

TSN:

конвергентные сети для улучшения работы IIoT

Чтобы получить максимальную отдачу от внедрения концепции индустриального «Интернета вещей», необходима слаженная работа информационных и технологических сетей предприятия, управляющих производственными процессами. Облегчить реализацию этого требования могут сети с синхронизацией по времени.

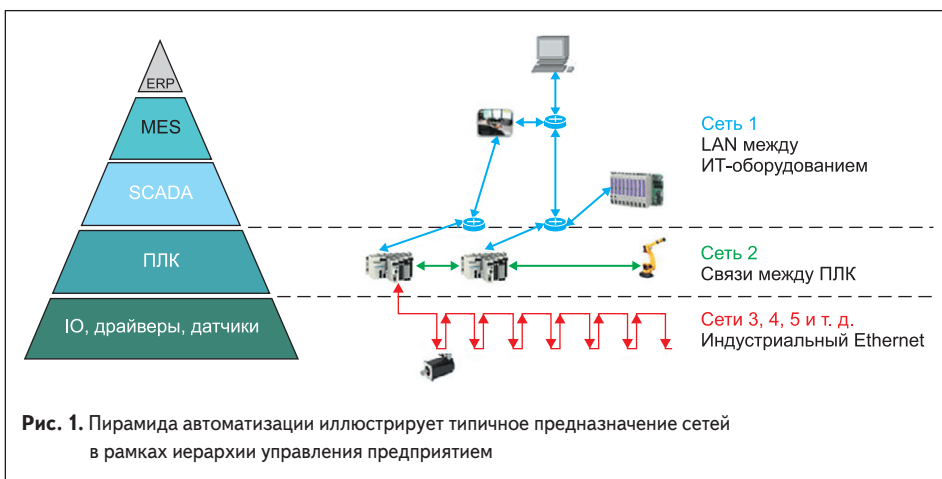
Адам Тейлор (Adam Taylor)
Майкл Запке (Michael Zapke)
Перевод: Владимир Рентюк

Внедрение индустриального «Интернета вещей» (Industrial Internet of Things, IIoT), безусловно, порождает определенную долю проблем, одной из которых является конвергенция сетей чисто информационных технологий (Information Technology, ИТ) и сетей операционных технологий (Operational Technology, ОТ), управляющих технологическими процессами на предприятии. В настоящее время эти сети зачастую существуют сами по себе и функционируют раздельно. При этом выделенные шлюзы обеспечивают им ограниченную связь в каждом направлении. Однако для использования киберфизических систем¹ они должны тесно контактировать, работать в тандеме, как единое целое.

Как известно, текущая архитектура управления средствами промышленной автоматизации является иерархической. Здесь приложения, ответственные за планирование ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP²), находятся на самом высоком уровне и обеспечивают интегрированное управление и автоматизацию бизнес-процессов, вплоть до автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами (Manufacturing Execution System,

MES³), которые контролируют непосредственно сам производственный процесс. Здесь задачи автоматизации выполняют программируемые логические контроллеры (ПЛК). Для этого они используют подключенные в сеть устройства, такие как электроприводы, различные датчики или устройства входа/выхода (I/O), которые находятся на самом низком уровне в иерархии. Эти уровни в целом часто называют «Пирамидой автоматизации» (рис. 1), представляющей все множество устройств нижних уровней и высокопроизводительные компьютерные системы в ее верхней части. Сами слои или, как их еще называют, уровни пирамиды иллюстрируют ступени в рамках этой сложной иерархии.

Различные уровни в рассматриваемой пирамиде имеют и разные требования к сети. В то время как более высоким уровням требуется более высокая пропускная способность и гибкие сетевые топологии, нижние уровни нуждаются в детерминированном поведении и возможности передачи выборок данных в постоянные интервалы времени с низкой вариацией времени задержки передаваемых пакетов данных. Это и приводит к созданию нескольких отдельных сетей, которые работают бок о бок.



¹ Киберфизическая система — это специализированная вычислительная система, имеющая физические средства взаимодействия, например электрические, химические, оптические, механические, биологические и т. п., с объектом контроля и управления.

² ERP подразумевает планирование и управление ресурсами предприятия на уровне производственных процессов, например полное планирование ресурсов, управления и оптимизации, начиная с поступления заказа и заканчивая поставкой продукции.

