



РЕШЕНИЯ NATIONAL INSTRUMENTS ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С НАДЕЖНОСТЬЮ SIL3

М.В. Самойлов (Компания National Instruments)

Рассмотрена технология Time Sensitive Networking (TSN), обеспечивающая механизм временной синхронизации устройств с использованием пакетной передачи данных по Ethernet. Описаны особенности и технические характеристики Ethernet-шасси NI cDAQ-9185/cDAQ-9189 и устройств сбора данных FieldDAQ для технологии TSN, а также функциональных модулей безопасности серии C, сертифицированных по SIL3 и поддерживающих TSN.

Ключевые слова: временная синхронизация, пакетная передача данных, Ethernet, топология сети, модуль функциональной безопасности, автономный логический процессор, надежность, распределенная система управления.

Введение

На современном этапе развития информационных и коммуникационных технологий трендом становятся системы, где измерительная часть находится на максимально близком расстоянии к тестируемому устройству. Это сокращает время монтажа, снижает стоимость подключения датчиков и повышает точность измерений, но создает проблемы с синхронизацией и с управлением системами, особенно при использовании современных промышленных сетевых технологий. Компания National Instruments (NI) активно работает над тем, чтобы помочь внедрению Time Sensitive Networking (TSN) — продукта очередного этапа эволюции стандарта Ethernet IEEE 802.1, для обеспечения распределенных устройств синхронизацией по времени и малой задержкой, сближая трафик сетей общего назначения и сетей, критических к временным характеристикам.

Технология TSN и стандарт IEEE 802.1AS

Технология TSN обеспечивает механизм временной синхронизации устройств с использованием пакетной передачи данных по Ethernet. Другими словами, технология TSN обеспечивает единую синхронизацию по времени для всех данных, поступающих с разных измерительных устройств, используя

при этом один сетевой кабель для передачи данных на сервер в диспетчерскую.

Протокол IEEE 802.1AS установки точного времени разработан на основе стандарта синхронизации IEEE 1588:2002.2. Устройства, работающие по этому протоколу, обмениваются стандартными сообщениями Ethernet, чтобы синхронизировать работу всех узлов сети и привязать их к общей временной шкале. В протоколе определены алгоритмы выбора главных (master) часов, порядок обмена сообщениями, механизмы измерения и компенсации задержки на линии, методы коррекции скорости [1].

Изначально протокол создавался как упрощенная версия IEEE 1588. Принципиальная разница между ними заключается в том, что протокол IEEE 802.1AS относится к уровню 2 модели OSI, это не IP-протокол. Как и IEEE 1588, IEEE 802.1AS определяет автоматический метод ведения переговоров главных часов сети и алгоритм выбора лучших ведущих часов (BMCA — best master clock algorithm). По качеству тактирования узлам IEEE 802.1AS можно назначить один из восьми уровней приоритетности. Алгоритм BMCA определяет основные механизмы переговоров, в процессе которых выявляется эталонное синхронизирующее устройство сети — AVB LAN Grandmaster. Как только оно будет выбрано, процесс синхронизации начнется автоматически [1].

Синхронизация нескольких устройств использует пакетную связь и возможна на больших расстояниях без задержки распространения сигнала. Синхронизация ввода/вывода на устройствах с использованием этого стандарта составляет <1 мкс, но это время может быть значительно уменьшено (до сотен наносекунд в зависимости от конфигурации системы).



