



Сергей Воробьев

TSN – синхронизируемые по времени сети

Часть 2

Данная статья является продолжением материала, опубликованного в журнале «СТА» 1/2020, посвящённого обзору новой технологии TSN. Во второй части статьи приведён обзор механизмов планирования и формирования профиля передаваемого трафика.

ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ СЛОТОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ НЕТИПОВОГО ТРАФИКА

В прикладных областях, таких как автоматизация процессов, часто используются периодические процессы управления, которые приводят к передаче большого объёма данных на основе различного рода событий, например, когда необходимо срочно передать информацию об изменении состояния устройств или произошло превышение определённых границ измеренных данных. В таких случаях времена передачи данных и величины временных слотов не могут быть точно предсказаны. Тем не менее чётко определённые границы задержек необходимо соблюдать, чтобы гарантировать, что процессы управления действительно на текущий момент времени и могут выполняться на основе получаемой информации.

Поскольку TAS-планировщик (Time-Aware Scheduler) жёстко зависит от установленных слотов времени передачи, этот механизм не совсем подходит для трафика, который может изменяться во времени. Фактически, если одновременно меняется состав трафика и возрастает количество данных с каким-либо приоритетом, то эффективность системы передачи данных может быть существенно снижена. Для решения этой задачи в дополнение к TAS-планировщику среди механизмов TSN предлагаются дополни-

тельные инструменты для работы с трафиком, так называемые формирователи профиля передачи трафика (Traffic Shapers). Данный инструмент позволяет резервировать полосу пропускания, которая необходима для чувствительных ко времени передач данных в пределах определённого интервала (например, 250–300 мкс). Передаваемый трафик преобразуется в тип и форму, которые гарантируют достижение необходимых пределов задержки для критичных ко времени передач данных. Однако одним из эффектов, появляющихся при использовании формирователя профиля передачи трафика, будет более низкая точность в отношении достижения гарантированных уровней задержки по сравнению с использованием TAS-планировщика с чётко установленными временами для циклов и слотов передачи.

В настоящий момент существуют три различных механизма формирования профиля передачи трафика, которые в дальнейшем могут быть использованы в TSN-сетях:

- формирователь профиля передачи трафика на основе кредитов (Credit-Based Shaper – CBS; IEEE 802.1Qav);
- циклическая организация очереди и пересылка (Cyclic Queuing and Forwarding – CQF; IEEE P802.1Qch);
- асинхронное формирование профиля передачи трафика (Asynchronous Traffic Shaping – ATS; IEEE P802.1Qcr).

Формирователь профиля передачи трафика на основе кредитов – CBS был разработан в 2009 году рабочей группой IEEE 802.1 для передачи аудио/видео-трафика. Основная задача CBS – обеспечение максимальной требуемой полосы пропускания для передачи аудио/видеоданных во временной последовательности без заметного прерывания общего трафика данных, который одновременно передаётся по сети. Чтобы достичь этого, CBS назначает некую величину (credit) потокам данных с зарезервированной полосой пропускания. Начальное значение для величины – 0.

Пока величина credit находится в положительном диапазоне (≥ 0), фреймы данных с зарезервированной полосой пропускания будут передаваться с более высоким приоритетом. Например, рассмотрим передачу первых фреймов AVB (Audio Video Bridging – передача аудио- и видеопотоков, рис. 1). С каждой приоритетной передачей величина credit уменьшается до тех пор, пока в конечном итоге не достигнет отрицательного диапазона. Пока credit находится в отрицательном диапазоне, фреймы данных с зарезервированной полосой пропускания не передаются. При этом будут обработаны фреймы Best Effort (трафик с негарантированным временем доставки), накопленные к этому моменту в очереди на передачу. Если передача фреймов данных с заре-