³ MES — класс автоматизированных систем, предназначенных для контроля и оптимизации производственной деятельности предприятий. В иерархии управления MES занимают промежуточный уровень между ERP-системами и АСУ ТП.

Рассматриваемая в данной статье конвергентная сеть будет решать сразу несколько проблем, которые в настоящее время присутствуют в имеющейся на текущий момент разрозненной сетевой архитектуре:

- Достижение большей прозрачности: все данные из всех ступеней в иерархии могут быть доступны для каждого элемента на предприятии.
- Сокращение и упрощение сетевого планирования: более гибкие топологии позволяют упростить внесение изменений.
- Снижение капитальных затрат: сокращение числа кабелей; уменьшение количества шлюзов между сетями с различными протоколами.
- Уменьшение эксплуатационных расходов: сокращение затрат на обслуживание и администрирование сети.
- Более широкая полоса пропускания: благодаря устранению ограничения на скорость передачи данных сети.
- Оптимизация для M2M (межмашинного взаимодействия): сеть уже готова для взаимодействия между машинами с общей моделью данных, например OPC UA⁴, в рамках всего предприятия.

Эта конвергенция обеспечивается технологией Time Sensitive Networking (TSN), подразумевающей в своей основе времячувствительную сеть. TSN представляет собой развитие стандартов группы IEEE 802.1 и обеспечивает очень строгую синхронизацию и детерминированную связь по Ethernet между участниками распределенной сети без каких-либо дополнительных соединений, сохраняя тем самым в рамках одной и той же сети максимальные преимущества в части коммуникации. С этой целью TSN вводит разные классы трафика, которые используют одну и ту же линию связи. Конфигурация сети TSN резервирует ресурсы для потоков с детерминированными временными характеристиками. Таким образом, она позволяет реализовать одну общую сеть, поддерживающую несколько стандартов связи.

Такая сеть, по сравнению со стандартным Ethernet, открывает широкие возможности для целого ряда улучшений. Как известно, стандартная связь Ethernet по своей природе не зависит от времени. Здесь данные распределяются по всей ширине полосы пропускания канала связи пакетами, поставленными в очередь для их передачи. TSN согласовывает информацию о времени с запланированным трафиком при настроенных временных смещениях, организовывая передачу циклическими интервалами. Это реализуется расписанием (временным графиком) передач, сформированным контроллером сетевой конфигурации. Дальнейшие функции TSN включают фильтрацию и контроль объемов трафика в сети для потоков TSN, бесшовное сокращение (избыточность)⁵ и поддержку циклической передачи данных, а также обеспечивают приоритетное прерывание обслуживания при поступлении пакетов с более высоким назначенным приоритетом.

Как уже было сказано, технология TSN определяется набором стандартов IEEE 802.1, которые определяют ее имплементацию (табл.).

Таблица. Стандарты IEEE TSN

Стандарты IEEE и проекты	Наименование	Преимущества для пользователя
IEEE 802.1AS (переход на P802.1ASrev)	Network Time Synchronization (Тактирование и синхронизация, протокол точного времени)	Все узлы сети обслуживаются одновременно.
IEEE 802.1Qbv	Scheduled Traffic (Формирование временных меток)	Наличие графика раздачи Ethernet-кадров устраняет коллизии.
IEEE 802.1Qci	Filtering & Policing (Политика входа на основе временных меток)	Удаляет перегруженность и помехи в сети (повышение безопасности).
P802.1CB	Seamless Reluctance (Бесшовное сокращение, копирование и ликвидация кадра для повышения надежности)	Переключение между протоколами без потерь данных.
P802.1Qcc	Stream Reservation (Расширенный протокол резервирования потока)	Предоставление маршрута согласно правилам протоколов IEEE.
IEEE 802.1Qbu и IEEE 802.3br	Frame Pre-emption (Приоритетное прерывание кадра)	Максимальная полоса пропускания канала в реальном времени без компромиссов.

По состоянию на сентябрь 2017 г. четыре из этих стандартов приняты, а остальные по-прежнему находятся на различных этапах реализации в группах по разработке технического задания и в рабочих группах.