Рис. 1. Линейная топология

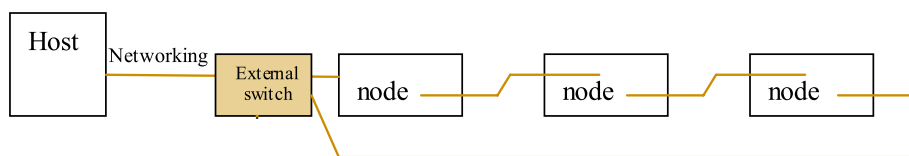


Рис. 2. Кольцевая топология

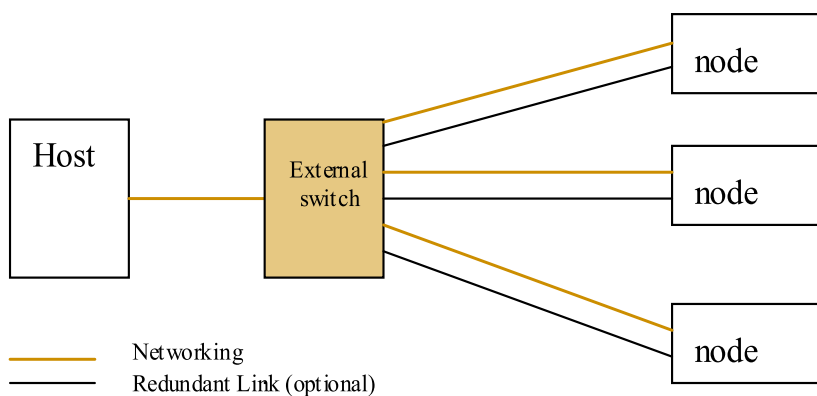


Рис. 3. Топология звезда

Для синхронизации двух конечных станций между ними должен быть коммутатор, совместимый с IEEE 802.1AS.

Выбор топологии

Критический шаг в разработке распределенной системы управления на основе TSN — выбор топологии [2]. Стандарт IEEE 802.1AS компенсирует длину кабеля между устройствами. Поэтому пользователь может сосредоточиться на преимуществах и недостатках топологии линия, кольцо или звезда или создавать гибридную топологию.

В линейной топологии (последовательной цепочке), хост напрямую связывается со всеми устройствами в системе через одну шину. Линейная топология является самой простой и наименее дорогостоящей при реализации. Каждое устройство в топологии может находиться на расстоянии до 100 м от предыдущего устройства, что дает возможность охватывать огромные расстояния без излишней сложности (рис. 1). Однако эта топология практична только для устройств с интегрированным коммутатором Ethernet (таких как контроллеры NI cDAQ).

Недостатки линейной топологии:

- сбой в любом устройстве в линии нарушает сетевую связь всех устройств, расположенных ниже;
- отказ Ethernet-кабеля и/или его неправильное подключение нарушают сетевую связь всех устройств, расположенных ниже;
- производительность сети и синхронизации зависят от числа устройств.

В кольцевой топологии ведущий контроллер связывается со всеми узлами по наиболее эффективному пути. Для улучшения передачи и синхронизации данных (если коммутатор совместим с IEEE 802.1AS) соединение осуществляется через внешний коммутатор.

Преимущества топологии будут доступны пользователю при правильной настройке сети с помощью коммутаторов, которые должны соответствовать стандарту IEEE 802.1Q для поддержки протокола Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), а также совместимы с IEEE 802.1AS для поддержки синхронизации TSN.

Преимущества кольцевой топологии: простота в установке; сетевая связь не прерывается при выхо-

де из строя одного кабеля Ethernet; добавление устройств в систему не влияет на производительность, а также на топологию линии.

Недостатки:

- затруднение поиска и устранение неполадок по сравнению с линейной топологией;
- наличие дополнительного переключателя по сравнению с линейной топологией.
- все устройства в сети должны иметь коммутаторы.

В топологии звезда ведущее устройство напрямую связывается с каждым устройством в сети через внешний коммутатор. Устройства могут индивидуально подключаться непосредственно к коммутатору и не подключаться друг к другу в линиях. Для синхронизации по технологии TSN в топологии звезда все устройства и коммутаторы в сети должны поддерживать стандарт IEEE 802.1AS. При наличии у каждого сетевого устройства встроенного коммутатора можно добавить резервное соединение с каждого устройства обратно на внешний коммутатор. В этом случае связь не прервется при неисправности кабеля Ethernet.

Плюсы топологии звезда:

- топология проста в установке, добавлении устройств и устранении неполадок;
- конечные точки могут быть интегрированы для непосредственного взаимодействия с хостом;
- добавление устройств в сеть влияет на производительность сети меньше, чем при использовании других топологий;
- сетевая связь с другими устройствами в сети не прерывается при отключении одного устройства от коммутатора;
- сетевая связь не прерывается из-за одиночного отказа Ethernet-кабеля при использовании резервирования для всех устройств.

Недостатки топологии звезда:

- требуется внешний коммутатор, чтобы хост мог напрямую взаимодействовать с каждым устройством;
- коммутатор подключает все устройства к хосту, поэтому эта топология имеет ограничение на расстояние, которое может быть допустимо между всеми устройствами.

Передовая/гибридная топология. Пользователь может использовать основные сетевые топологии совместно при создании распределенных измерительных систем на основе TSN, чтобы создать гибридную топологию, которая сочетает сильные стороны каждого типа соединения.

