

БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ В ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Н.И. Аристова (Журнал «Автоматизация в промышленности»)

Приводится обзор технических характеристик стандартов беспроводной связи, используемых при решении задач промышленной автоматизации: IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4a (сверхширокополосные системы UWB), сотовая телефония 2G и 3G, IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (широкополосная беспроводная связь), IEEE 802.22 (White space), IEEE 802.15.4 (Zigbee, WirelessHART, ISA100.11a). Кратко перечислены области применения этих стандартов в промышленности.

Ключевые слова: беспроводная связь, стандарт, скорость передачи данных, частота, сотовая связь, беспроводные сенсорные сети, датчики, широкополосная связь.

Беспроводная связь — одна из наиболее динамично развивающихся отраслей инфраструктуры современного общества. От первых опытов по созданию беспроводной электросвязи прошло около 100 лет, за это время средства и технологии беспроводной связи, как составная часть научно-технического прогресса, проникли во многие области современного общества. Сегодня проекты по автоматизации производств являются активными потребителями услуг беспроводной связи. Это стало возможным благодаря стремительному развитию различных стандартов беспроводной связи в течение последних 10 лет. Произошедшие усовершенствования в технологиях беспроводной связи позволили последним занять достойную нишу в области промышленной автоматизации и даже удовлетворять требованиям промышленности по надежности, устойчивости работы сети, времени отклика и т.д. Современные средства беспроводной связи, несмотря на незначительные габариты и вес, зачастую представляют собой достаточно сложные технические устройства, требующие наличия квалифицированных специалистов по проектированию таких систем и поддержанию их высоких эксплуатационных характеристик. Грамотное применение возможностей беспроводных линий связи приносит значимый экономический эффект, так как не требует прокладки кабельных линий; характеризуется низкими эксплуатационными расходами, высокой пропускной способностью и качеством цифровой связи, быстрым развертыванием и модификацией конфигурации сети, возможностью преодоления пространственных препятствий — железных дорог, рек, гор и т.д. Таким образом, использование беспроводной связи в промышленности имеет серьезные преимущества, хотя не лишено и недостатков. Поэтому принятие решения об использовании беспроводных средств связи и выбор стандарта и вида связи для решения конкретных задач требуют от руководства предприятий серьезного и осмысленного подхода.

Рассмотрим современное состояние стандартов беспроводной связи, их плюсы и ограничения, а также возможные области применения сетей на их основе в промышленности.

Технология Bluetooth

Спецификация Bluetooth разработана группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG),

включающей компании Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia, 1998 г. Позднее Bluetooth SIG и IEEE достигли соглашения, на основе которого спецификация Bluetooth стала частью стандарта IEEE 802.15.1. Идеология Bluetooth — это универсальный радиоинтерфейс, связывающий самые разные устройства друг с другом и не требующий дорогой аппаратной поддержки. Она описывает пакетный способ передачи информации с временным мультиплексированием. Радиообмен происходит на расстоянии 100 м, скорость передачи данных 1...3 Мб/с, пропускная способность — 0,7...2,1 Мб/с. В радиотракте применен метод расширения спектра посредством частотных скачков и двухуровневая гауссова частотная модуляция. Выделенный частотный диапазон разбивается на 79 каналов, переключение которых происходит 1600 раз/с. Такой механизм позволяет быстро отстроиться от помех даже в ложной обстановке промышленного производства. В качестве мер защиты в Bluetooth предусмотрено кодирование передаваемых данных, а также выполнение процедуры авторизации устройств [1]. Идеология Bluetooth активно развивалась в направлении снижения энергопотребления, скорости и качества передачи данных.

В 2010 г. утверждена спецификация Bluetooth 4.0, включающая протоколы «Классический Bluetooth» (состоит из протоколов предыдущих спецификаций), «Высокоскоростной Bluetooth» (основан на Wi-Fi) и «Bluetooth с низким энергопотреблением» (предназначен для миниатюрных электронных датчиков, низкое энергопотребление достигается за счет использования специального алгоритма работы).

Достоинства технологии Bluetooth: небольшой радиус действия, что означает малую мощность передатчика и низкую потребляемую мощность; надежная передача данных в условиях высокого уровня электромагнитного излучения различной природы, высокая устойчивость к интермодуляционным помехам и отсутствие влияния устройств Bluetooth на обычную бытовую электронику; недорогая программно-аппаратная реализация, простота использования.