Протоколы указанных в таблице стандартов реализуются через физический уровень Ethernet (IEEE 802.3 Physical layer) и поддерживают звездообразные, цепные, кольцевые и смешанные топологии. При этом они не ограничиваются конкретной скоростью передачи данных. Индустриальные приложения будут использоваться в основном скоростью передачи данных 100 Мбит/с и 1 Гбит/с. Таким образом, TSN обеспечивает конвергенцию между ИТ- и ОТ-сетями. Межсетевая конвергенция, как уже было сказано выше, сокращает общие затраты на реализацию сети, что значительно снижает также стоимость ее использования и текущего обслуживания.

Имплементация технологии TSN

Для правильной реализации всех преимуществ технологии TSN требуется решение, которое может обеспечить малую задержку и детерминированный ответ в конечных точках сети и мостах TSN. Эту задачу могут решать многие приложения. Как правило, применяется метод комбинирования процессора и программируемой логики архитектуры FPGA (Field Programmable Gate Array), которые подключены по высокоскоростному каналу, например PCIe. Однако такое двухчиповое решение не только увеличивает занимаемое пространство на плате, но и повышает энергопотребление, увеличивает время разработки и стоимость. Оно также не позволяет выполнить разработку целостного, полностью интегрированного решения. Кроме того, разделение решения между двумя устройствами увеличивает сложность его тестирования и конечной верификации.

Чтобы избежать этих проблем, разработчики таких сетей для реализации своих решений выбирают альтернативные варианты, а именно — использование FPGA Zynq-7000 и Zynq UltraScale+ MPSoC, которые представляют собой полностью программируемые системы на кристалле (SoC). Эти устройства объединяют в себе систему обработки (Processing System, PS) и программируемую логику (Programmable Logic, PL) и предназначены для реализации приложений сбора, управления и обработки данных. Они обеспечивают:

- возможность взаимодействия и управления широким спектром датчиков, исполнительных механизмов, двигателей и других интерфейсов конкретного приложения;
- возможность реализации комплексной обработки на границе сети, например машинного обучения, слияние данных датчиков (объединения данных с множества датчиков с целью снижения неопределенности по сравнению с индивидуальным использованием данных каждого датчика), обработку изображений и аналитику в реальном времени;
- масштабируемость в отношении числа сетевых интерфейсов;
- обеспечение безопасности и способности устройства и системы быть надежными с точки зрения обеспечения передачи и обмена информацией, защиты от несанкционированного доступа и достоверности.

Устройства Zynq также поддерживают любое взаимодействие и возможность объединения PS и PL.

Если посмотреть более пристально на SoC, предлагаемые компанией Xilinx, то они включают в себя подсистему TSN IG/100M LogiCORE IP, которая состоит из логики FPGA для MAC, мост и конечную точку TSN. Решение TSN с выделенными логическими ресурсами гарантирует, что временное поведение такой системы будет строго детерминировано.

Программное обеспечение, которое работает в области PS, предназначено для сетевой синхронизации, инициализации и взаимодействия с контроллерами сетевой конфигурации для целей резервирования потока. Программное обеспечение предназначено для работы на PetaLinux (дистрибутив Linux, поддерживаемый компанией Xilinx) и будет опубликовано для сборок Yocto⁶.

LogiCORE IP также имеет дополнительный интегрированный коммутатор уровня 2 (L2-switch) с синхронизацией по времени, который без выделения другого порта на внешнем коммутаторе TSN создает цепочку или топологию

⁴ OPC UA — спецификация, определяющая передачу данных в промышленных сетях и взаимодействие устройств в них.

⁵ Бесшовное сокращение — см. EC 62439-3-2016 Industrial communication networks - High availability automation networks — Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR) - Edition 3.0 («Промышленные сети связи. Высоконадежные сети автоматизации. Часть 3: Параллельный протокол резервирования (PRP)» и «Высокая доступность — бесшовное сокращение (HSR). Выпуск 3.0»), действует в РФ.

⁶ Yocto Project — это совместный проект с открытым исходным кодом, используемый для разработки шаблонов, инструментов и методов для создания специальных дистрибутивов Linux для встраиваемых систем на базе различных аппаратных архитектур. Само же слово «yocto» означает наименьшую единицу измерения в системе СИ, равную 10⁻²⁴.