Гибрид дерева объединяет аспекты линейной и звездной топологий. Разные группы устройств объединяются в более мелкие топологии звезд, а звезды взаимодействуют с хостом по однолинейной топологии. Наличие разных звездных топологий позволяет

управлять ими как отдельными подсистемами и решать различные задачи.

Однако необходимо понимать, что создание гибридных топологий сопровождается добавлением в системы недостатков каждой топологии. Поэтому необходимо взвесить преимущества и недостатки каждого типа топологии, чтобы решить, какие из них могут отвечать конкретным потребностям системы.

Решения компании National Instruments для технологии TSN

Ethernet-шасси cDAQ-9185 и cDAQ-9189

Компания National Instruments в 2017 г. выпустила два новых Ethernet-шасси с несколькими слотами. В шасси cDAQ-9185 и cDAQ-9189 на основе новейших стандартов Ethernet реализована новая технология синхронизации по времени, развивающая усилия NI в области времячувствительных сетей TSN и надежного оборудования CompactDAQ для распределенных измерений. Технология TSN позволяет реализовать в cDAQ-9185 и cDAQ-9189 жесткую синхронизацию по времени, упрощая и улучшая масштабируемость синхронизируемых распределенных систем.



Рис. 4. Ethernet-шасси NI cDAQ-9185 и cDAQ-9189

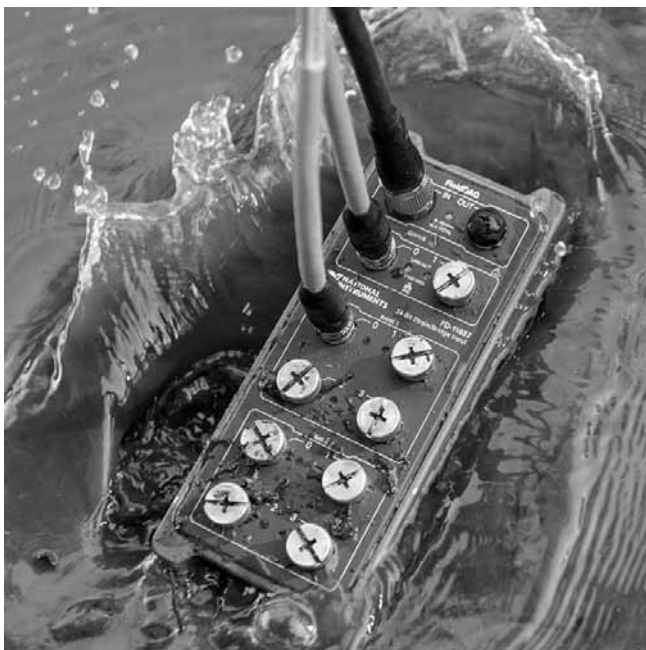


Рис. 5. Устройства для сбора данных FieldDAQ

Особенности и преимущества cDAQ-9185 и cDAQ-9189 (рис. 4).

- Точная временная синхронизация сети устраняет необходимость в длинных кабелях для физической синхронизации и обеспечивает возможность выполнять жестко синхронизированные измерения для точного анализа.

- Интегрированный сетевой коммутатор позволяет быстро настраивать и расширять распределенные приложения.

- Надежное функционирование в тяжелых условиях эксплуатации: в диапазоне температур $-40...70^{\circ}\text{C}$ при устойчивости к ударам до 50g и вибрациям до 5g.

- Драйвер NI-DAQmx автоматически синхронизирует несколько шасси, что позволяет абстрагироваться от операций синхронизации и упростить разработку программного обеспечения.

Устройство сбора данных FieldDAQ

Вторая группа решений от компании NI с поддержкой технологии TSN — устройства для сбора данных FieldDAQ (рис. 5). Эти защищенные устройства, поддерживающие распределенный и синхронизированный сбор данных, ориентированы на инженеров и исследователей, тестирующих оборудование в самых сложных условиях.

Потребность в полевом тестировании возникает при разработке электроники для транспортных средств, летательных аппаратов, промышленного оборудования. Обеспечение требуемой степени надежности и безопасности невозможно без всесторонней проверки их работы, сопряженной со сбором данных. С помощью NI FieldDAQ можно перейти от централизованных измерительных систем к распределенным, в которых оцифровка и обработка сигнала выполняются на начальном этапе, максимально близко к датчикам.

