

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

УДК004.7(045)

А. К. Аблесимов, канд. техн. наук, проф.,
Е. А. Жиликов,
А. М. Иванова

**РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Рассмотрены основные тенденции развития и современное состояние разработки цифровых промышленных сетей для автоматизированной системы управления технологическим процессом. Проанализированы материалы ведущих производителей распределенных систем автоматизации.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическим процессом, цифровая промышленная сеть, протокол, промышленная шина.

Введение и постановка проблемы. Процесс автоматизации промышленных производств развивается все более ускоряющимися темпами: увеличивается количество «интеллектуальных» оконечных устройств, а также количество вовлеченных в процессы контроля и управления технологическим процессом вычислительных систем на базе микроконтроллеров. В этих условиях существенно возрастает роль данных, собираемых на всех уровнях автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Требования, предъявляемые со стороны потребителей этой информации, все более ужесточаются относительно объема, скорости и надежности получения данных, поэтому вопросы обеспечения коммуникаций выходят на первый план. В течение многих лет системы обмена данными строились по традиционной централизованной схеме, в которой имелось одно мощное вычислительное устройство и огромное количество кабелей, посредством которых осуществлялось подключение оконечных устройств (датчиков и исполнительных механизмов). Такая структура диктовалась высокой ценой электронно-вычислительной техники и относительно низким уровнем автоматизации производства. На сегодняшний день не осталось приверженцев этого подхода. Такие недостатки централизованных АСУ ТП, как большие затраты на кабельную сеть и вспомогательное оборудование, сложный монтаж, низкая надежность и сложная реконфигурация, сделали их во многих случаях абсолютно неприемлемыми как экономически, так и технологически. В условиях бурно растущего производства микропроцессорных устройств альтернативным решением стали цифровые промышленные сети (ЦПС), состоящие из многих узлов, обмен между которыми производится цифровым способом. На рынке представлено около сотни различных типов ЦПС, применяемых в системах автоматизации. Технические и стоимостные различия этих систем настолько велики, что выбор решения, оптимально подходящего для нужд конкретного производства, является непростой задачей, поскольку нужно принять мотивированное решение, способное повысить эффективность производства и обеспечить надежную работу технологического оборудования. Поэтому в этой работе приводится обзор наиболее актуальных решений в области современных ЦПС для АСУ ТП.

Основная цель построения распределенных систем автоматизации – удешевление и упрощение технологий и менеджмента производства и эксплуатации конечной системы за счет, в частности, обеспечения технологии сквозного сетевого доступа: от мощных супервизорных компьютеров и многофункциональных контроллеров до интеллектуальных пассивных элементов (датчиков, регуляторов и др.). При этом такая связь должна удовлетворять всем современным требованиям по функциональности, надежности и открытости.

Промышленная сеть (Fieldbus) является цифровой, двунаправленной, многоточечной, последовательной коммуникационной сетью, используемой для связи изолированных друг от друга устройств, таких как контроллеры, датчики, силовые приводы и т. п. Каждое field-устройство обладает самостоятельным вычислительным ресурсом, позволяющим относить его к разряду интеллектуальных. Каждое такое устройство способно самостоятельно выполнять ряд функций по самодиагностике, контролю и обслуживанию функций двунаправленной связи. Доступ к нему возможен со стороны не только инженерной станции, но и аналогичных ему устройств. Поэтому технология fieldbus – это нечто большее, чем просто замена 4 20 мА-технологии.

Промышленная сеть логически очень похожая на LAN-сети, применяемые в офисных приложениях. Однако промышленные сети должны отвечать специфическому набору требований:

- жесткая детерминированность (предсказуемость) поведения;
- обеспечение функций реального времени;
- работа на длинных линиях с использованием недорогих физических сред (например, витая пара);
- повышенная надежность физического и канального уровней передачи данных для работы в промышленной среде (например, при больших электромагнитных помехах);
- наличие специальных высоконадежных механических соединительных компонентов.

Ключевые требования здесь – детерминированность поведения, предполагающая, что все возможные события в сети могут быть заранее четко определены, и повышенная надежность передачи данных.

На каждом уровне технологического процесса происходит обработка «своих», специфических наборов данных. Такие требования, как скорость передачи данных, протоколы передачи, физические интерфейсы и другие, управляют выбором того или иного сетевого решения при построении сложных распределенных систем. Гарантия совместной работы отдельных частей системы возможна лишь при использовании соответствующих стандартов связи между этими частями.

Административный уровень системы управления производством сегодня представлен целым рядом протоколов, среди которых наиболее известны два:

- протокол автоматизации производства (Manufacturing Automation Protocol фирмы General Motors);
- протокол технического и административного учреждения (Technical Office Protocol фирмы Boeing).