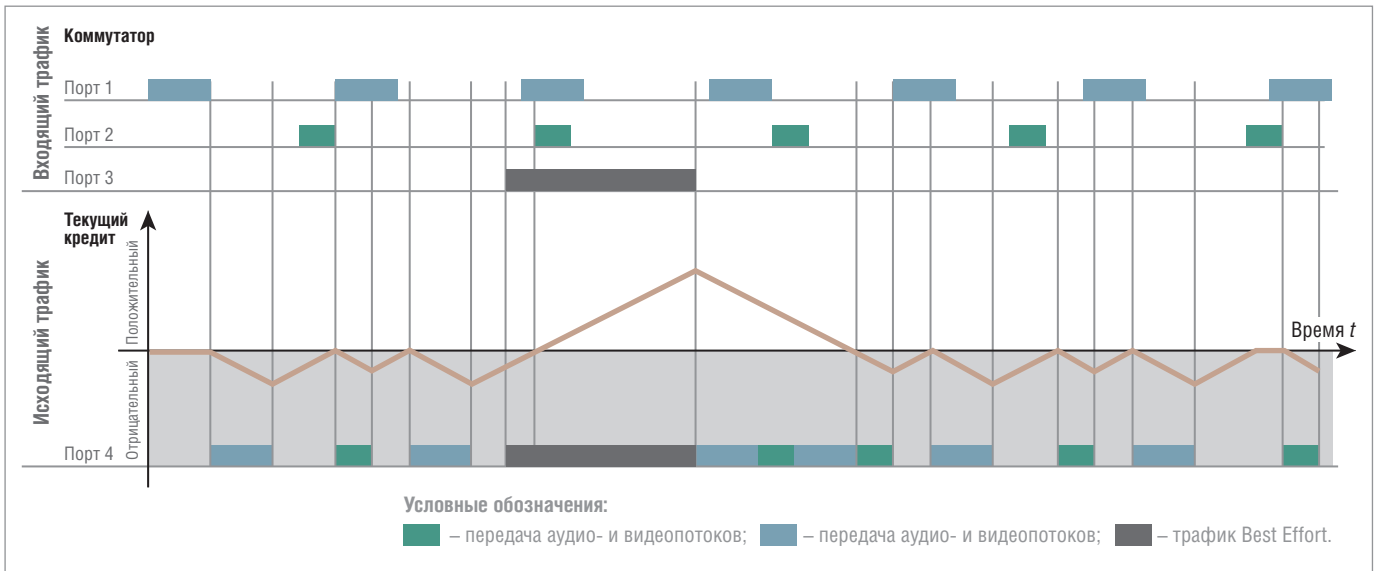


Рис. 1. Принцип работы формирователя профиля передачи трафика на основе кредитов (Credit-Based Shaper – CBS; IEEE 802.1Qav)

зервированной полосой пропускания задерживается из-за этой передачи, величина credit соответствующего потока данных увеличивается. Соответственно фреймы приоритетных потоков данных будут передаваться непрерывно после передачи фреймов трафика Best Effort, тем самым такой механизм предотвращает дополнительные задержки при передаче критичных ко времени данных.

Благодаря подобным механизмам приоритизации CBS-формирователь хорошо подходит для передачи аудио/видеоданных, например, при решении задач видеонаблюдения в условиях передачи данных производственных процессов. Указанный механизм является оптимальным при использовании совместно с оконечными устройствами, обладающими буферами данных небольшого объёма. При этом стандартом IEEE 802.1Qav определены максимальные сквозные задержки, они могут варьироваться в пределах от 2 до 50 мс для

участка сети из семи переходов (hops). На данном этапе развития подобные задержки не могут быть соблюдены для каждой топологии сети и каждого шаблона передачи данных. Этот факт не позволяет использовать CBS-формирователь в задачах, где требуются фиксированные величины максимальных сквозных задержек трафика. По этой причине в IEEE разрабатываются два дополнительных профиля формирователей трафика, которые могут гарантировать сквозные задержки без ограничения топологии сети и шаблонов связи.

Одним из них является метод циклической организации очереди и пересылки – CQF, в котором используются механизмы планирования с учётом времени. Как показано на рис. 2, основная концепция данного метода пересылки состоит в том, чтобы собирать фреймы данных с зарезервированной полосой пропускания, полученные в течение цикла, и передавать их как приоритет-

ные в начале следующего цикла. Таким образом, максимальная сквозная задержка может быть точно определена по количеству переходов на пути передачи и сконфигурированному времени цикла передачи. Благодаря этому подходу CQF-формирователь хорошо подходит для передачи данных, имеющих спорадический характер, например, при решении задач автоматизации технологических процессов.

