

инженеры могут выбрать решение, оптимально подходящее для нужд конкретного производства.

В представленном кратком обзоре не рассматриваются особенности беспроводной передачи данных, а также Industrial Ethernet. Эти технологии будут представлены в следующем номере журнала.

#### Список литературы

1. Гусев С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей // Современные технологии автоматизации. 2000. №4.

*Аристова Наталья Игоревна — канд. техн. наук, главный редактор журнала «Автоматизация в промышленности».*  
 Контактный телефон (495) 334-91-30.  
 E-mail: avtprom@ipu.ru

2. Егоров Е.В. О промышленных сетях — без формул и диаграмм // Автоматизация в промышленности. 2003. №11.
3. Страшун Ю.П. Промышленные сети на основе «полевых» шин и перспективы их развития // Промышленные сети и системы. 2011. №1.
4. Кангин В.В., Козлов В.Н. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры. Изд. БИНОМ. 2010.
5. Корнова Т.П. HART-протокол и другие коммуникационные технологии, применяемые в России // Автоматизация в промышленности. 2004. №8.

## СРЕДЫ И ПРОТОКОЛЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

И.В. Попухов (Компания ПРОСОФТ)

*Рассматриваются положительные и отрицательные стороны сред, используемых для передачи данных. Перечислены основные стандарты сетей Ethernet для оптической и медной среды, рассмотрен новый стандарт беспроводной связи. В заключение кратко раскрываются проблемы применения Ethernet в промышленных сетях реального времени.*

*Ключевые слова: беспроводная связь, Ethernet, протокол, среда передачи данных, коммутатор, удлинитель, точка доступа, реальное время, быстродействие.*

#### Введение

Следует сразу разграничить понятия среды и протокола. Искусственная среда передачи данных — это физическая субстанция, в которой происходит передача сигналов по определенному протоколу или просто правилу. В промышленности наиболее часто используют медную среду (любой медный сигнальный кабель: плоский, витой и пр.), оптическую среду (оптический кабель одномодовый или многомодовый), беспроводную среду для радиопередачи (промышленный Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee и пр.). Крайне редко встречаются экзотические методы передачи с использованием инфракрасного света и лазера, их скорее тоже можно отнести к беспроводной среде.

Теоретически существует еще углеродная среда, но она сейчас используется для передачи данных исключительно внутри устройства.

#### Ethernet в медной и оптических средах

Тот или иной протокол передачи данных может быть разработан специально под конкретную среду передачи данных, а может и существовать в нескольких средах. Например, протоколы беспроводного Ethernet IEEE 802.11 спроектированы специально для беспроводной среды и содержат массу механизмов регулирования обмена данных, необходимых исключительно при радиопередаче. Воздушную среду практически нельзя изолировать, при этом в физической досягаемости могут существовать устройства, передающие в одном частотном диапазоне (например, 2,4 ГГц), но по разным стандартам и с разными скоростями. Многие протоколы встречаются одновременно в оптической и медных средах: RS-485, Profibus.

К известным «универсалам» можно отнести Ethernet, который равно существует как в медной среде (витая пара), так и в оптической (многомодовый и одномодовый кабель). Передача Ethernet по разным средам с разной скоростью и параметрами описана в целом списке стандартов семейства IEEE 802.3.

Перечислим лишь стандарты, наиболее используемые в промышленном Ethernet в настоящее время:

- 100BASE-TX, стандарт IEEE 802.3u — развитие стандарта 10BASE-T, использует кабель типа витая пара категории 5, фактически используются только две неэкранированные пары проводников, для полудуплексного режима предел дальности составляет 100 м. Для полного дуплекса возникновение коллизии не грозит, но электрически > 130...140 м преодолеть не получится;

- 100BASE-FX — стандарт, использующий многомодовое оптическое волокно 50/125 и 62,5/125 нм и длину волны 1310 нм. Используется две оптических жилы для приема и передачи. Максимальная длина сегмента — 2 км. При использовании одномодового оптического кабеля максимальная длина достигает 10...75 км в зависимости от мощности оптического передатчика и затухания в кабеле;

- 100BASE-FX WDM, иногда обозначается 100BASE-BX — стандарт, использующий единственное одномодовое волокно для передачи в полном дуплексе. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в волоконно-оптическом кабеле и мощностью передатчиков. Обычно составляет до 40 км. Интерфейсы бывают двух видов, отличаются длиной волны передатчика и маркируются либо цифрами (длина волны), либо одной латинской бук-

вой А (1310) или В (1550). Для связи нужна пара передатчиков А+В: один передает волной 1310 нм, а принимает волны 1550 нм, другой – наоборот;

- 1000BASE-T, IEEE 802.3ab – гигабитный Ethernet (Gigabit Ethernet, 1 Гбит/с). Стандарт, использующий витую пару категорий 5е. В передаче данных участвуют четыре пары. Скорость передачи данных – 250 Мбит/с по одной паре. Расстояние до 100 метров.

