и передачи информации (ССПИ), устройство сбора и передачи информации (УСПД), формирует потоки передачи данных. Обычный механизм подготовки набора данных для передачи подразумевает формирование буфера типа FIFO (First In — First Out), в который последовательно помещаются элементы данных. Такой буфер, представляющий собой очередь ретрансляции, имеется у каждого канала передачи. Критерием для передачи элемента данных может быть режим передачи (циклический или периодический) или наличие события (спорадиче-

ка): изменение значения контролируемого элемента, превышение значением заданных пределов, изменение достоверности, постановка на ручной ввод. Передача элемента данных также может инициироваться внешним управляющим воздействием, например, принудительным опросом с принимающей стороны. Формирование очереди ретрансляции осуществляет диспетчер передачи управляющего ПО, последовательно добавляя элементы данных, предназначенные для передачи, в буфер. Последовательное поэлементное чтение данных из очереди, формирование кадров битового потока для передачи в канал связи осуществляет драйвер ретранслирующего протокола.

Прием данных сопровождается явление «дребезга» измеряемых значений, то есть частое незначительное изменение величины. «Дребезг» возникает, например, при аналого-цифровых преобразованиях, при этом малое изменение аналоговой величины приводит к дискретному изменению цифрового значения. При высокой частоте передачи данных, вызванной «дребезгом» значений или использованием неподходящего режима ретрансляции, и недостаточной ширине канала данные для передачи будут накапливаться в очереди. Накопление данных в очереди будет происходить и при обрыве связи. Восстановление связи, увеличение ширины канала или устранение «дребезга» позволит возобновить работу, но в первую очередь будут переданы «старые» данные. Это приведет к задержке приема актуальной информации на верхнем уровне, что в большинстве случаев неприемлемо. Поэтому необходимо повысить степень актуальности оперативной информации на всех уровнях системы сбора, а также обеспечить ее свойства и характеристики по сохранению временной последовательности передачи данных и частоте передачи [3].

Для выполнения указанных требований предлагается использовать схему разделения очереди ретрансляции по типам данных и их приоритетам. Элементы оперативных данных, формирующие очередь ретрансляции, — телесигналы (ТС) и телеизмерения (ТИ). Приоритеты передачи типов данных следующие: ТС; предельные ТИ (ТИ со значениями вышедшими/вошедшими в установленные пределы); ТИ. Для обеспечения передачи данных с такими приоритетами очередь ретрансляции разделяется на три части (буфера) (рис. 2). Изменившиеся данные в зависимости от типа помещаются в конец соответствующей части очереди. Длина каждой части оче-



Рис.2. Очередь ретрансляции



Рис.3. Очередь передачи при адаптивном алгоритме

реди может регулироваться до требуемой величины, создавая таким образом историю изменений данных. Ретранслирующий протокол осуществляет выборку данных из начала очереди: первыми в канал будут переданы ТС, затем предельные ТИ и ТИ. Такая организация очереди позволяет осуществлять первоочередную передачу наиболее приоритетных данных с сохранением временной последовательности их изменений.

Большую часть реального потока оперативных данных составляют события ТИ. Помимо реально значимых изменившихся значений в потоке данных присутствует «дребезг». Он непродуктивно нагружает канал передачи данных и приемопередающее оборудование. Для устранения «дребезга» вводят порог чувствительности к изменению значения ТИ — апертуру. Значение элемента данных будет передано в канал при превышении апертуры или при плановом полном опросе ТИ. Трафик в канале сократится, но при этом точность переданных аналоговых значений также понизится. Если число передаваемых событий велико и битовый информационный поток близок к максимальной пропускной способности канала или превышает ее, произойдет накапливаемая временная задержка в передаче данных. Увеличение порога апертуры может снизить информационный поток, но за счет еще большего снижения точности. Обеспечить оперативную передачу данных без уменьшения их точности с учетом пропускной способности канала, устранить «дребезг» значений позволяет разработанный адаптивный алгоритм передачи данных.