Основное препятствие в распространении Bluetooth заключалось в том, что он действует в одной полосе частот (2,45 ГГц) со стандартами IEEE 802.11 и HomeRF. Теоретически эти сети могут мешать друг другу. Однако в настоящее время технология Bluetooth применяется очень активно и является

твердо устоявшимся коммуникационным стандартом для беспроводной связи на малых расстояниях.

Беспроводные частные сети (WPAN) работают по протоколу беспроводной связи IEEE 802.15.3, являющемуся наследником Bluetooth (частота 2,4 ГГц). Протокол обеспечивает скорость передачи данных до 55 Мбит/с на расстоянии до 100 м, в такой сети одновременно могут работать до 245 пользователей. При возникновении помех со стороны других бытовых устройств или иных сетей, сети на основе IEEE 802.15.3 будут автоматически переключать каналы. Также поддерживаются скорости передачи данных — 11, 22, 33 и 44 Мбит/с. Шифрование данных в сетях IEEE 802.15.3 может осуществляться по стандарту AES 128 [1].

Применение. Рынок устройств, использующих Bluetooth, не ограничивается сегодня только бытовыми и офисными применениями. В промышленных системах эта технология все чаще используется как замена проводов, например, в широко распространенном интерфейсе RS-232. Радиоудлинители на базе Bluetooth-модулей с поддержкой SPP-профилей Bluetooth (Serial Port Profile) позволяют организовать «прозрачную» передачу данных по последовательному протоколу и быстрый ввод/вывод данных и сигналов управления. SPP-профиль эмулирует последовательный порт, предоставляя возможность замены стандартного RS-232 беспроводным соединением [2].

В последнее время производители оснащают Bluetooth-модулями датчики, встраиваемые в промышленное оборудование для контроля состояния последнего. Применение в выносных блоках контроллеров, расположенных вблизи данного оборудования, аналогичных Bluetooth компонентов позволяет организовать беспроводную связь датчиков с контроллерами, что значительно упрощает и удешевляет монтаж сети и облегчает ее обслуживание. Также беспроводная сеть Bluetooth используется при взаимодействии переносной панели оператора с контроллером [3].

Сверхширокополосная связь

Сверхширокополосные системы UWB (IEEE 802.15.4a — Ultra Wideband) работают в диапазоне 3,1 ГГц...10,6 ГГц, спектральная плотность энергии их сигнала < -41 дБм/МГц, ширина спектра $\geq 1,5$ ГГц. Данные передаются в виде одиночных сверхкоротких (длительностью всего несколько наносекунд) энергетических импульсов, псевдослучайно распределяемых по всей ширине полосы. UWB-системы используют ортогональные псевдослучайные последовательности не для расширения спектра сигнала, а только для сглаживания его спектральной характеристики, формирования отдельных каналов связи и защиты от помех.

UWB-системы интересны тем, что они гораздо эффективнее используют выделенный диапазон частот. Благодаря отсутствию несущей частоты сигнал как бы размывается по всему диапазону, при этом, например, в пределах одного помещения может без

проблем работать огромное число UWB-устройств без взаимных помех. В UWB-системах отсутствует интерференция прямо распространяющегося сигнала с его отражениями от различных объектов. Из-за высокого эффективного усиления UWB-системы могут работать с очень малой средней мощностью передатчика (примерно 250 мкВт). Благодаря низкой мощности излучения UWB-устройства не мешают существующим радиотехническим системам, работая в одном с ними диапазоне. Поскольку UWB-сигнал распространен по широкому спектру, обнаружить его, а тем более перехватить или заглушить, весьма проблематично. UWB-системы характеризуются сверхвысокой пропускной способностью: при связи на расстоянии ≤ 3 м достигнута стабильная скорость передачи на уровне 480 Мбит/с. Однако при отдалении всего-то на 10 м пропускная способность падает до 110 Мбит/с, при удалении на 30 м сигнал полностью смешивается с прочим шумом. Конечно, быстрое рассеивание сигнала можно считать и плюсом, так как он заведомо не будет мешать другим сетям в соседних помещениях, да и безопасность будет заметно выше. Проблемой для UWB являются также всякие препятствия: люди, стены и т. д.