Фактически удобство использования данного механизма заключается в том, что не нужно настраивать временные интервалы в цикле передачи. А недостатком является то, что вы получаете задержки, равные времени передачи полного цикла. Но если точно известно количество переходов канала связи и длина цикла, вычислить временное окно прибытия трафика достаточно просто: необходимо умножить количество переходов между коммутаторами вдоль пути передачи на время цикла. Однако стоит

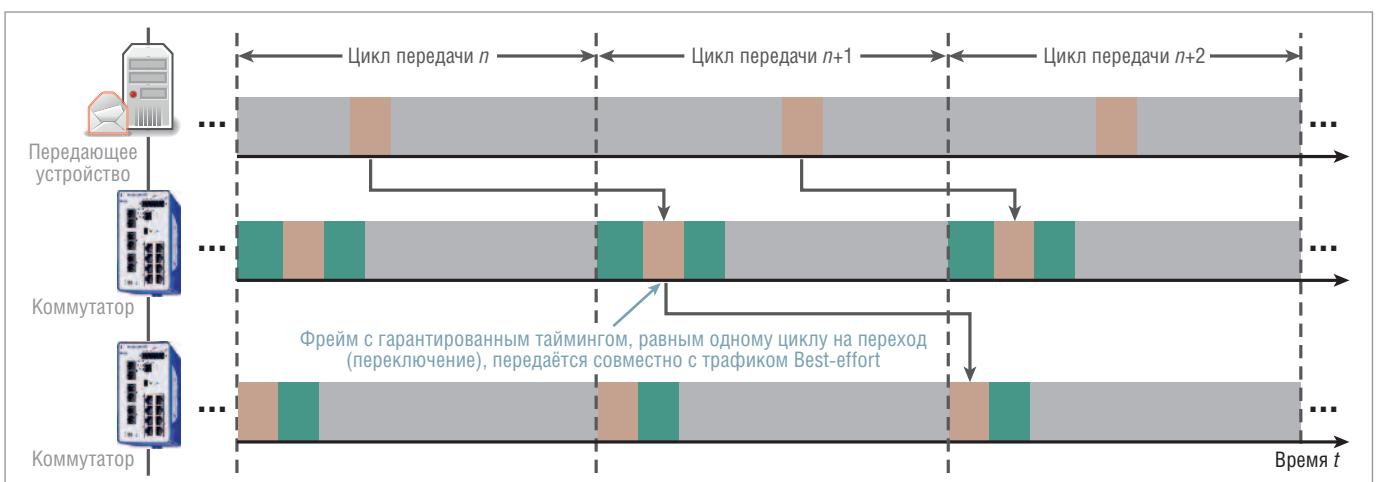


Рис. 2. Принцип работы формирователя профиля передачи на основе циклической организации очереди и пересылки (Cyclic Queuing and Forwarding – CQF; IEEE P802.1Qch)

отметить, что результатом будет временной интервал, а не конкретное время, это и будет худшая временная задержка. Если система может поддерживать операции с задержкой, то IEEE 802.1Qch является отличным способом использовать TSN без необходимости создания сложной конфигурации.

Следующий тип – это асинхронный формирователь профиля передачи трафика (ATS). Он отличается от циклической организации очереди и пересылки тем, что не требует механизма синхронизации времени. Соответственно, асинхронное формирование трафика будет хорошо подходить для приоритетной передачи пакетов данных, которые необходимы для самой синхронизации времени.

Процесс стандартизации CQF- и ATS-формирователей в настоящее время находится на ранней стадии разработки. По этой причине точные сроки реализации рабочих версий ещё не определены окончательно. Однако уже очевидно, что из-за сходства с механизмами, используемыми TAS-планировщиком с задержкой по времени, CQF-организация очереди потребует от участников сети общего представления о времени и, следовательно, механизма точной синхронизации времени.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНИРОВЩИКОВ И ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ПРОФИЛЯ ТРАФИКА

Использование различных формирователей профилей трафика всегда связано с исключительным присвоением одного из восьми CoS-приоритетов (Class of Service – класс обслуживания) от VLAN-тега конкретного алгоритма формирования/планирования. Если устройство поддерживает TAS-планировщик в соответствии с IEEE 802.1Qbv, CQF-формирователь трафика с IEEE 802.1Qch-2017 и IEEE 802.1Q, то приоритеты CoS могут быть использованы при работе всех трёх механизмов. Так, например, приоритеты 7, 4, 3, 2, 1 и 0 могут быть отнесены к передаче трафика, приоритет 5 может быть назначен на циклическую очередь, а приоритет 6 для TAS-планировщика, для осуществления связи между приложениями, предъявляющими жёсткие требования по времени передачи.

