



# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ШИНЫ И СЕТЕВЫЕ СТАНДАРТЫ

Еще в недавнем прошлом большинство сетей были простыми, обычно они связывали одно устройство с другим или несколькими с помощью последовательного подключения. Скорость передачи данных была мала, что ограничивало количество передаваемой информации и не позволяло реализовать соединение в режиме реального времени. С наступлением эпохи стандартных протоколов связи на программном и на физическом уровне коммуникация стала существенно лучше. Сегодня доступно много различных стандартов, из которых пользователь может выбрать нужный с учетом своих предпочтений и требований.

Происходившее в течение последних 15 лет усовершенствование внешних каналов связи различных устройств, к примеру, интерфейса «человек-машина» для контроллеров или устройств ввода/вывода, позволило вывести промышленное производство на более высокий уровень. Колоссальный рост производительности сделал возможными использование сетей для управления в реальном времени, создание связи между контроллером и устройством ввода/вывода посредством внешней шины, которая сейчас отдается предпочтение перед внутренними.

Как только появились ПЛК, инженеры стали искать способы сбора данных из контроллеров, загрузки данных и программ в них без отключения или изменения конструкции на этапе создания на заводе. В зависимости от того, чего мы ожидаем от контроллера,

специалисты по автоматизации разрабатывают разные способы связи с ним. Это очень активно используется для создания кратковременной коммутации, например для скачивания программ, но с развитием таких коммуникаций они становятся самостоятельными сложными архитектурами.

## **СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНТРОЛЛЕРОМ И ПРИЛОЖЕНИЯМИ ПК**

Коммуникации сначала были довольно простыми. Компьютеры работали на MS-DOS, интенсивно использовалась командная строка и пакетные программы для обмена данными между контроллером и ПК; это было просто и эффективно в использовании и написании.

К сожалению, ранние протоколы связи создавали различные проблемы для инженеров, которые

пытались использовать их для связи в режиме реального времени. Поскольку изначально они задумывались как протоколы ввода/вывода данных, реализация задачи требовала серьезного перепрограммирования. Это означало, что при изменении приложения или модели контроллера реализация протокола будет нарушена.

Одним из первых применений было получение данных от ПЛК и занесение их в электронную таблицу. Начиная от ранних программ вроде VisiCalc и заканчивая современным Microsoft Excel, таблицы предназначались для регистрации данных, полученных с использованием одной или нескольких простых внешних шин для связи между компьютером и ПЛК.

Самой серьезной помехой для развития всех ранних средств связи была их специфичность, вследствие

которой совместимость и взаимозаменяемость устройств и контроллеров от разных производителей была невозможна, что приводило к серьезным проблемам.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ RS-232, RS-422 И RS-485

RS-232 предшествует контроллерам и микрокомпьютерам, и его история восходит ко временам телетайпов и немых терминалов ввода/вывода. Он используется с 1962 г. и, несмотря на то, что не используется в ПК (вместо него мы теперь имеем привычный USB), он и его многоканальные братья RS-422 и RS-485 часто встречаются в лабораториях. И поскольку в современных компьютерах уже нет таких портов для связи с контроллерами или модемами, требуются переходники для подключения RS-232 к компьютеру через USB.

Наиболее важным продвижением стандарта RS-232 стала возможность уверенной передачи последовательности двоичных данных. Однако ограничения этого стандарта затрудняют его использование в мире, где контроллеры и компьютеры используют очень маленькие блоки питания. Кроме того, многоканальный RS-485 плохо реализован и требует доработки с помощью ПО и каких-либо обходных путей.

Последовательный интерфейс RS-232 известен с 1962 г.

и, несмотря на то, что не используется в современных ПК (вместо него мы теперь имеем привычный USB), он и его многоканальные братья RS-422 и RS-485 часто встречаются в лабораториях.

Протоколы RS-232 и RS-485 способны к двусторонней передаче и легко применимы в реализации двунаправленной связи на коротких дистанциях. Сегодня они часто используются для коммуникации лабораторного оборудования, анализаторов, присоеди-

нения удаленных систем безопасности к централизованной системе обеспечения контроля.