Алгоритм позволяет осуществлять высокоприоритетную передачу ТС и предельных ТИ в моменты их изменений (спорадически), а также вводит понятие «мягкий цикл», что подразумевает периодическую ретрансляцию данных с типом ТИ (рис. 3). «Мягкий цикл» осуществляет передачу значений данных всех ТИ, предназначенных для передачи по данному каналу, с автоматически регулируемым периодом, зависящим как от ширины и качества цифрового канала передачи, так и от объема битового потока передаваемых данных. Минимальное значение периода задано 1 с.

Основной задачей алгоритма является поддержание актуальной и достоверной информации на вышестоящем узле системы сбора данных. В случае наличия требований Системного оператора по сохранению и дальней передаче истории изменений данных требуется использовать стандартную схему (рис. 2) передачи данных. В этом случае при аварийном отключении канала или недостаточности его пропускной способности, вследствие ухудшений параметров канала или резком увеличении объема изменившихся данных происходит хронологическое накопление изменений значений данных в очереди ретрансляции. При восстановлении нормального режима работы сначала происходит поочередная передача истории изменений и только потом текущих значений, что приводит к запозданию появлению

актуальных данных на приемной стороне. Если специальные требования по сохранению истории изменений отсутствуют, и требуется в первую очередь оперативность в передаче данных, предлагается использовать адаптивный алгоритм.

При использовании адаптивного алгоритма очередь ретрансляции построена аналогично стандартной схеме, но с изменившимся механизмом помещения в нее элементов ТИ. Так как число изменений значений ТС и предельных ТИ невелико по сравнению с числом изменений ТИ, а важность таких изменений существенна, то возможность сохранения истории изменений для ТС и предельных ТИ в адаптивном алгоритме остается. Для ТИ история изменений не используется, в часть очереди ретрансляции типа ТИ происходит периодическое размещение актуальных значений всех ТИ, предназначенных для передачи. Следующее размещение набора ТИ будет произведено только после полной передачи всех данных из очереди ретрансляции и с периодом  $\geq 1$  с. Таким образом, при быстрых каналах и сравнительно небольшом потоке данных период передачи будет установлен в 1 с, а при недостаточной пропускной способности, вызванной, например, ухудшением связи или увеличением передаваемого потока, следующий набор ТИ будет передан сразу после окончания передачи текущих значений. Такой алгоритм существенно повышает наблюдаемость и управляемость систем сбора.

Как правило, существует необходимость выделить некоторые элементы данных как наиболее важные, для этого предлагается ввести приоритет данных. В очереди ретрансляции для важных данных определены дополнительные приоритетные части соответствующего типа. На рис. 3 изображена очередь ретрансляции при разделении данных на приоритетные и обычные, то есть для двух различных приоритетов. Адаптивный алгоритм позволяет использовать требуемое число приоритетов. При изменении или опросе данных с типами ТС и предельные ТИ происходит размещение их в соответствующие части очереди (приоритетные или обычные), что определяет порядок их выдачи в канал. Использование приоритета также регулирует и порядок выдачи ТИ в канал и позволяет задавать различные периоды «мягкого цикла» для разных частей очереди. Разумно осуществлять передачу менее приоритетной части очереди ретрансляции реже, чем более важные данные. Поэтому, например, настройки «мягких циклов» могут быть следующими: самая приоритетная часть ТИ заполняется со стандартным периодом 1 с, следующая часть — с периодом 3 с и т. д.

Как и прежде, ретранслирующий протокол начинает выборку данных их очереди ретрансляции с наиболее приоритетной непустой части. По мере опустошения приоритетных частей производится выборка данных из следующей части, при этом непрерывно происходит контроль наличия данных, готовых к от-

правке, в более приоритетных частях очереди. При обнаружении таких данных происходит их оперативная передача в канал. Таким образом, в адаптивном алгоритме организована следующая последовательность отправки событий: ТС — первые, предельные ТИ — вторые, а текущие значения ТИ — последними. Алгоритм позволяет выделить сигналы и измерения, указав их приоритет, и обеспечивает достаточность передаваемых данных: сохраняет временную последовательность их передачи, учитывает текущую пропускную способность цифрового канала и осуществляет оперативную отставку данных с учетом требуемых стандартом периодов передачи.