Таким образом, различные классы трафика могут сосуществовать в одной и той же сети. Необходимое условие для этого – поддержка работы с VLAN-тегами в соответствии со стандартом IEEE 802.1Q и поддержка возможности

планирования и формирования механизмов передачи трафика, необходимых для обработки трафика данных.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАФИКА НА РЕЖИМЫ ПЕРЕДАЧИ

В рамках стандарта IEEE 802.1 были разработаны дополнительные механизмы TSN, которые позволяют фильтровать фреймы данных, – IEEE P802.1Qci. Этот стандарт определяет процедуры и управляемые объекты для выполнения подсчёта фреймов, фильтрации, политик и выбора класса обслуживания фрейма на основе параметров конкретного потока данных и синхронизированного циклического расписания. Описанные функции контроля и фильтрации включают в себя обнаружение и смягчение прерывистых передач другими системами в сети, что повышает надёжность этой сети. Также можно использовать уже существующие механизмы обеспечения безопасности канального уровня, например MACsec (IEEE 802.1AE). Таким образом, можно исключить множество сценариев с влиянием неправильно сконфигурированных участников сети.

РАБОТА TSN ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕХАНИЗМОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Отказ компонентов сети может также вызвать дополнительные прерывания в передаче данных. Для того чтобы предотвратить подобную потерю фреймов, IEEE в настоящее время разраба-

тывает протокол резервирования IEEE P802.1CB (репликация и удаление фреймов для повышения надёжности), который использует механизмы, аналогичные уже применяемым в протоколах HSR (High-availability Seamless Redundancy – протокол резервирования кольцевого соединения) и PRP (Parallel Redundancy Protocol – протокол параллельного резервирования). При этом одно из основных требований к стандарту состоит в том, чтобы сохранить совместимость с HSR и PRP, которые указаны в МЭК 62439-3. IEEE P802.1CB включает в себя статические процедуры резервирования, в которых избыточные пути передачи постоянно активны. В случае выхода из строя одного из путей передачи можно избежать переключения с одного пути на другой (рис. 3).

Для обеспечения резервирования предлагается использование нескольких путей передачи данных с использованием дополнительных альтернативных путей. Когда данные поступают в пункт назначения, первый резервированный пакет передаётся в направлении прикладного уровня, его дубликаты, полученные после этого, отбрасываются.

Кроме того, IEEE P802.1cb не ограничивается двумя резервированными путями, как в случае с PRP и HSR. Для того чтобы уменьшить вероятность потери пакетов, также возможно использовать множество избыточных путей передачи. Однако в этом случае необходимо убедиться, что все пути передачи данных поддерживают необходимую TSN-функциональность.

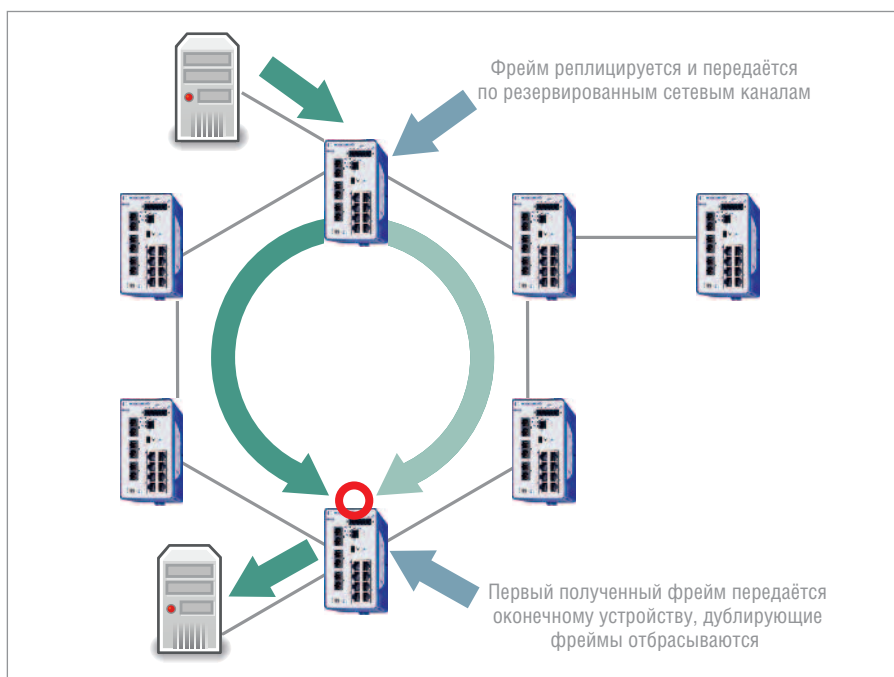
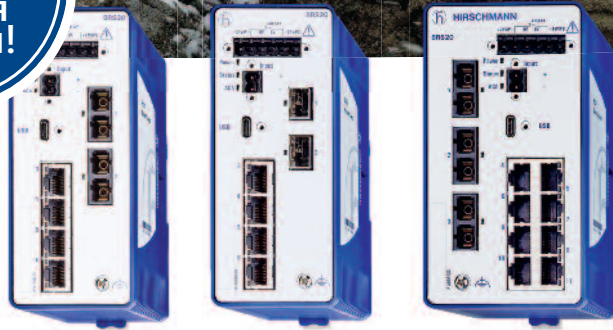