Преобразователи FieldDAQ защищены от воды и пыли, выдерживают атмосферные воздействия, сохраняют работоспособность при температуре $-40...85^{\circ}\text{C}$, не боятся ударов с силой до 100g и вибрацию до 10g. Степень защиты — IP67.

Для подключения FieldDAQ используется технология TSN, обеспечивающая строгую синхронизацию между компонентами распределенной сети без дополнительных соединений. Предусмотрено масштабирование и расширение системы включением блоков NI Industrial Controller, CompactDAQ и CompactRIO, а также сторонних компонентов с поддержкой TSN, включая приборы производства Bosch Rexroth, B&R Automation и Schneider Electric.

Функциональные модули безопасности серии C

При создании распределенных систем управления важны надежность и показатели применяемого оборудования. Действительно, измерительные устройства обычно располагаются как можно ближе к датчикам и должны функционировать в жестких и сложных условиях эксплуатации [3]. При этом часто возникает



Рис. 6. Модули безопасности серии С



необходимость соответствия оборудования стандартам безопасности IEC 61508.

В свете современных требований рынка промышленной автоматизации, предъявляемых к распределенным системам управления и их компонентам, компания NI разработала и выпустила новые функциональные модули безопасности для контроллеров cRIO, соответствующие уровню безопасности SIL3 (рис. 6):

— NI-9350 — модуль функциональной безопасности с цифровыми входами/выходами на 24 В, напрямую подключаемый к различным типам датчиков, а также конечным элементам;

— NI-9351 — комбинированный модуль, содержащий цифровой ввод/вывод на 24 В и аналоговый ввод 4...20 мА.

Модули имеют автономный логический процессор (ПЛИС), который может использоваться для управления функциями критических контуров и не зависит от состояния контроллера. Использование модуля на основе ПЛИС обеспечивает возможность создавать разнообразную логическую архитектуру системы управления, которая может использоваться в РСУ наряду с традиционными модулями и контроллерами. Использование ПЛИС позволяет достичь самых быстрых показателей по времени отклика. Модули имеют отдельный передний разъем для подачи питания. Таким образом, питание контроллера и питания модуля независимы друг от друга.

Программирование логики безопасности на каждом отдельном модуле осуществляется с помощью редактора функциональной безопасности — мощного и простого в использовании автономного инструмента, базирующегося на технологии графического программирования. Для программирования используется машина состояний, предусматривающая до восьми отдельных состояний на модуль.

Пользователь имеет возможность:

- использовать логику AND, OR и NOT вместе с программируемыми таймерами для организации переходов между различными состояниями;
- назначить до 24 цифровых переменных;
- контролировать аналоговые и цифровые входы/выходы, переменные;

— диагностировать работу модуля в реальном времени.

Модули безопасности сертифицированы в соответствии со стандартами IEC 61508, IEC 62061 и IEC 61511.

В модуль безопасности включена функция диагностики, конфигурируемая пользователем. Такой подход позволяет периодически проверять систему, обнаруживать и предотвращать различные неисправности, связанные с датчиками, кабелями и конечными элементами. Автоматическая самодиагностика постоянно проверяет работоспособность модуля и сброс электроснабжения.

Основные технические характеристики NI-9350/NI-9351

Число каналов цифрового ввода/вывода, ед.	8/8
Тип сигналов:	
цифрового ввода/вывода	Sinking/ Sourcing
аналогового ввода	N/A
Уровень напряжений, В	=24
Входной уровень напряжения «1», В	11...30
Входной уровень тока, «1», мА	1,1
Входной уровень напряжения/тока, «0», В	0...6
Выходной ток, мА	250 max
Время отклика, мкс	250 max
Тип разъема	под зажим
Защита:	
вход	±30 В
выход	защита от короткого замыкания
Изоляция, В	=60 (bank)
Диапазон температур, °С	-40...70

Преимущества комбинированной системы измерения и управления с модулями SIL3

Традиционные системы на базе ПЛК не всегда могут обеспечить возможности управления и синхронизации в сочетании с надежностью SIL3 модулей. Обычно они предлагают использовать разные типы контроллеров и модулей для решения различного типа задач. Решение от компании NI позволяет использовать одну и ту же платформу для создания высоконадежных приложений уровня SIL3 в сочетании с обычными модулями для измерения и контроля. Данное решение не влияет на уровень безопасности системы, так как модуль SIL3 имеет собственный специальный встроенный логический процессор на базе ПЛИС.

Для настройки и эффективного обслуживания комбинированной РСУ используется ПО SystemLink, позволяющее:

- удаленно конфигурировать ПО (устанавливать обновления, заменять прошивки устройств и т. д.);
- отслеживать статус устройств (состояние контроллеров, сигналы тревог, уведомления и т. д.);
- добавлять, удалять устройства из РСУ, добавлять интерфейсы к контроллерам;
- автоматически передавать данные в Web-интерфейсы и другое ПО.

Сочетание системы ввода/вывода измерительного класса и расширенного управления с безопасным вводом/выводом на платформе cRIO обеспечивает беспрецедентную производительность и удобство ин-

теграции при работе со всеми видами производственного оборудования для мониторинга и контроля ТП.

Список литературы

1. *Боутрайт Р.* Новые стандарты IEEE 802.1: единая сеть для всех типов данных // *Электронные компоненты.* 2010. №4.
2. *В. Олифер, Н. Олифер.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Питер. 2013. ISBN 978-5-496-00004-8.
3. *Федоров В.О., Самойлов М.В., Гиркин И.В., Шолохов А.В.* Создаем цифровое предприятие вместе // *Автоматизация в промышленности.* 2017. №12.

Самойлов Максим Владимирович — руководитель проектов National Instruments.
 Контактный телефон (916)072-09-48.
 E-mail: maxim.samoylov@ni.com

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПАЗ НА КОНТРОЛЛЕРАХ СЕРИИ БАЗИС

И.Н. Андриянов, С.В. Тучинский (АО «Экоресурс»)

Представлен обзор контроллеров серии БАЗИС производства АО «Экоресурс» (г. Воронеж), сертифицированных для применения в системах ПАЗ. Затронуты вопросы взаимодействия с системами верхнего уровня, РСУ, а также сервисного ПО и технической поддержки.

Ключевые слова: противоаварийная автоматическая защита, контроллеры, опасные производства.

Введение

Оснащение опасных производственных объектов системами противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) является одним из важных условий функционирования промышленных предприятий. Для некоторых же отраслей, таких как, например, химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая, где большинство объектов имеют ту или иную степень опасности, системы ПАЗ являются обязательным и законодательно регулируемым элементом.

В текущей непростой экономической ситуации новые автоматизированные системы вообще, и системы ПАЗ, в частности, должны одновременно обеспечивать и требуемый уровень надежности с высоким качеством функционирования, и экономическую эффективность по возможности с минимизацией стоимости. Кроме того, требуемые размер и функциональные возможности системы ПАЗ целиком и полностью зависят от специфики объекта и могут отличаться на несколько порядков, что сильно затрудняет возможность оптимального выбора и применения для всех задач одного типового решения «на все времена». С другой стороны, все программно-аппаратные средства ПАЗ должны быть разработаны и сертифицированы с учетом требований соответствующих нормативных документов, а также специальных условий применения (например, взрыво- и пожароопасные, возможные выбросы ядовитых газов и пр.). Таким образом, несмотря на разнообразие рынка средств автоматизации, описанная ситуация сильно ограничивает потенциальных покупателей в выборе.

Общая информация о контроллерах

Контроллеры, выпускаемые под зарегистрированным товарным знаком БАЗИС®, являются полностью российской разработкой — спроектированы и выпускаются АО «Экоресурс» (г. Воронеж). Они уже более 20 лет (начиная с 1997 г.) применяются при решении широкого спектра задач автоматизации на предприятиях различных отраслей промышленности.

Серия контроллеров БАЗИС подразделяется на несколько функциональных групп. Контроллеры ПАЗ составляют самую большую из них [1]. Группа представляет собой законченную линейку приборов: от локальных малоканальных устройств до мощных распределенных контроллеров с богатой функциональностью и возможностями по резервированию. Линейка контроллеров непрерывно развивается и совершенствуется. В семейство добавляются новые контроллеры, а существующие проходят модернизацию, в результате которой учитываются возникшие потребности эксплуатирующих и обслуживающих организаций.

Контроллеры ПАЗ, как и другие контроллеры серии БАЗИС, оснащаются различными входными модулями с универсальными или типизированными каналами (при необходимости со встроенными ба- рьерами искрозащиты и питанием датчиков), что позволяет оптимальным образом выбрать необходимую аппаратную конфигурацию. Развитая программная логика дает возможность реализовывать различные алгоритмы управления, а выходные модули, оснащенные мощными реле (~220 В, 6 А), — подключать