- 1000BASE-X – общий термин для обозначения стандартов со сменными приемопередатчиками SFP. В съемном модуле реализуется практически любой оптический стандарт Gigabit Ethernet. Устройства со съемными оптическими модулями чуть дороже устройств со встроенной оптикой, однако гораздо удобнее для масштабируемых сетей. Встречаются и SFP-модули с медной средой;

- 1000BASE-SX, IEEE 802.3z – стандарт, использующий многомодовое волокно 50/125 и 62,5/125 нм и длину волны 1310 нм. Используются две оптические жилы для приема и передачи. Максимальная длина сегмента – 275 и 550 м для соответствующего типа оптики. Длина волны – 850 нм;

- 1000BASE-LX, IEEE 802.3z – стандарт, использующий одномодовое волокно. Максимальная дальность прохождения сигнала без повторителя зависит от типа используемых приемопередатчиков и, как правило, составляет 10...50 км на длине волны 1310 нм;

- 1000BASE-LH (Long Haul) – стандарт, использующий одномодовое волокно. Дальность прохождения сигнала без повторителя 60...120 км. Используются передатчики высокой мощности с длиной волны 1550 нм;

- 1000BASE-BX, аналогично 100BASE-FX WDM, используют единственную одномодовую жилу для передачи Gigabit Ethernet. Длины волн для расстояний до 60 км составляют те же 1550/1310 нм, для более дальних расстояний применяются передатчики 1570/1490 нм.

#### Плюсы и минусы сред передачи данных

У каждой из трех сред есть свои достоинства. Главное достоинство медной среды – низкая цена.



Рис. 1. Удлинитель Ethernet с технологией питания Power-over-Line ED3538T производства компании EtherWAN. Использует технологию Ethernet-over-VDSL для передачи трафика со скоростью до 100 Мбит/с на расстояние до 2 км. Вместе с сигналом передает до 30 Вт мощности для питания конечного устройства. Тип кабеля – витая пара или телефонный кабель.



Рис. 2. Промышленный коммутатор Ethernet EX71000 производства EtherWAN. Половина из 8 портов Fast Ethernet и оба порта Gigabit Ethernet могут использовать как медный интерфейс, так и различные типы оптики.

Двухжильные кабели для RS-485 и особенно витая пара 5-й категории относительно дешевы и просты в прокладке и монтаже. Практически можно обойтись низкоквалифицированным персоналом и доступными инструментами вроде «обжимки». Обратная сторона той же витой пары – ограничения по дальности в 100 м и слабая помехоустойчивость. Для промышленных условий прокладки эти минусы особенно чувствительны – большие расстояния и множество источников электромагнитных помех в виде силового оборудования здесь нормальное явление. С преодолением 100-метрового барьера борются установкой повторителей, переходом на оптику или установкой так называемых «удлинителей» Ethernet. Различные виды электромагнитных воздействий описаны в семействе стандартов EN61000. Коммутаторы, отвечающие этим стандартам, более предпочтительны для промышленных сетей Ethernet.

При использовании витой пары или двухжильного кабеля можно наравне с данными передавать питание для конечного устройства. Такие технологии известны под названиями Power-over-Ethernet и Power-over-Line. Технология PoE описана в стандартах IEEE 802.3af и IEEE 802.3at. Аббревиатура PoL – рамочное название совместной передачи данных и питания по одним медным жилам. В пример можно привести инжекторы и сплиттеры Ethernet компании MITS Component, позволяющие передать нестандартную для PoE

мощность до 70 Вт по витой паре. Еще один пример – так называемый «удлинитель» Ethernet ED3538T производства компании EtherWAN (рис. 1).

Кроме того, при внешней прокладке кабеля встает вопрос о защите от атмосферных разрядов и ударов молний.

Оптический кабель можно охарактеризовать как полную противоположность медному: максимальная дальность передачи без повторителей едва ли достижима на практике (120 км), полная индифферентность к электромагнитным помехам за счет использования оптического пластика, сложность прокладки, монтажа и пайки, сопряженной с применением специаль-

ного оборудования и навыков. Тем не менее, оптика набирает популярность и все чаще от вынужденного решения (большая дальность, шумная среда) переходит в ранг предпочтительного. С точки зрения сетей Ethernet оптическая и медная среда отличаются только первым (физическим) уровнем по модели OSI. Протоколы канального и более высоких уровней одинаковы для обеих сред. Это значит, что при переходе из одной среды в другую и обратно преобразования протоколов не нужны, и временные затраты минимальны. Например, промышленные коммутаторы Ethernet (рис. 2) часто имеют возможность работать в обеих средах: наряду с портами 10/100/1000BASE-T присутствуют порты 100BASE-FX и 1000BASE-SL/LX. Их соотношение различаются в зависимости от модификации.