Рис. 3. Принцип работы протокола бесшовного резервирования IEEE P802.1CB

Достигая возможного,
создавая возможности

ВОВСАТ
Новая
серия!



Управляемые коммутаторы от Hirschmann

Поддержка TSN на всех портах (синхронизируемых по времени сетей)

Расширенные функции безопасности

Uplink-порты 4 × 2,5 Гбит/с

Аппаратная синхронизация времени (IEEE 1588 v2 PTP)

Протоколы резервирования сети (MRP, RSTP, LACP)

Операционная система HiOS

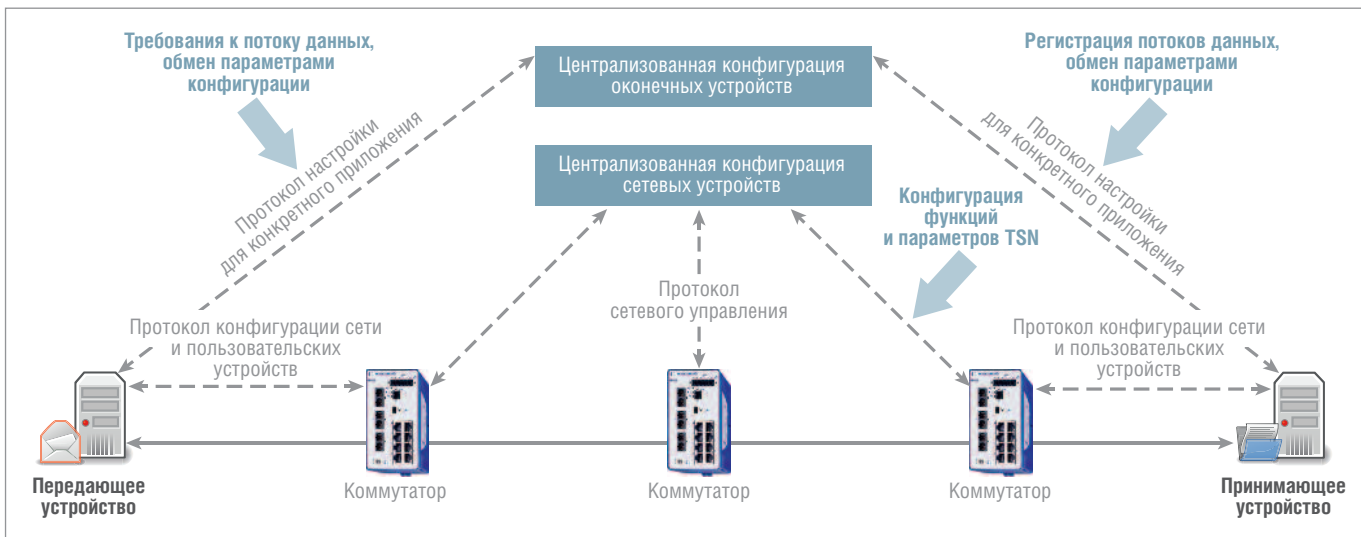


Рис. 4а. Вариант централизованной конфигурации TSN. Оконечные устройства обмениваются данными напрямую с сервером, задающим конфигурацию