RS-422 использует для передачи витую пару, что позволяет преодолевать большие расстояния, чем с RS-485, однако он реализует P2P-соединение. Этот протокол позволяет подключать до 10 управляемых устройств (Slave), но управляющее устройство (Master) одно.

Несмотря на то, что RS-485 был основой для многих ранних стандартов связи, например Rockwell Automation/Allen-Bradley's Data Highway и Profibus от Siemens, ни RS-232, ни RS-485 не были спроектированы с учетом требований кибербезопасности, так как в те времена Интернет не был столь широко распространен, и попытка подключения извне просто не рассматривалась.

### УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШИНА IEEE-488

Изначально разработанный компанией Hewlett-Packard для своих лабораторных измерительных и тестовых установок протокол IEEE-488 сначала назывался HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus). Это была параллельная шина, и она могла работать без микропроцессора, используя транзисторно-транзисторную логику (TTL).

HP-IB стала стандартом де-факто, потому что могла связать до 15 устройств, причем каждый имел свой адрес. Когда другие производители стали применять этот стандарт, его стали называть GPIB (General Purpose Interface Bus), а затем IEEE-488. Со временем Институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE<sup>1</sup>) и Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission, IEC<sup>2</sup>) превратили его в двойной стандарт IEEE/IEC-488.1 и.2. К сожалению, пока канал связывает устройства, он не определяет общие команды, таким образом устройства, поддерживающие IEEE-488, зачастую несовместимы друг с другом.

IEEE-488 — 8-битная шина Master/Slave с максимальной скоростью передачи данных 1–8 Мбит/с, в зависимости от реализации. Сейчас мы считаем, что это довольно медленное соединение. Но поскольку лабораторное измерительное и проверочное оборудование имеет долгий срок службы, стандарт GPIB все еще в ходу.

### MODBUS — СТАНДАРТ СВЯЗИ ДЛЯ ПЛК

Представленный компанией Modicon в конце 70-х годов Modbus (сокр. от Modicon Bus) был разработан специально для промышленных контроллеров. В те времена фирме (теперь это часть Schneider Electric) принадлежала существенная доля рынка ПЛК и промышленных контроллеров, и требовалось разработать надежный метод передачи данных между ними.

Шина Modbus надежна, распространяется по лицензии «роялти-фри», проста в эксплуатации и способ передачи данных по ней не накладывает серьезных ограничений на поставщиков оборудования.

Modbus стала самой успешной шиной в истории, и тому было несколько причин. Во-первых, простота и надежность. Во-вторых, она распространяется по лицензии «роялти-фри»<sup>3</sup> и администрируется сторонней организацией (Modbus Organisation). В-третьих, этот стандарт прост в обслуживании и использовании, и способ передачи данных не накладывает серьезных ограничений на поставщиков оборудования. Сейчас Modbus существует в нескольких разновидностях:

- Modbus RTU используется для соединения SCADA-систем<sup>4</sup> и RTU<sup>5</sup> в таких областях, как

<sup>1</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE — международная организация, созданная в 1963 г. Занимается разработкой компьютерных и коммуникационных стандартов.

<sup>2</sup> International Electrotechnical Commission, IEC — ведущая международная организация, которая публикует базирующиеся на консенсусе международные стандарты и осуществляет управление системами оценки соответствия для электрических и электронных продуктов, систем и услуг.

<sup>3</sup> Royalty Free — вид лицензии, при котором плата за приобретенный продукт, в том числе технологию, производится только в момент покупки.

<sup>4</sup> Supervisory for Control And Data Acquisition, SCADA — диспетчерское управление и сбор данных.

<sup>5</sup> Remote Terminal Unit — удаленный терминал.

водоснабжение и канализация, электроснабжение, источники альтернативной энергии, нефти и газопроводы.

- Modbus TCP/IP используется для соединения через порт 502. Кроме того, Modbus используется в смешанных сетях, а также легко распространяется и на сети Ethernet.

## ETHERNET ВСЕ БЕРЕТ НА СЕБЯ

Современные контроллеры и компьютеры всегда оборудуются портом Ethernet, и реализация стандарта подразумевает работу Plug&Play. По этим причинам Ethernet станет единым стандартом связи в ближайшее десятилетие.

Повсеместное распространение Ethernet сделало его по-настоящему «технологией связи XXI в.». Этот стандарт, по существу, предназначен для перемещения данных в сети и может быть использован для трансляции чрезвычайно больших объемов данных на очень высокой скорости, вплоть до гигабит в секунду. Ethernet-коммутаторы и маршрутизаторы поставляются с прошивкой управления, также в них учитываются требования кибербезопасности, чего, как уже было сказано, нет у более старых протоколов.

Современные контроллеры и компьютеры всегда оборудуются портом Ethernet, и реализация стандарта подразумевает работу Plug&Play. По этим причинам Ethernet станет единым стандартом связи в ближайшее десятилетие. Не последнее значение имеет и тот факт, что последовательные протоколы Modbus, DeviceNet, Profibus и HART могут работать по каналу Ethernet. Для высокопроизводительных машин и роботов широко применяются сети на основе Ethernet — EtherCAT и Powerlink.

С приходом IPv6 и ростом количества разрешенных IP-адресов становится возможным запускать Ethernet на каждом устройстве в мире несколько раз одновременно.

## ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ УСТРОЙСТВА ВВОДА/ВЫВОДА

Современные внешние устройства ввода/вывода подключаются к контроллерам через какой-либо цифровой канал передачи данных, а внутренние — непосредственно к контроллеру через внутреннюю структуру шины.

Часто не совсем понятно, из чего на самом деле складывается стоимость подключения контроллера к устройству ввода/вывода и другим компонентам. Большая часть ее составляет фактическая прокладка проводки от устройства к контроллеру и от контроллера к системе автоматизации и информирования. Например, в опасной зоне, где требуются специальные взрывозащищенные провода, трубы и соединительные коробки, затраты могут доходить до \$3000 за фут (около 30,5 см). Во многих случаях, например на отдельной части производства и технологических установок, пространство ограничено, и использование концентраторов и сортировочных шкафов не требуется. Это означает, что продолжительность жизни устройства ввода/вывода ожидается больший, чем у контроллера, к которому оно подключается, потому что замена устройства ввода/вывода требует крайне дорогостоящей замены всей проводки.

Если передача данных перестала работать, внешне устройство ввода/вывода заменить проще, пусть даже оно подключено к контроллеру через шину на системной плате.

Многие производители делают сторонние системы ввода/вывода, которые подключаются к контроллеру, потому что есть значительные отличия в конфигурациях и размерах между устройствами от разных поставщиков. Использование сторонних систем не только обеспечивает более широкий набор функций, но и ведет к снижению затрат. Когда используется внешнее устройство ввода/вывода, выполнять настройку и перенастройку проще, чем при использовании встроенных систем. Большая часть

производителей — неважно, DSC, PLC или PAC — могут использовать устройства ввода/вывода, монтируемые на DIN-рейку.

Модернизация внешнего устройства ввода/вывода для новых приложений также проста. Например, достижение более высокой скорости работы машины облегчается возможностью перенастройки существующего устройства или заменой его совместимым, при этом не требуется менять все провода и сам контроллер.

Внешние порты ввода/вывода делают поиск неисправностей и обслуживание доступнее, потому что позволяют не подвергать корпус контроллера риску повреждения в среде, где присутствует грязь, химические пары или другие агрессивные вещества, которые опасны для электронных схем контроллера. Если передача входных данных перестала работать, проще заменить устройство ввода/вывода, когда оно является внешним, пусть даже и подключенным к контроллеру через шину на системной плате.

Использование внешних устройств также способствует разработке лучшего ПО и стандартизации драйверов устройств. Это очень важно, чтобы избежать ситуации, когда простое обновление драйвера устройства может привести к сбою в коммуникации между контроллером и системой ввода/вывода.

Последнее, но зачастую самое важное преимущество — простота комбинирования устройств от различных поставщиков и даже из разных поколений контроллеров.

## ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА ВВОДА/ВЫВОДА

RS-232, IEEE-488, Modbus, Profibus, HART и другие промышленные шины обычно имеют сильно ограниченную пропускную способность, поэтому скорость передачи данных очень мала. Если вы сравните устройство ввода/вывода с каналом RS-232, выдающее 1 Мбит/с, и гигабитный Ethernet, сразу станет ясно, что для таких применений, как передача видео или смешанные сети, Ethernet предпочтительнее.

Вопрос в том, насколько быстрой может быть связь, и насколько быстро должно работать устройство ввода/вывода? Ответ зависит от кон-

кретного применения. На примере гигабитного Ethernet мы видим, какой может быть скорость. Это фактический предел для устройства. Скорость передачи данных теперь равна скорости внутренней шины компьютера или контроллера. Как правило, общая скорость работы системы определяется скоростью внутреннего обмена данными. Это было слабым местом первых микропроцессорных контроллеров.

### ВНУТРЕННИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ КОМПЬЮТЕРА И КОНТРОЛЛЕРА

В архитектуре ПК процессор и основная память взаимосвязаны, иногда они реализованы на одном чипе (кэш-память). Это связано с тем, что производительность процессора значительно опережает возможности передачи большого объема данных.

Первые микрокомпьютеры, такие как Altair 8800, требовали соединения процессора и оперативной памяти с периферийными устройствами, включая дисководы гибких дисков и последовательные порты. Первая современная внутренняя шина называлась ISA, она предназначалась для работы с 8-разрядными микропроцессорами Intel 8088.

Когда данные перемещаются от процессора к периферийным устройствам, скорость передачи снижается. С начала 1980-х гг. продолжается улучшение внутренней архитектуры шины компьютера с целью достижения более высокой скорости передачи данных и большей совместимости с периферийными устройствами.

Первые микрокомпьютеры, такие как Altair 8800, требовали соединения процессора и оперативной памяти с периферийными устройствами, включая дисководы гибких дисков и последовательные порты. Структура шины S100, введенной в середине 1970-х гг., являла собой простое соединение всех контактов на чипе Intel 8080 с разъемом на задней панели. S100 был стандартом для CP/M<sup>6</sup>.

Первая современная внутренняя шина ISA<sup>7</sup> была разработана вместе с PC IBM в 1981 г. и предназначалась для работы с 8-разрядными микропроцессорами Intel 8088. Позднее стандарт был модифицирован для работы с 16-разрядными данными для компьютеров под управлением микропроцессора Intel 80286, и далее превратился в EISA<sup>8</sup> для 32-разрядных процессоров.

ISA и EISA были предназначены для работы в качестве «расширителей шины» для локальной внутренней архитектуры микропроцессора. Платы расширения могут быть установлены для связи с устройствами, такими как жесткие диски, принтеры и модемы. Проблема заключалась в том, что очень немногие периферийные устройства поддерживали принцип Plug&Play, и часто приходилось устанавливать перемычки и специальные драйверы устройств. Изменения в архитектуре и драйверах часто приводят к тому, что периферийные устройства не работают вообще или работают плохо.

Из-за того, что Apple не применяет чипсет Intel, Apple II, Apple III, Apple Lisa и Apple Macintosh не могут использовать S100 или ISA. Компании приходится разрабатывать свои собственные шины — NuBus, а позднее SCSI (Small Computer Systems Interface). Эти шины привлекательны тем, что значительно более адаптированы по принципу Plug&Play, чем IBM PC. Кстати, это привело к распространенному мнению, что компьютеры Apple проще в использовании.

В 1986 г. Western Digital, Control Data Corporation и Compaq Computer Corporation создали первый интерфейс для дисковых накопителей — IDE<sup>9</sup>, специально предназначенный для повышения производительности жестких дисков в персональных компьютерах. Идея заключалась в том, чтобы интегрировать контроллер диска и интерфейс на одной микросхеме, подключенной к материнской плате. Позже этот интерфейс стал известен как ATA с PC-AT. Шина SCSI, изначально разработанная

для Macintosh, в первую очередь используется в качестве шины контроллера CD-ROM.

Все эти интерфейсы имеют схожие достоинства и недостатки. Преимущество — это стандартизация и в некоторой степени увеличение производительности по сравнению с предшественниками. Недостатки заключались во все еще недостаточной производительности для многих промышленных применений, а также отсутствием реальной Plug&Play-функциональности.

### PCI МЕНЯЕТ ВСЕ

В начале 1990-х гг. PCI<sup>10</sup> была представлена как способ связи чипов на материнской плате взамен недостаточно проработанной шины ISA. Она передавала данные с частотой 33 МГц, это больше, чем у ISA и ATA, распространенных в то время, и достаточно для большинства периферийных устройств.

Со временем производительность увеличилась до такой степени, что частота процессора возросла до 3 ГГц и более. К тому же появление гигабитного Ethernet и других сетевых протоколов привели к тому, что пропускная способность шины PCI стала достаточной только для одного периферийного устройства. Однако в момент своего появления PCI имела огромное превосходство над ISA и ATA, включая независимость процессора, изоляцию буфера, принцип Plug&Play. В короткое время шина объединила всю внутреннюю структуру ПК.

Однако PCI не была идеальной. Шло время, ограничение ее скорости стало серьезным препятствием для дальнейшего развития, тем более что пропускная способность шины была поделена между всеми устройствами. PCI была разработана без возможности управления питанием, что стало неудобно при наличии новых, малоомощных устройств. Это накладывало очень строгие правила на маршрутизацию данных, и, что хуже всего, не было никакой поддержки передачи данных в режиме реального времени. Для решения этих и других вопросов разработчики следующего поколения шин

<sup>6</sup> CP/M — операционная система CP/M для микроЭВМ, предшественник PC-DOS и MS-DOS.

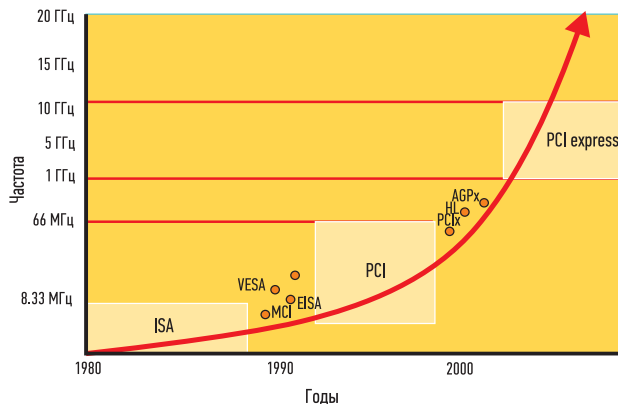
<sup>7</sup> Industry Standard Architecture, ISA — архитектура шины промышленного стандарта.

<sup>8</sup> Extended Industry Standard Architecture, EISA — расширенная стандартная архитектура для промышленного применения.

<sup>9</sup> Integrated Drive Electronics, IDE — встроенный интерфейс накопителей.

<sup>10</sup> Peripheral Component Interconnect, PCI — шина для соединения периферийных компонентов.

► Развитие технологий передачи данных



сконцентрировались на улучшении PCI до PCI Express (PCIe).

Последовательная шина PCIe работает со скоростью 2,5 Гбит/с, пакетируя данные PCI, а затем переходит в последовательный режим для передачи пакетов по каналу. Пропускная способность доступна в обоих направлениях, и производительность каждого слота может составлять от 200 Мбит до 3,2 Гбит в любом направлении, на вход или выход.

Появление PCIe — это громадный скачок в преодолении ограничения пропускной способности, по сравнению с PCI, при этом сохранена совместимость портов.