Для более низких уровней (field level), т. е. уровней промышленных контроллеров, датчиков и исполнительных механизмов, стандартной информационной системы не существует. Эта область развивается сейчас благодаря усилиям отдельных компаний или их групп, и еще далеко не ясно, какая из систем будет общепризнанным стандартом.

Самой распространённой в мире открытой промышленной сетью является **Profibus** (см. таблицу). При построении многоуровневых систем автоматизации, как правило, стоят задачи организации информационного обмена между уровнями. В одном случае необходим обмен комплексными сообщениями на средних скоростях, в другом – быстрый обмен короткими сообщениями с использованием упрощенного протокола обмена (уровень датчиков). В третьем случае требуется работа в опасных участках производства (переработка газа, химическое производство). Для всех этих случаев Profibus имеет решение. Сегодня, говоря о Profibus, необходимо иметь в виду, что под этим общим названием понимается совокупность трех отдельных протоколов: Profibus-FMS, Profibus-DP и Profibus-PA. Все три варианта протокола используют общий канальный уровень (уровень 2 OSI-модели).

Протокол Profibus-DP был спроектирован для организации быстрого канала связи с уровнем датчиков. В основе алгоритма работы лежит модель циклического опроса каналов. Кроме этого, существует набор ациклических функций для конфигурирования, диагностики и поддержки сигналов.

Сравнительная характеристика протоколов промышленных сетей

Описание	Протокол					
	Profibus	Device Net	CANopen	AS-I	CONTROL-NET	Foundation Fieldbus
Происхождение	Siemens	Allen-Bradley	CAN in Automation	AS-I Consortium	Allen-Bradley	ISA
Интерфейсы	RS485 и EN50170	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485
Максимальное количество узлов	127	64	64	31 (62)	99	240 на сегмент
Длина соединения, м	100 – 24000	100 – 500	100 – 500	≤ 300	250 – 5000	≤ 1900
Скорость передачи, кбит/с	9,6 – 12000	125, 250, 500	125, 250, 500, 1000	167	5000	31,25 для H1; 100000 для HSE
Размер сообщения, байт	До 244 б	8	8	8 бит	До 510	128
Поддерживающая организация	Profibus Trade Organization	Open DeviceNet Vendor Association	CAN in Automation	AS-I Trade Organization	ControlNet International	Foundation Fieldbus

Протокол Profibus-FMS появился первым и был предназначен для работы на так называемом цеховом уровне. Здесь требуется высокая степень функциональности, и этот критерий важнее критерия скорости. Протокол допускает гибридную архитектуру взаимодействия узлов, основанную на таких понятиях, как виртуальное устройство сети, объектный словарь устройства (переменная, массив, запись, область памяти, событие и др.), логическая адресация и т. д.

Протокол Profibus-PA – это расширение протокола DP в части технологии передачи, основанной не на RS485, а на реализации стандарта IEC1158-2 для организации технологии передачи во взрывоопасных средах. Он может использоваться в качестве замены старой 4-20 мА-технологии связи. Для коммутации устройств нужна всего одна витая пара, которая может одновременно использоваться и для информационного обмена, и для подачи питания на устройства.

На одном физическом канале (RS485 или оптоволоконном) одновременно могут работать устройства Profibus всех трех типов. Рабочая скорость передачи может быть выбрана в диапазоне 9,6 – 12000 кбит/с.

Сегодня Profibus рассматривается как кандидат на обретение статуса международного стандарта IEC (МЭК).

Типовые области применения: Profibus применяется в крупных сборочных агрегатах, механизмах транспортировки материалов и деталей и в управлении технологическими процессами. Данная шина позволяет осуществлять однокабельное соединение

многоходовых блоков датчиков, пневматических вентилях, сложных интеллектуальных устройств, небольших подсетей (типа AS-I) и операторских пультов.

Достоинства: Profibus – самый распространенный в мире сетевой стандарт. Эта шина, применяемая в Европе почти повсеместно, весьма популярна в Северной и Южной Америке, а также в некоторых странах Африки и Азии. Версии DP, FMS и PA в целом удовлетворяют требованиям подавляющего большинства систем автоматизации.

Недостатки: относительно высокие накладные расходы при передаче коротких сообщений, отсутствие подачи питания по шине, несколько более высокая по сравнению с другими шинами стоимость. Кроме того, ориентация на продукты европейских компаний и изделия Siemens зачастую негативно оценивается пользователями в Северной Америке.

Мощной альтернативой протокола Profibus является другой протокол – CAN. Это недорогая и очень надежная основа для нескольких распространенных промышленных шин: DeviceNet, CANopen, SDS и других. История этого протокола берет начало с 80-х годов, когда технология создания и эксплуатации современных транспортных средств потребовала установки на них большого количества датчиков, увязываемых в единую информационную сеть с замыканием на бортовом компьютере автомобиля. Компания BOSCH (Германия) разработала для этой цели протокол CAN (Control Area Network), получивший статус международного стандарта ISO11898. По своим характеристикам он удовлетворяет не только требованиям задач реального времени, но и реализует высокую степень обнаружения и исправления ошибочных сообщений. История развития этого протокола – яркий пример того, как не доведенная до конца работа по стандартизации приводит к появлению целого семейства несовместимых друг с другом протоколов. Дело в том, что развитие CAN остановилось на определении только первых двух уровней OSI-модели. Появилось большое количество разработок седьмого уровня для CAN, оформленных как самостоятельные протокольные решения: SDS (Honeywell), DeviceNET (Allen Bradley), CAL (CiA-ассоциация), CAN11 (BMW), SeleCAN (Selectron), Kingdom (Kvaser), MiCAN (RMI) и несколько других (см. таблицу).

Пользователи должны сами сделать выбор в пользу той или иной вариации на тему CAN. При этом лидерами в этом семействе, безусловно, являются SDS и DeviceNET (американский рынок) и CAL (Европа).

DeviceNet – это гибкая промышленная шина общего назначения, удовлетворяющая 80 % стандартных требований, предъявляемых к прокладке кабелей внутри промышленных установок и цехов. Поскольку питающее напряжение для устройств автоматики подается по сетевому кабелю, общее количество используемых кабелей и сложность разводки минимальны.

Типичные области применения: в основном сборочные, сварочные и транспортировочные агрегаты. Используются для однокабельного соединения многоходовых блоков датчиков, интеллектуальных датчиков, пневматических вентилях, считывателей штрих-кодов, приводов и операторских пультов. Особенно широкое распространение данная шина получила в автомобильной и полупроводниковой отраслях промышленности.

Достоинства: низкая цена, широкая сфера применения, высокая надежность, эффективное использование пропускной способности, подача питающего напряжения по сетевому кабелю.

Недостатки: ограниченная пропускная способность, ограниченный размер сообщений, ограниченная длина соединения.

AS-I (Actuator Sensor Interface) – самая простая (возможно, и самая дешевая) промышленная шина. Первые продукты, работающие по технологии ASI, вышли на рынок в 1993 г. Сегодня эта технология поддерживается рядом известных фирм: IFM, Limberg, Siemens, Pepperl+Fuchs, Allen-Bradley и др.

Основная задача этой сети – связать в единую информационную структуру устройства самого нижнего уровня автоматизируемого процесса (датчики и разнообразные исполнительные механизмы) с системой контроллеров. В качестве физической среды

используется специальный неэкранированный двупроводный кабель с трапециевидным профилем. Этот кабель позволяет подключать датчики, устанавливаемые на подвижных частях механизмов. Топологией сети ASI может быть шина, звезда, кольцо или дерево с циклом опроса 31 узла за 5 мс. Максимальный объем данных с одного узла ASI – 4 бит.

Типичные области применения: в основном в сборочных, сварочных и транспортировочных агрегатах. Используется для однокабельного соединения многовходовых блоков датчиков, интеллектуальных датчиков, пневматических вентилей, коммутаторов и индикаторов, датчиков приближения, фотоэлементов, концевых выключателей, вентилей и индикаторов в системах типа упаковочных линий и транспортировщиков материалов.

Достоинства: чрезвычайная простота, низкая цена, распространенность, высокое быстродействие, подача питающего напряжения по сетевому кабелю. Превосходное средство для объединения устройств цифрового ввода/вывода.

Недостатки: плохо подходит для объединения устройств аналогового ввода/вывода; ограниченные размеры сети; слабая распространенность в Северной Америке (в настоящее время).

Результатом усилий консорциума крупных североамериканских производителей стала разработка ещё одного решения в области промышленных сетей – **Foundation Fieldbus** (таблица). По многим параметрам эта система схожа с Profibus-PA: возможность установки во взрывоопасных зонах, передача информационного сигнала вместе с питающим напряжением по одной паре проводов, двухуровневая иерархия и т. д. В Foundation Fieldbus на верхнем уровне используется высокоскоростная магистраль Ethernet, а на нижнем — технология передачи по стандарту IEC 61158.2, как и в Profibus-PA. Две особенности выделяют Foundation Fieldbus среди других ЦПС. Во-первых, был разработан специальный язык описания оконечных устройств (Device Description Language), использование которого позволяет подключать новые узлы к сети по широко применяемой в обычных IBM PC совместимых компьютерах технологии “plug and play”. Достаточно физически подключить новое устройство, и оно тут же самоопределится на основании заложенного описания DD (Device Description), после чего все функциональные возможности нового узла становятся доступными в сети. При конфигурировании инженеру достаточно соединить входы и выходы имеющихся в его распоряжении функциональных блоков, чтобы реализовать требуемый алгоритм. Пользователям доступны как типовые DD для стандартных устройств (клапанов, датчиков температуры и т. д.), так и возможность описания нестандартных изделий. Во-вторых, в отличие от других промышленных сетей Foundation Fieldbus ориентирована на обеспечение одноранговой связи между узлами без центрального ведущего устройства. Этот подход даёт возможность реализовать системы управления, распределенные не только физически, но и логически, что во многих случаях позволяет повысить надежность и продлить жизненный цикл АСУ ТП.