Рис. 4б. Вариант децентрализованной конфигурации TSN. Конфигурация механизмов TSN определяется на основе локальной информации, которая присутствует в каждом устройстве

Конфигурация всей сети TSN

TSN представляет собой ряд стандартов и механизмов. Для их совместной реализации в сети необходимо иметь возможность задания параметров независимо от производителя. Механизмы TSN, используемые в сети, такие как TAS-планировщик, должны быть параметрированы и настроены, в том числе по таким аспектам, как время цикла, приоритеты CoS и временные интервалы для передачи данных в режиме реального времени.

Для настройки TSN IEEE 802 в настоящее время разрабатывает три различные модели (IEEE 802.1Qcc): централизованная модель, децентрализованная

модель и гибридный подход. Общим для всех трёх подходов является то, что для обеспечения управляемости конфигурация должна быть в значительной степени автоматизирована. Одним из основных требований является возможность оконечных устройств выставлять свои параметры связи, а также принимать настройки, соответствующие общей сетевой концепции.

Фундаментальный процесс конфигурации сети TSN заключается в следующем: механизмы TSN, поддерживаемые в сети, идентифицированы и активизируются по мере необходимости. Далее, передающее устройство (Talker) сообщает информацию о потоке данных, который оно хочет передать. Эта ин-

формация включает в себя такие характеристики, как целевой MAC-адрес и приоритет CoS. Конечное устройство (Listener) должно зарегистрироваться и получить пакеты данных, которые связаны с потоком данных с помощью объявленной информации.

Подходы конфигурации отличаются друг от друга в части передачи и обработки параметров. В централизованном подходе Talker и Listener осуществляют прямую связь с единой конфигурацией сети, как показано на рис. 4а. Конфигурация содержит в себе данные о временном интервале для потоков на основе информации, которая присутствует в топологии сети. Для соединения между собой Talker и Listener, а так-

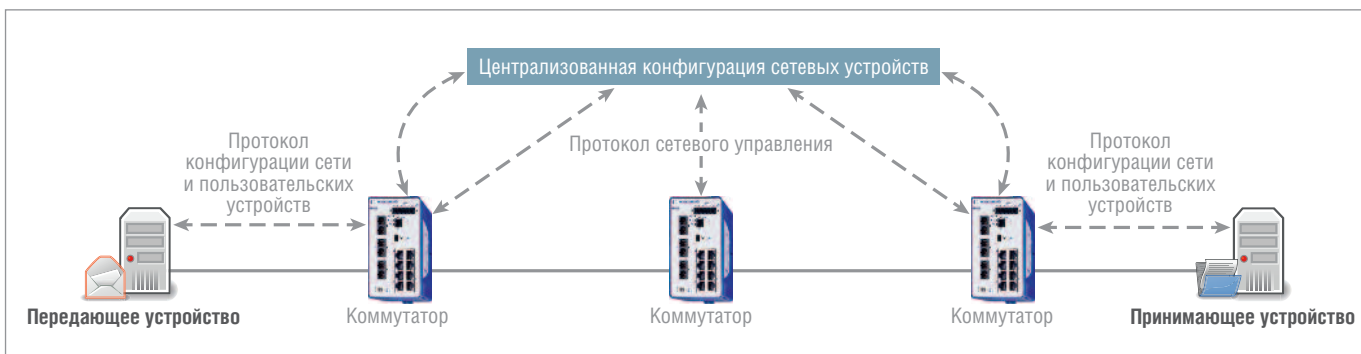


Рис. 4в. Вариант гибридной конфигурации TSN. Оконечным устройствам требуется поддерживать только один протокол конфигурации, но сеть может управляться как централизованно, так и децентрализованно

же для централизованного формирования конфигурации могут быть использованы, например, такие протоколы, как OPC UA.

Конфигурация коммутаторов может быть им передана при помощи существующих протоколов управления устройствами, таких как SNMP (Simple Network Management Protocol).

В децентрализованном подходе, в отличие от централизованного (рис. 4б), общая конфигурация механизмов TSN определяется на основе локальной информации, которая присутствует в каждом устройстве.

