

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мир переживает новый подъем цифровой трансформации, которая требует от производителей переосмысления существующих моделей промышленной автоматизации. Цифровая трансформация открывает новые возможности для автоматизации и производства. Индустрия 4.0, как еще называют эту новую волну цифровой трансформации, коренным образом меняет мировую экономику.

По мере усложнения систем они становятся все более распределенными и объединяют их телекоммуникационные сети. Широкое распространение и положительные качества сетей Ethernet сделали их чрезвычайно привлекательными при организации связи между различными устройствами промышленной автоматизации. Однако, несмотря на высокую производительность, простоту и масштабируемость, присущий им метод случайного доступа к общим сетевым ресурсам не обеспечивает гарантированных временных задержек, что для ряда систем управления технологическими процессами совершенно недопустимо. В частности, речь идет о реализации задачи обмена данными в режиме реального времени.

В промышленной среде могут использоваться как обычные персональные компьютеры (ПК), на которых сотрудники выполняют свою работу, так и компьютеры для управления специализированным оборудованием. Сотрудникам необходим доступ к локальной сети для работы в Интернете и интрасети. Связь компьютера и оборудования осуществляется посредством телекоммуникационной сети. Причем требования к организации сетевых подключений управляющих ПК и обычных пользовательских ПК могут сильно различаться. Для управляющих ПК могут быть критически важны требования информационной безопасности, в то время как сотрудникам требуется обычное подключение к локальной сети и для них важна в основном пропускная способность. Эти примеры использования требуют лучших

решений, чем те, которые имеются на сегодняшний день. Снижение затрат может быть достигнуто за счет сети, которая отвечает требованиям детерминированного сетевого взаимодействия и совместима с современными решениями.

Локальные сети обычно использовались для подключения компьютеров к Интернету или внутри сети компании для подключения компьютеров друг к другу и к серверам. Поэтому возникла необходимость в отдельной сети, обеспечивающей детерминированные задержки передачи данных в промышленных сетях Ethernet, например на заводах. Детерминизм может быть определен следующим образом: физическая система считается детерминированной, если при заданных начальных условиях в момент времени t и наборе будущих синхронизированных входов будущие состояния, значения и моменты времени будущих выходов определены однозначно [1]. Это означает, что поведение сети можно предсказать. Детерминированные сети предсказуемы. Для предсказуемости необходимо, чтобы данные каждый раз проходили через сеть так, как ожидалось. Например, если два пакета имеют одинаковые начальные состояния, они завершатся примерно в одно и то же время [1]. Для достижения этой цели в сети не должно быть трафика, блокирующего критичные по времени данные. Для удовлетворения этих требований необходимо зарезервировать некоторую полосу пропускания. Это означает нулевые потери при перегрузке и гарантированную задержку [2]. Благодаря гарантиям и тому, что детерминированная сеть предсказуема, потеря пакета расценивается как отказ оборудования. Детерминированные сети могут быть использованы для создания систем жесткого реального времени.

Чем больше возможностей требуется от системы, тем большее число компонентов она должна включать и все они должны работать синхронно друг с другом, особенно в системах, критичных ко времени задержки, иначе вся система не будет работать. Особенно это относится к автоматическим системам регулирования и управления, включающим цепи обратной связи. Хорошо известно, к каким пагубным последствиям приводит наличие запаздывания в цепях обратной связи таких систем. Они не только теряют качество и точность, но и при определенных условиях могут потерять и устойчивость процесса управления. Это в полной мере, например, относится к автоматизации управления транспортом. Уровень безопасности программного обеспечения автомобиля определяется тем, насколько неуправляемым

будет автомобиль, если данное программное обеспечение выйдет из строя [3].

Автономные транспортные средства, которые полагаются на быструю обработку данных от множества различных датчиков (оптических, LIDAR*, приближения, GPS, инерционных и т. д.), могут иметь несколько различных устройств, обрабатывающих эти данные, соединенных сетью связи. В какой-то момент проанализированные данные от различных датчиков объединяются для принятия решений (объединение данных). Объединение данных требует, чтобы все данные были либо получены в одно и то же время, либо имели известный момент появления. Последнее также требует точной синхронизации времени между всеми устройствами сбора данных. Большинство распределенных систем, критичных ко времени, нуждаются в той или иной форме синхронизации времени. Синхронизация позволяет гарантировать величину возникающих задержек.

Появилось множество протоколов различных производителей, направленных на обеспечение гарантированных сетевых задержек. Это привело к невозможности совместной работы оборудования различных производителей или к неоправданно большим затратам на приобретение специальных шлюзов, обеспечивающих такую совместную работу.

Ситуация изменилась с появлением синхронизируемых по времени сетей (Time-Sensitive Networking, TSN), которые все более активно начинают внедряться в промышленную автоматизацию [4]. Эти сети, совместимые с Ethernet, способны передавать высокоприоритетные пакеты с минимально возможными задержками. Они совместили в себе все положительные свойства сетей Ethernet с возможностью получения детерминированной задержки сетей с разделением по времени (Time Division Multiplexing, TDM), предоставляя абсолютный приоритет пакетам, наиболее чувствительным к задержкам. Появился ряд стандартов, дополняющих существующие стандарты Ethernet, в которых предусматривается получение детерминированных задержек в сетях Ethernet за счет жесткой синхронизации по времени и управления потоками трафика на основе расписания. Переключение потоков в TSN осуществляется за счет введения в коммутаторы

* Light Detection and Ranging или «лидар» на русском языке. Это технология дистанционного зондирования, которая использует лазерный свет для измерения расстояний до объектов и создания трехмерных моделей их окружения. — *Прим. ред.*

Ethernet дополнительных аппаратных средств в виде программируемых логических матриц (ПЛМ). Необходимость получения детерминированных задержек привела к созданию подобных беспроводных сетей.

Литература

1. Kopetz H. Real-time systems: design principles for distributed embedded applications. — Springer Verlag, 2011. — 376 p.
2. Detnet problem statement (and related IEEE 802.1 TSN TG status) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ietf.org/proceedings/91/slides/slides-91-detnet-9.pptx>
3. Redmill F. Understanding Safety Integrity Levels // Measurement and Control. 1999. Vol. 32(7). P. 197–200. doi:10.1177/002029409903200702.
4. Time-Sensitive networking: from theory to implementation in industrial automation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://software.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/product-briefs/wp-01279-time-sensitive-networking-theory-to-implementation-in-industrial-automation.pdf>