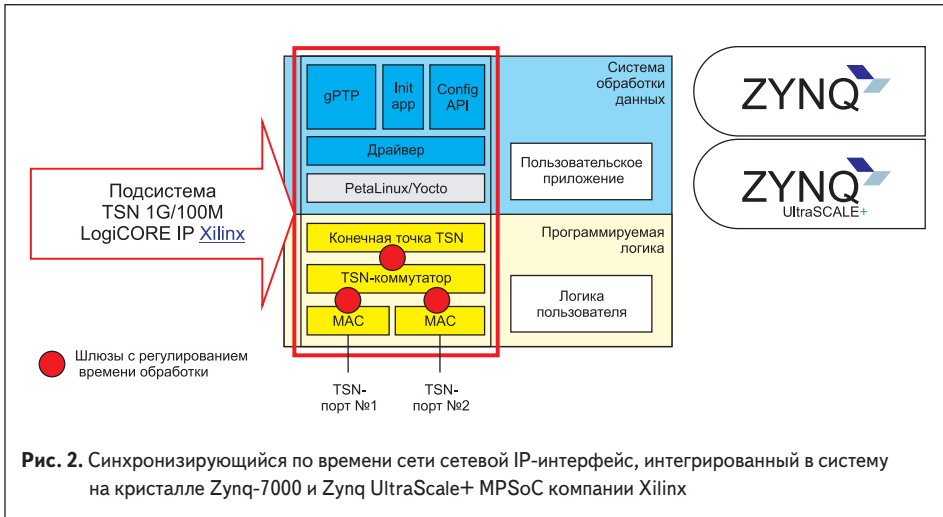


Рис. 2. Синхронизирующийся по времени сети сетевой IP-интерфейс, интегрированный в систему на кристалле Zynq-7000 и Zynq UltraScale+ MPSoC компании Xilinx

дерева, требуемую во многих промышленных приложениях. Для бесшовной избыточности (протокол P802.1CB) также может потребоваться еще и дополнительный порт. Перед синтезом, с полным IP (рис. 2), пользователь может свободно конфигурировать систему исходя из того, должен ли быть интегрирован коммутатор или нет.

После завершения разработки ядро TSN IP обеспечивает отдельные порты потоковой передачи AXI для каждого класса трафика, при этом поддерживаются плановый трафик, зарезервированный трафик и привилегиро-

ванный трафик с максимальной поддержкой. Потоковые порты AXI подключаются к инфраструктуре, которая представлена в среде проектирования Vivado Design Suite от Xilinx. А для конфигурации блоков TSN используется интерфейс AXI Lite.