Гибридный подход представляет собой объединение централизованного и децентрализованного подходов. Как и в случае децентрализованного подхода, конечные устройства объявляют свои требования по децентрализованному рабочему протоколу. Однако фактическая конфигурация TSN идёт централизованно (рис. 4в). Преимущество этого метода состоит в том, что оконечным устройствам требуется поддерживать только один протокол конфигурации, но сеть может управляться как централизованно, так и децентрализованно.

Несмотря на то что все три механизма конфигурации, описанные здесь, в настоящее время всё ещё находятся в процессе стандартизации, сегодня уже возможно настроить доступные механизмы TSN через стандартизированные интерфейсы, такие как SNMP.

Это позволяет вручную спроектировать время цикла и временные интервалы планировщика с поддержкой времени с помощью инструмента управления сетью, например, такого как Hirschmann Industrial HiVision (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

TSN – это технологии, которые позволят обеспечить Ethernet-сетям, базирющимся на стандартах IEEE 802.1 и IEEE 802.3, минимальный и прогнозируемый уровень задержки передачи пакета данных. С учётом того, что в основе TSN лежит группа стандартов IEEE, можно использовать данные технологии в самых различных областях, в том числе в уже существующих сетях, обеспечивая требования по задержкам передачи, джиттеру и отказоустойчивости. Однако процесс стандартизации в области TSN ещё окончательно не завершён, и ожидается, что это займёт ещё несколько лет. Скорее всего, появятся дополнительные инструментари. Но уже сейчас такие механизмы, как TAS-планировщик, ин-

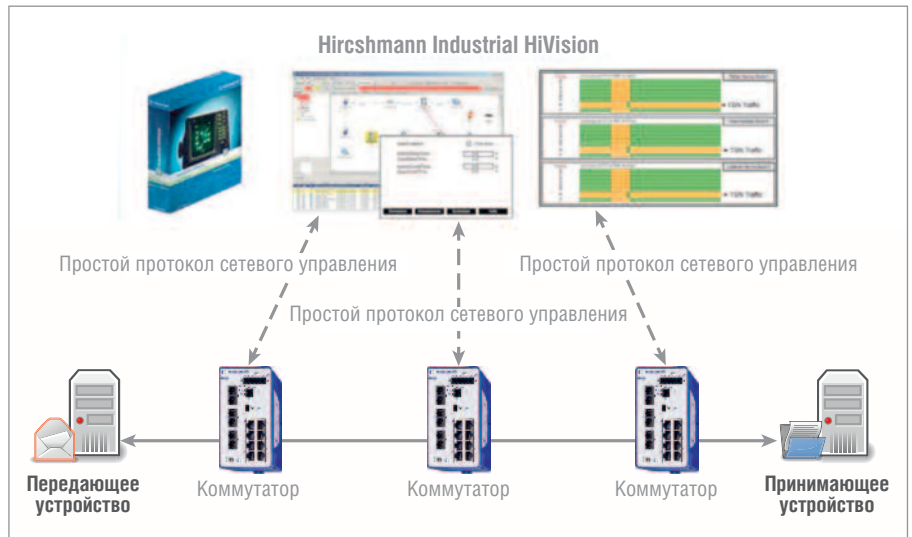


Рис. 5. ПО для централизованного управления сетью и задания параметров TSN, Hirschmann Industrial HiVision

тегрированы в серийные промышленные коммутаторы, и их преимущества можно использовать в имеющихся проектах. При этом благодаря соответствиям стандартов IEEE 802 обеспечивается обратная совместимость сетей с технологией TSN. Установленная сейчас сеть TSN будет в дальнейшем поддерживаться всеми новыми стандартами и тех-

нологиями, которые будут разработаны, поэтому TSN больше не является технологией будущего, это технология настоящего. Её время пришло. ●

**Автор – сотрудник
фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru**

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Надежные контрольно-измерительные системы с длительным сроком доступности

- Помехоустойчивые платы аналогового и цифрового ввода/вывода PCI, PCI Express, CompactPCI, ISA
- Модули управления движением
- Коммуникационные платы для локальных сетей с интерфейсами RS-232, RS-422, RS-485
- Интеллектуальные измерительные Ethernet-системы со степенью защиты IP65

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР
(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU