

СИНХРОННО-ВРЕМЕННОЙ ПРОТОКОЛ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА

Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С.

НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ», Россия, г. Москва, ул. 4-я Магистральная д.13
nazakharov@npp-dozor.ru, dspodkhvatilin@npp-dozor.ru, viklepikov@mail.ru

Предложен синхронно-временной протокол для построения распределенных систем управления. Показана необходимость использования в контурах регулирования передачи данных по расписанию. Рассмотрены преимущества предлагаемого протокола перед аналогами.

Ключевые слова: распределенная система управления, протокол обмена, синхронно-временной протокол.

Развитие распределенных систем управления (PCY) на современном этапе характеризуется повышением функциональной насыщенности сетевых связей. Обмен данными в реальном масштабе времени ведет к многократному увеличению трафика в PCY, причем возрастают потоки информации между интеллектуальными датчиками, управляющими контроллерами и исполнительными элементами. Как отмечено в монографии [1], необходимость перехода к распределенным системам управления обусловлена требованиями повышения функциональности и качества управления при одновременном повышении надежности и улучшении массогабаритных характеристик.

Современный подход к изготовлению узлов и агрегатов систем управления и технологических объектов управления – датчиков, ИМ, законченных функциональных узлов, заключается в том, что они выпускаются различными компаниями-изготовителями, имеют встроенные микропроцессорные блоки с стандартизованным сетевым интерфейсом. Это обеспечивает высокую степень унификации, снижает стоимость разработки и сокращает время вывода на рынок новых продуктов.

Вследствие интеграции в компоненты PCY микропроцессорных устройств со встроенным сетевым интерфейсом в составе одного контура регулирования оказывается несколько микропроцессорных устройств, связанных между собой цифровыми линиями связи. Это порождает особую специфику требований, предъявляемых к сетевому обмену и особенностям его реализации.

Широкое распространение в PCY протокол CAN, первоначально разработанный фирмой Robert Bosch GmbH для использования в автомобильной электронике [2-4]. Данный протокол обладает высокой помехоустойчивостью и надежностью. Его существенным недостатком, проявляющимся в случае, когда несколько абонентов сети участвуют в работе одного контура регулирования, является то, что асинхронная природа протокола и применение рассмотренного выше механизма арбитража делают нестабильным время передачи результата измерения от датчика и рассчитанного управляющего воздействия к исполнительному элементу. Это приводит к ухудшению качества регулирования, в том числе к снижению запаса устойчивости системы.

Стандартом [3] в разделе 9.2 предусмотрена опция разделения времени передачи на шине. Тем не менее, она не всегда эффективна. В статье [5] описано построение PCY с обменом по CAN, использующей данную опцию. Для компенсации указанной нестабильности используются громоздкие программно-аппаратные решения, основанные на формировании и передаче в каждом пакете данных двух дополнительных временных меток.

Для PCY, в которых датчики, исполнительные элементы и контроллеры являются узлами единой сетевой управляющей структуры, принципиальным является то обстоятельство, что коммуникационный канал между датчиками, контроллерами и исполнительными элементами (в отличие от децентрализованных систем) оказывается включенным в замкнутые контуры управления и регулирования; отказы, сбои и непредсказуемые задержки доставки информации (джиттер) являются недопустимыми. Это обстоятельство в 2000-х годах привело к началу активных разработок специализированных коммуникационных протоколов, пригодных для построения систем управления жесткого реального времени, например, CANAerospace и Time Triggered Protocol (TTP) для авиационных СУ, протокол FlexRay для реализации концепции "управления по проводам" (x-by-wire) в автомобильной технике и др. Особенности построения PCY, работающих в жестком реальном времени, рассмотрены в статье [6].

Для построения PCY предлагается синхронно-временной протокол (СВП), свободный от рассмотренных выше на примере CAN недостатков событийного протокола [7]. В ходе обмена по указанному протоколу каждый узел PCY осуществляет передачу данных строго в определенное для него время. Время передачи задается единым для всей сети расписанием.

В настоящее время на рынке представлено несколько типов коммуникационных протоколов как с событийной синхронизацией (Event Triggered, ET, например, рассмотренный выше CAN), так и с временной синхронизацией (Time Triggered, TT). Событийные протоколы обеспечивают большую гибкость системы при разработке и модернизации (механизмы Plug&Play). При этом их

использование в замкнутых контурах регулирования в силу отмеченных выше причин практически невозможно. Протоколы с временной синхронизацией обеспечивают большую жесткость и предсказуемость поведения каждого узла сети, особенно при возникновении сбоев, отказов и нештатных ситуаций, обеспечивают фиксированный временной джиттер, что позволяет строить замкнутые распределенные контуры регулирования. Применение таких протоколов осложняет разработку, модернизацию и расширение РСУ, поскольку каждый раз требуется проектирование нового расписания работы узлов.

С существующими протоколами с временной синхронизацией связан ряд проблем:

- отсутствие механизма R&P – добавление нового узла сети требует перепланировки расписания работы всех узлов;
- жесткий детерминизм в построении расписания приводит к недетерминизму в работе замкнутых контуров регулирования т.к. при реконфигурациях сети вследствие отказов отдельных узлов изменяются времена доставки информации;
- используемые механизмы синхронизации узлов сети и механизмы включения узла в работающую сеть приводят к проблеме распада сети на независимо друг от друга работающие сегменты – клики (clique);
- в известных реализациях отсутствует механизм гарантированной синхронной выдачи выходных сигналов несколькими узлами;
- имеющийся европейский стандарт на ТТР жестко определяет применение дублированной (двухканальной) шины и не предусматривает механизмов повышений степени резервирования шины;
- доступные IP-ядра ТТР контроллеров дороги, доступные микросхемы ТТР контроллеров являются двухканальными, причем оба канала реализованы в одном кристалле, что снижает надежность;
- в России отсутствуют стандарты и специализированные лаборатории по тестированию и сертификации систем на основе временных протоколов.

Для решения обозначенных проблем в предлагаемом СВП протоколе разработан ряд новых механизмов обеспечения отказоустойчивости, целостности и реконфигурации сети:

- механизм принудительной синхронизации сети;
- разрешительный механизм вхождения в сеть нового или повторно входящего узла;
- механизм онлайн планирования и рассылки расписаний;
- механизм предопределенных резервных расписаний;
- механизм распределенной базы данных контрольных точек восстановления узлов сети;
- механизм гарантированной синхронной выдачи сигналов несколькими узлами;
- структура контроллера с заданным количеством резервных шин.

В отличие от известного механизма автономной синхронизации, когда каждый узел самостоятельно входит в сеть в соответствии с заранее определенным расписанием, в предлагаемом СВП механизм принудительной синхронизации опрашивает сеть с заданным периодом времени для определения фактического состава присутствующих узлов. Собранные информация рассылается всем работающим узлам, соответственно у всех работающих узлов имеется единая информация о составе сети, что полностью исключает проблему сегментации сети.

Если в сети появляется новый, неизвестный ранее узел (чего в принципе недопустимо в известных реализациях), то в СВП в процессе опроса сети узлом-синхронизатором данный узел должен сообщить свой формуляр – приоритет, требуемый набор входных данных и требуемый период их получения, состав своих выходных данных и другую служебную информацию. Узел-синхронизатор планирует новое расписание работы сети, в котором определяет место нового узла. Новое расписание рассылается всем узлам сети, после этого новый узел получает разрешение войти в сеть. Данная процедура обеспечивает реализацию механизма R&P.

В случае отказа одного из узлов сети встроенные в СВП механизмы планирования и рассылки расписаний обеспечивают замену расписания работы сети на нужное предопределенное резервное расписание, в котором резервный узел передает свои данные в том же слоте, в котором работал отказавший узел. Отказавший узел исключается из состава активных узлов, но если происходит его восстановление, то он включается в сеть в соответствии с механизмом повторного вхождения.

На базе разработанных спецификаций совместно с ФГУП ГосНИИАС начата работа по выпуску стандарта СВП. Создание сертифицирующей лаборатории планируется на базе Инновационного центра Сколково.

Согласно предлагаемой технологии, обобщенная модель РСУ содержит несколько сетевых узлов, связанных с объектом управления датчиками и исполнительными устройствами и связанных между собой последовательным коммуникационным каналом на основе СВП протокола.

Каждый узел состоит из:

- контроллера ввода-вывода, управляющего датчиками и исполнительными устройствами;
- управляющего контроллера, выполняющего прикладное программное обеспечение;
- коммуникационного контроллера, обеспечивающего логическое взаимодействие с коммуникационным каналом;
- блока защиты шины (БЗШ), связывающего коммуникационный контроллер с коммуникационным каналом.

Блок защиты шины (БЗШ) является автономной подсистемой и предотвращает отказы узла типа «забывание» шины (babbling idiot faults). Сообщение может быть отправлено, только если коммуникационный контроллер и БЗШ согласованно обеспечивают доступ к каналу.

Все узлы сети работают в единой временной базе, для чего каждый коммуникационный контроллер и каждый БЗШ содержат отказоустойчивый усредняющий алгоритм коррекции локальных часов с тем, чтобы они находились в синхронизации с часами всех остальных узлов кластера.

Наборы расписаний работы сети рассчитывается и хранится в двух или более коммуникационных контроллерах узлов-синхронизаторов вместе с копиями базы данных контрольных точек. Контрольные точки (т.е. наборы переменных процесса) позволяют новому узлу вступить в работу с того места, где процесс был прерван сбоем или отказом.

СВП обеспечивает подключение стартующего узла к работающему кластеру без нарушения функционирования остальных узлов. После старта узлы-синхронизаторы корректируют расписание сети с учетом требований нового узла и сообщают это расписание всем узлам. Данный алгоритм обеспечивает реализацию механизма Plug&Play.

Все узлы работают по единому расписанию обмена. Для обеспечения всех узлов единой временной базой используется отказоустойчивый усредняющий алгоритм, вычисляющий коррекцию локальных часов с тем, чтобы они находились в синхронизации со всеми остальными часами кластера.

Базовые алгоритмы СВП были формально верифицированы и успешно протестированы в условиях имитации миллионов отказов, в том числе при воздействии радиационного и электромагнитного излучений.

Для построения узлов СВП сети в настоящее время разработана и выпущена микросхема контроллера СВП K5600ВГ2У. Разработчик – научно-производственное подразделение «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ» (г. Москва), изготовитель - АО "ПКК Миландр" (г. Зеленоград). В перспективе планируется интеграция данного контроллера в систему на кристалле. Контроллер поддерживает связь с процессором по 16-разрядной параллельной шине данных или по интерфейсу SPI.

Литература

1. Клепиков В.И. Отказоустойчивость распределенных систем управления. М. «Золотое сечение», 2014.-392с.
2. Карпенко Е. Возможности CAN-протокола// Современные технологии автоматизации, 1998, № 4.- С.16-20.
3. ГОСТ Р ИСО 11898-1-2015. Транспорт дорожный. Местная контроллерная сеть (CAN). Часть 1. Канальный уровень и передача сигналов.
4. ГОСТ Р ИСО 11898-2-2015. Транспорт дорожный. Местная контроллерная сеть (CAN). Часть 2. Устройство доступа к высокоскоростной среде.
5. Синявский С., Шергин В., Власюк В. Использование координатных датчиков в распределенной АСУ большого азимутального телескопа // Современные технологии автоматизации, 2012. - № 4. – С.68-73.
6. Захаров Н.А., Калинин С.В., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С. Архитектура распределенных систем управления жесткого реального времени // Радиоэлектронные и компьютерные системы – 2008. - № 5. С.57-61.
7. Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С. Синхронно-временной протокол для распределенных систем управления // Автоматизация в промышленности – 2013. - № 2. С.37-39.