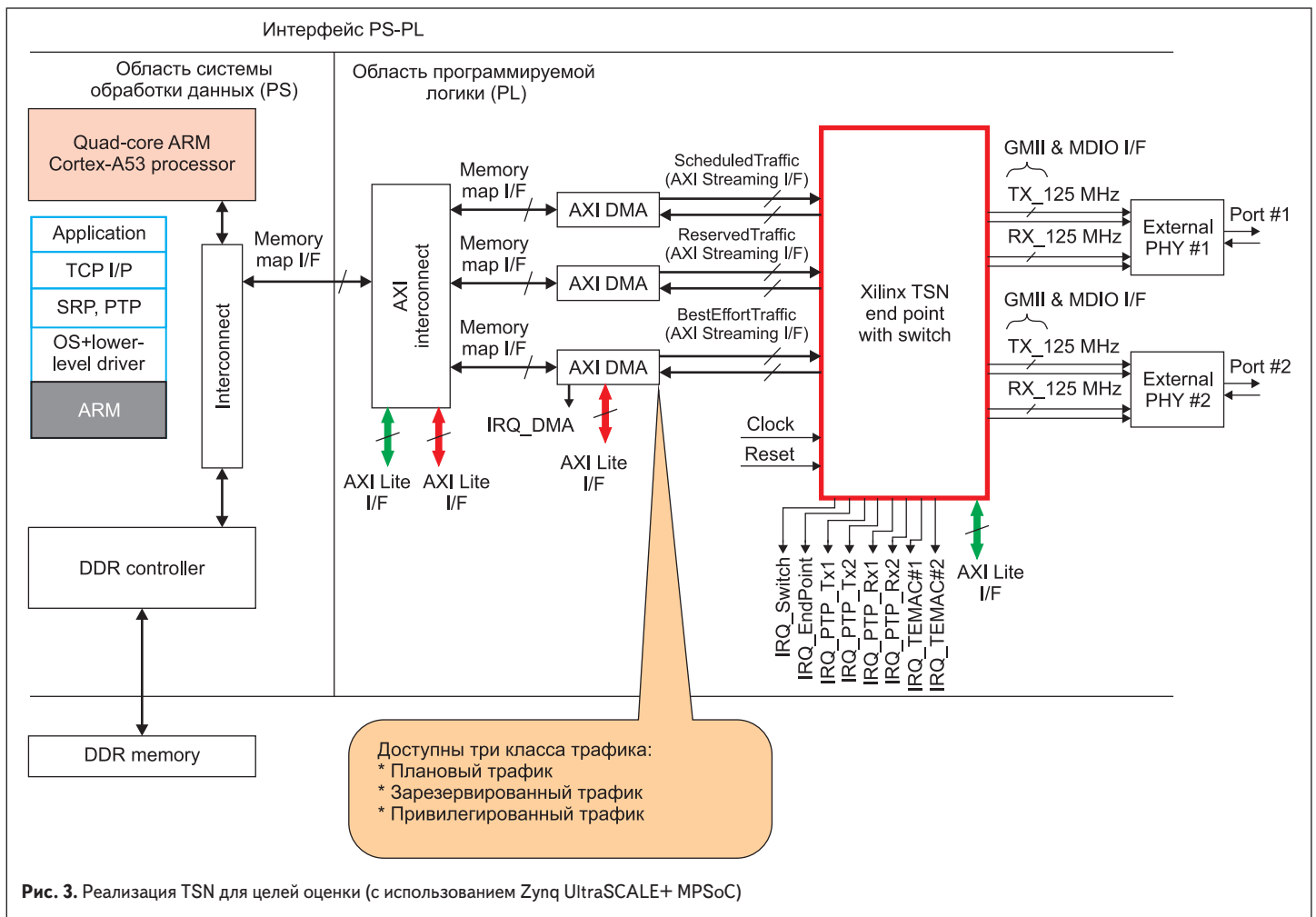
Полностью готовая к использованию и имплементации для целей оценки система включает в себя прямой доступ к памяти (DMA) отдельно для каждого из классов трафика. Система оценки, представленная на рис. 3, может использоваться для проверки поведения компонентов Xilinx как самостоятельно, так и в сочетании с обо-

рудованием сторонних производителей или с анализаторами протоколов.

Поскольку область PL является достаточно гибкой, она также предоставляет возможности обновлять ядро IP, как того требуют стандарты TSN, а также по результатам тестирования на соответствие специфическим требованиям конкретного сегмента рынка. В отличие от использованного подхода устройства с фиксированными аппаратными реализациями, например пользовательские ASIC (интегральная схема, специализированная для решения конкретной задачи) и стандартные приложения для конкретных приложений или ASSP (стандартная интегральная схема, ориентированная на конкретное приложение), не имеют возможности вводить функциональные изменения в эволюцию TSN.

Чтобы продемонстрировать возможности ядра TSN IP в действии, Xilinx создала демонстрационное приложение для обеих плат разработки ZCU102 и ZC702. Подключение двух этих плат (рис. 4) позволяет передавать и получать сетевой трафик, что дает возможность проверить функционирование и выполнить валидацию TSN-сети.

С целью облегчения проектирования и имплементации TSN консорциум промышленного Интернета (Industrial Internet Consortium, IIC), членом которого является Xilinx, предлагает специальный стенд. Данное оборудование предназначено для тестирования сетей технологии TSN, с его помощью компании могут проводить



Доступны три класса трафика:
 * Плановый трафик
 * Зарезервированный трафик
 * Привилегированный трафик

Рис. 3. Реализация TSN для целей оценки (с использованием Zynq UltraSCALE+ MPSoC)

проверку ее совместимости с оборудованием от различных поставщиков, а также тестирование высокопроизводительных и критичных к задержкам передачи и обработки информации приложений. Это тестирование может происходить как в официальном порядке, так и на одном из двух постоянных испытательных стендов, расположенных в США или Европе.

Заключение

Для того чтобы имплементировать развертывание киберфизических систем в рамках «Индустрии 4.0» и ПоТ, необходимо обеспечить конвергенцию между ИТ- и промышленными ОТ-сетями. В этом плане предлагаемая технология TSN позволяет сблизить эти сети, обеспечивая тем самым значительные преимущества в отношении сетевого подключения, масштабируемости, стоимости развертывания и обслуживания таких сетей. ■

Оригинал статьи опубликован на сайте www.electronicdesign.com