Уровневая структура PCIe обеспечивает тридцатикратное увеличение производительности, по сравнению с оригинальным интерфейсом PCI. Это делает возможным создание устройств ввода/вывода следующего поколения с высокой пропускной способностью для приложений с высокой производительностью, таких как высокоскоростная передача и сбор данных или промышленные мультимедийные приложения. Последняя эволюция интерфейса PCIe даже поддерживает виртуализацию аппаратных устройств ввода/вывода. Почти все современные видеокарты имеют интерфейс PCIe.

Необходимость вывода интерфейса вне компьютера привело к появлению ePCIe, или внешней шины PCIe, которую иногда называют кабелем шины PCIe. Такое развитие делает возможным расширение внутренней скоростной шины PCIe на внешние устройства ввода/вывода. Это, в свою очередь, приводит к увеличению производительности и достижению очень

высокой скорости ввода/вывода, возможности управления движением и машинного зрения.

Новым вариантом PCIe, в котором заинтересована, в первую очередь, Apple, является Thunderbolt, которая сочетает в себе протоколы PCIe и DisplayPort и значительно улучшает работу графического дисплея и производительность HMI. Хотя Apple был создателем Thunderbolt, другие компьютерные компании также предлагают использовать его.

### ВЕЗДЕСУЩИЙ USB

Ни одно обсуждение компьютерных интерфейсов не будет полным без разговора о USB<sup>11</sup>. Этот интерфейс заменил последовательные и параллельные схемы соединения в ПК и ноутбуках. USB имеет высокую пропускную способность (USB 3.0 легко поддерживает передачу полнокадрового видео), а его возможности Plug&Play распространяются практически на все доступные устройства.

USB может использоваться в качестве внутренней шины или быть выведен с помощью концентратора. Протокол поддерживает питание устройств, например внешних жестких дисков, CD- или DVD-приводов и других периферийных устройств. USB также позволяет с помощью переходников передавать данные по GPIB, RS-232 и Modbus.

USB обладает достаточной пропускной способностью и надежностью для промышленного контроля в реальном времени, к примеру при соединении контроллера на основе ПК с устройством ввода/вывода.

### ПРОГРЕСС ETHERNET

Повсеместно распространенный в качестве сетевой технологии,

Ethernet не мог использоваться в качестве внутренней шины компьютера не только из-за ограниченной скорости, но в первую очередь из-за нехватки IP-адресов в схеме IPv4. На самом деле, в 2010 г. уже не осталось доступных IP.

Некоторые обходные пути были найдены, однако только с переходом на IPv6, который предоставляет огромное количество IP-адресов (достаточно, чтобы каждому устройству с наличием Ethernet-подключения во всем мире присвоить несколько адресов), стало возможным дальнейшее развитие технологии. Это делает возможным внутреннюю IP-адресацию в устройствах, что, возможно, даже практично. Современные скорости этого стандарта (например, гигабитный и терабитный Ethernet) достигают или даже превышают внутренние скорости интерфейсов PCI и PCIe.

### СЕТИ И ИНТЕРФЕЙСЫ В БУДУЩЕМ

В настоящее время шина PCIe является лучшей, а Ethernet является предпочтительным для сетей. С переходом Ethernet TCP/IP к версии IPv6, он, кажется, готов стать доминирующей, и, пожалуй, единственной сетевой технологией. Это простой протокол, легко управляемый, он имеет встроенные функции безопасности и понятен большому количеству сетевых специалистов как в промышленных, так и коммерческих средах.

Однако остается вопрос, появится ли новая шина или сетевая структура в ближайшем будущем. Судя по скорости развития технологий, мы можем предположить, что ответ будет положительным. Но следует учесть, что из-за надежности и популярности PCIe и Ethernet любой прогресс в компьютерной или сетевой технологии должен будет обеспечивать обратную совместимость с этими протоколами.

Какие сети или шины для автоматизации выбрать — зависит, как всегда, от конкретных потребностей. На данный момент PCIe, ePCIe, USB и Ethernet, кажется, в состоянии решить большинство вопросов передачи данных в области промышленной автоматизации. ●

Статья подготовлена специалистами компании Advantech

<sup>11</sup> Universal Serial Bus, USB — универсальная последовательная шина