Беспроводная передача данных, вообще, как эпоха стартовала с изобретения радио. Использование воздуха как среды для передачи Ethernet началось несоизмеримо позже – в конце XX века. В 1999 г. был принят стандарт IEEE 802.11b, с которого берет начало быстрое распространение беспроводных сетей. Тогда им прочили даже замещение проводных сетей Ethernet. Однако низкий уровень безопасности (на тот момент) и низкая надежность соединения предопределили эту технологию как нишевую. Сейчас Wi-Fi прочно ассоциируется с мобильным доступом: дойти с ноутбуком из комнаты на кухню, проверить почту в кафе, посидеть в Internet в аэропорту. В промышленную эксплуатацию стандарты семейства 802.11 проникают неохотно: их использование носит вынужденный характер там, где сигнальные провода проложить невозможно. Это движущие части машин, погрузчики и краны, объекты в труднодоступных местах (тайга, горы). И хотя безопасность беспроводных сетей благодаря принятию стандарта IEEE 802.11i сейчас достаточная, недоверие к стабильности связи и достаточности зоны покрытия остаются. Положительные сдвиги наметились с появлением промышленных точек доступа, поддерживающих стандарт IEEE 802.11n. В новом стандарте беспроводной связи можно выделить три основных преимущества перед предыдущими стандартами IEEE 802.11a/b/g.

- Увеличенная пропускная способность канала. В новом стандарте включен целый ряд технологий, значительно увеличивающих пропускную способность. Для сети, базирующийся на стандарте IEEE 802.11n, максимум поднят уже до 600 Мбит/с, что на практике может гарантировать 120...160 Мбит/с. На данный момент больше, как говорится, и не надо: клиентов, способных подключиться даже на 300 Мбитах пока не встречается. Таким образом, впервые беспроводная технология по скорости обогнала проводной Fast Ethernet.

- Улучшенное покрытие сигналом. Механизмы, использованные в стандарте IEEE 802.11n, не только увеличивают пропускную способность, но и вместе с тем минимизируют участки с неуверенным при-

емом сигнала. Более стабильное покрытие сигналом достигнуто за счет технологии MIMO, учитывающей сигнал, отраженный от предметов.

- Увеличенный радиус действия. Как известно, пропускная способность канала имеет обратную зависимость от дистанции между базовой станцией и клиентом. Поскольку IEEE 802.11n обладает внушительным запасом пропускной способности, радиус покрытия при схожей со стандартом IEEE 802.11g скорости существенно больше.

Как можно заметить, все вышеперечисленные преимущества обусловлены самим стандартом IEEE 802.11n. Тем не менее, беспроводная точка доступа, соответствующая данному стандарту, необязательно предоставляет их все. Устройства, доступные на данный момент, имеют 1...3 радиоканалов с максимальной скоростью 150...450 Мбит/с, то есть по 150 Мбит на каждый канал. Кроме того, многие опции не реализуются для удешевления конечного устройства. Этот факт особенно очевиден в устройствах для домашнего применения. Это оборудование имеет низкую цену, что соблазняет многих интеграторов применять его в автоматизации промышленных объектов. Здесь, конечно, нужно отдавать себе отчет в том, что специфика предполагаемых условий применения накладывает сильный отпечаток на устройство, и с первого взгляда это не всегда очевидно. Бюджетные модели класса SOHO (от англ. *Small office/home office* – «малый офис/домашний офис») рассчитаны на подключение небольшого числа абонентов со средней загрузкой канала около 5% от указанных в стандарте и передаче данных, не критичных к времени доставки. Виртуальных сетей, авторизации через RADIUS-сервер, разграничения каналов и зон между точками, сервисов QoS более двух очередей и прочих «излишеств» там обычно не предлагается, да и не надо. В более продвинутых универсальных моделях точек доступа для сетей среднего класса от Motorola, Cisco вышеперечисленные функции присутствуют, и различия с беспроводными точками доступа для промышленных сетей найти сложнее. На следующем примере покажем, что все-таки они есть.

Сугубо промышленная точка доступа появилась в 2012 г. у производителя Hirschmann (бренд компании Belden). Устройство BAT-R – последнее пополнение семейства беспроводных точек доступа BAT (рис. 3).

Из общего фона ее выделяют три вещи: поддержка нового стандарта IEEE 802.11n, два радиомодуля, то есть две точки доступа в одной, и фирменные «фишки» Hirschmann, такие как ESD-защиты и технологии Clear Space®. Последняя особенность – инновационная запатентованная технология Hirschmann для передачи данных в зашумленном пространстве. Дело в том, что для повышения фактической скорости передачи данных в условиях помех и интерференции от других источников в диапазонах 2,4 и 5 ГГц применены специальные частотные фильтры. Таким путем удалось добиться серьезного снижения потерь дан-

ных и значительного уменьшения их повторной пересылки. Встроенная ESD-защита (electrostatic discharge) подразумевает, что каждый из шести 150 Мбитных ВЧ-трактов IEEE802.11n (два радио модуля по три тракта) получил интегрированную защиту от электростатических атмосферных разрядов величиной до 8 кВ. Это позволяет обойтись без внешних модулей искро- и грозозащиты, встраиваемых в ВЧ-тракт между точкой доступа и внешней антенной.



Рис. 3. Точка доступа стандартов IEEE802.11a/b/g/h/n Hirschmann BAT-R для применения в промышленных сетях Ethernet

#### Заключение

Для промышленных сетей наиболее популярной средой является медная. В случаях, когда максимальная дальность передачи согласно заданному протоколу недостаточна, или присутствует большое число помех, применяют оптические кабели. Беспроводная локальная связь используется больше для мобильного доступа к среде или доступа из труднодоступных мест. Универсальной среды для передачи данных нет и не предвидится, хотя доля оптики будет расти.

Из протоколов, используемых в промышленных сетях, самыми популярными остаются последовательные протоколы RS-232/485 и протоколы на его основе (Profibus и пр.). Доля, которую занимают Ethernet с эти, посчитать сложно, так как он является протоколом де-факто в офисных локальных сетях, активно проникает в промышленные сети, но соотношение этих сетей даже в рамках одного предприятия высчитать довольно трудно. Распространение Ethernet в промышленных сетях — дело временное и явно предпрешенное. Временное, потому что интеграция поддержки сети Ethernet в промышленные устройства — процесс небыстрый, особенно для бюд-

жетных устройств (передача по последовательным интерфейсам пока что проще и дешевле). Предпрешенным процесс распространения можно назвать по нескольким причинам. Во-первых, TCP/IP протоколы поддерживаются гигантским числом оборудования, и чем его больше, тем дешевле компоненты, внедрение, поддержка и пр. Во-вторых, Ethernet активно приспособляется к промышленным условиям. Сети, обслуживающие ТП, часто работают в режиме PB, что не означает ее увеличенное быстродействие, а прежде всего, подразумевает выполнение задачи в заданный промежуток времени.

Пакет для передачи от локального к удаленному компьютеру по сети можно также рассматривать в качестве задачи. Ответственным за исполнение такой задачи в данном случае будет протокол передачи данных, реализованный в сети. Ethernet сам по себе не является протоколом PB: у него на канальном уровне заложен механизм доступа CSMA/CD (множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий), кроме того, почти все активное коммутационное оборудование работает в режиме Store-and-Forward, что все вместе не позволяет установить жесткое время доставки конкретного пакета данных от отправителя к получателю. Лучше дела обстоят в Ethernet-совместимых протоколах PB EtherNet/IP, PROFINet, EtherCAT, Powerlink. Отдельного упоминания также заслуживает стандарт IEEE1588, позволяющий синхронизировать таймеры абонентов сети с высокой точностью. Упомянутые протоколы близки к Ethernet лишь на нижних уровнях OSI, но являются важным шагом к приведению всего «зоопарка» промышленных протоколов к единому знаменателю.

*Лопухов Иван Владимирович — бренд-менеджер компании ПРОСОФТ.  
Контактный телефон (495) 234-06-36.  
[Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)*

#### Читателям журнала в канун Нового 2013 года (года змеи)

*Летит дракон, поджавши хвост,  
Навстречу — змей ползучий,  
Пусть будет новый год не прост,  
Но пусть он будет лучше!*

*И для того мы все должны  
Понять в одно мгновенье —  
Мы, божьи дочки и сыны,  
Мы, наше поколение,*

*Мы все, кто беден и богат,  
Кто с чешуей, кто с кожей,  
И зверь, и паразит, и гад  
Мы все одним лишь схожи,*

*Тем, что живем в единый миг  
Под солнышком единым,  
Младенец, юноша, старик,  
Славяне, греки, финны,*

*А значит, надо всех вокруг  
И холить, и голубить,  
Ведь предстоит нам вместе, друг,  
И начать, и углубить!*

© Л. М. Яковис