Типичные области применения: распределенные системы управления, управление непрерывными процессами, периодические технологические процессы, нефтегазопереработка.

Достоинства: гибкий развитый протокол, обладающий множеством возможностей; внутренняя безопасность в сети, интегрированный подход для различных уровней устройств автоматики и общезаводского оборудования; большие шансы стать будущим отраслевым стандартом для обрабатывающей промышленности.

Недостатки: ориентация на обрабатывающую промышленность, ограниченный набор совместимых устройств, медленность процесса стандартизации для использования в промышленности.

Выводы. Переход на fieldbus-технологии в будущем позволит улучшить качество, снизить затраты и повысить эффективность проектируемой системы. Эти данные основаны на том факте, что принимаемая или передаваемая информация кодируется в цифровом виде.

Каждое устройство может выполнять функции управления, обслуживания и диагностики. В частности, оно может сообщать о возникающих ошибках и обеспечивать функции самонастройки. Это существенно увеличивает эффективность системы в целом и снижает затраты по ее обслуживанию. Серьезный ценовой выигрыш получается за счет проводников и монтажных работ: аналоговая технология связи требует, чтобы каждое устройство имело собственный набор проводов и собственную точку соединения. Цифровые промышленные сети устраняют эту необходимость, так как используют всего одну витую пару проводников для объединения всех активных (контроллеров) и пассивных (датчиков) устройств. Кроме того, общее количественное снижение оборудования делает всю систему не только проще в эксплуатации, но и надежнее за счет уменьшения потенциальных аппаратных отказов.

При выборе коммуникационной технологии можно руководствоваться количественными параметрами (объем передаваемых полезных данных, максимальная длина шины, допустимое количество узлов на шине, помехозащищенность и др.), ценовым критерием (затраты в расчете на один узел), популярностью, эффективностью решения задачи, простотой конфигурирования и т. д. При этом улучшение одного параметра может привести к ухудшению другого. Поэтому при выборе того или иного протокольного решения необходимо следовать принципу разумной достаточности. Но наиболее важным критерием выбора должно быть соответствие принципам открытых систем – стандартизации и доступности. Только это позволяет и производителям, и пользователям делать надежные прогнозы и гарантировать совместимость выбранных решений.

Список литературы

1. Кругляк К. С. Промышленные сети: цели и средства. СТА. – 2002. – №4. С. 6 – 17.
2. Гусев С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей. Компоненты и технологии. – 2000. – № 10. – С. 45 – 49.
3. Сахнюк А. А., Литвин А. М. Промышленные сети. ПиКАД. – 2004. – №2. – С. 6 – 8.
4. Гунта А., Каро Р. FOUNDATION FIELDBUS или PROFIBUS_PA: выбор промышленной сети для автоматизации технологических процессов. СТА. – 1999. – №3. – С. 16 – 20.
5. Кругляк К. С. Практика построения промышленных сетей на базе AS-интерфейса. СТА. – 2002. – №4. – С. 30 – 39.
6. Мальчева Р. В. Методика обоснования выбора организации сети для реализации систем управления и контроля / Р. В. Мальчева, А. Р. Арутюнян, А. Н. Трофуненко // Зб. наук. пр. ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, вип. 93. – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – С. 228 – 235.

О. К. Аблесімов, Є. О. Жиялков, О. М. Іванова

Роль та перспективи розвитку сучасних цифрових промислових мереж для автоматизованої системи керування технологічним процесом

Розглянуто основні тенденції розвитку та сучасний стан розроблення цифрових промислових мереж для автоматизованої системи керування технологічним процесом. Проаналізовано матеріали провідних виробників розподілених систем автоматизації.

A. K. Ablesimov, Y. A. Zhylyakov, A. M. Ivanova

Role and prospects of modern digital industrial networks development for Automatic Process Control Systems

Reviewed the basic development tendencies and state-of-the-art technologies of digital industrial networks for Automatic Process Control Systems. Analyzed the information about leading manufacturers of distributed automation systems.