Разработанный адаптивный алгоритм был реализован в составе ПО «Монитор реального времени», функционирующего в устройствах сбора и передачи информации — центральная приемо-передающая станция (ЦППС) и микропроцессорный телемеханический комплекс МТК.30.КП «Систел». Алгоритм прошел стендовые испытания с использованием устройств: нижний уровень — устройство МТК.30.КП «Систел», верхний уровень — ЦППС «Систел».

Связь осуществлялась через сеть Ethernet 100 МБ/с, а также беспроводной канал GPRS/3G по протоколам передачи данных МЭК 60870–5–101 и МЭК 60870–5–104. Испытания показали первоочередность доставки высокоприоритетных данных, правильность хронологической последовательности передачи, поддержание актуальности ТИ на приемнике в соответствии с заданным периодом «мягкого» цикла и пропускной способностью канала. Данные устройства успешно внедрены и функционируют в системах диспетчерского управления многих электросетевых компаний ОАО «МРСК Центра», ОАО «МРСК Волги», ОАО «МРСК Северо-Запад», ОАО «МОЭСК», ОАО «Ленэнерго» и др.

#### Список литературы

1. *Алексеев О.П.* Автоматизация электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат. 1994.
2. *Портнов Л.Н.* Телемеханика. М. Высшая школа, 1993.
3. *Федоров Ю.Н.* Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. М.: Инфра-Инженерия. 2008.

*Половников Максим Сергеевич — ведущий инженер,  
Ухов Владимир Иосифович — канд. физ.-мат. наук, зам. ген. директора по АСУТП ООО «СИСТЕЛ».  
Контактный телефон (496)-731-08-36.  
E-mail: polovnikovm@gmail.com uhov@mail.ru*

## СВЕРХБЫСТРАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

### Компания B&R Industrial Automation

*Представлена технология geACTION, сокращающая время реакции приложений на уровне АСУТП до 1 мкс и позволяющая программировать стандартное оборудование в соответствии со стандартом IEC 61131.*

*Ключевые слова: технологии ввода/вывода, время реакции, ПЛИС, программирование, моделирование.*

Во многих случаях скорость управления ТП непосредственно влияет на качество продукции. Например, при изготовлении пластиковых бутылок нужно очень точно контролировать давление: чем выше точность управления, тем тоньше можно сделать стенки бутылки. В ТП литья под давление требуется высокая точность регулирования скорости и положения. В полиграфии при подаче бумаги на очень высокой скорости необходимо точно определять ее край. Список приложений, которые могут выиграть от применения сверхбыстрого управления, практически бесконечен. Традиционные технологии ввода/вывода имеют минимальное время отклика около 1 мс.

На время реакции обычных решений влияет множество факторов, таких как скорость сети или число сетевых узлов, а также сетевой трафик и быстродействие контроллера. В обычных системах обработки сигнала модуль ввода считывает входной сигнал, преобразует его в логический. Последний передается по коммуникационной сети в центральный ПЛК,

где происходит обработка информации и передача управляющего сигнала модулю вывода. С таким подходом нельзя достигнуть времени реакции < 1 мс.

Создавая технологию geACTION, компания B&R ставила цель ускорить обработку сигнала, максимально используя возможности модулей ввода/вывода. В то же время не планировалось отказываться от преимуществ централизованного управления. Новое решение B&R сократило время от поступления входного сигнала до выдачи управляющего сигнала до 1 мкс. Новая технология опирается на модули ввода/вывода со встроенными ПЛИС. Используется способность ПЛИС к быстрой параллельной обработке сигналов: при объединении 10 функциональных блоков время обработки сигнала в ПЛИС составляет примерно 0,8 мкс.

Одной из проблем, с которой столкнулись разработчики B&R, была сложность программирования ПЛИС. Для ее решения программировать ПЛИС предлагается в знакомой пользователям среде раз-