Достоинства сверхширокополосной связи: высокая помехозащищенность, адаптивность к реальной помеховой обстановке, низкий, шумоподобный уровень сигнала, экономичное использование частотного ресурса, сложность перехвата и постановки прицельных помех, техническая простота реализации. UWB приемники и передатчики имеют исключительные характеристики по многолучевому распространению, высокое канальное уплотнение, они не сложны и не дороги в изготовлении.

Применение. На данный момент продвижение UWB планируется в трех основных направлениях: беспроводное подключение компьютерной периферии (внешние жесткие диски и приводы лазерных дисков, принтеры, сканеры и многое-многое другое); обмен данными между мобильными устройствами; связь бытовой электроники.

На промышленном уровне UWB-системы могут быть использованы для высокоточного измерения расстояния и местоположения, в частности, в специализированных сетях и сетях датчиков. UWB радары могут осуществлять стробирование по дальности, иметь превосходящую резекцию помех, высокое разрешение при низкой возможной частоте и могут быть использованы как для наблюдения, так и для датчиков движения [4].

Сотовая связь

Сотовая связь — один из видов мобильной радиосвязи, в основе которого лежит сотовая сеть. Ключевая особенность заключается в том, что общая зона покрытия делится на ячейки (соты), определяющиеся зонами покрытия отдельных базовых станций.

Самый массовый в России стандарт GSM действует в диапазонах 900 и 1800 МГц (в США — 1900 МГц).

Базовая станция поддерживает 1...16 частотных каналов. В GSM использован принцип временного разделения канала (TDMA). Использован принцип медленных частотных скачков – прием/передача нового кадра может происходить на новой несущей частоте. При этом сохраняется дуплексный разнос в 45 МГц. Радиус соты в GSM до 35 км ограничен возрастающей временной задержкой распространения сигнала, к которой чувствительна технология TDMA.

Цифровой стандарт второго поколения DAMPS (Digital AMPS) возник на основе AMPS (Advanced Mobile Phone System), рассчитанного на диапазоны 824... 840 и 869...894 МГц, использующего каналы дуплексные с разнесом на 45 МГц, ширину канала 30 кГц. Стандарт DAMPS действует в том же диапазоне, что и предшественник, но здесь применено временное разделение каналов – циклически повторяющиеся кадры с тремя временными интервалами. Размер соты – до 20 км.

Технология CDMA (Code-Division Multiple Access) – множественный доступ с кодовым разделением каналов. Спецификация IS-95 (cdmaOne) занимает частотный диапазон 824...840 и 869...894 МГц. Ширина канала – 1,25 МГц. Существует более высокочастотная версия в диапазоне 1890...1930 и 1950...1990 МГц с дуплексным разнесом 80 МГц.

Основной недостаток систем мобильной связи второго поколения – низкая скорость передачи данных 9,6...14,4 Кбит/с. Перед разработчиками стояла задача увеличить эту характеристику.

В сетях 3G обеспечивается предоставление двух базовых услуг: передачи данных и голоса. Согласно регламентам ITU (International Telecommunications Union – Международный союз электросвязи) сети 3G должны поддерживать следующие скорости передачи данных:

- для абонентов с высокой мобильностью (до 120 км/ч) – ≤ 144 Кбит/с;
- для абонентов с низкой мобильностью (до 3 км/ч) – 384 Кбит/с;
- для неподвижных объектов – 2 Мбит/с.

Широкополосная технология CDMA (WCDMA) с частотным и временным разнесом прямого и обратного каналов (FDD WCDMA и TDD WCDMA) соответственно для парного и непарного спектра частот удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к сетям третьего поколения. Эта спецификация основывается на расширении спектра методом прямой последовательности в полосе 5 МГц на канал.

Развитием технологии CDMA также является проект cdma2000 в трех стадиях: 1X, 3X и cdma2000 DS (работы над развитием последней прекращены). CDMA 1X позволяет увеличить число логических каналов до 128 в спектральной полосе 1,25 МГц, при этом реальная скорость – до 144 Мбит/с. Спецификация CDMA 3X – утроение спектральной полосы канала cdmaOne – 3,75 МГц. Скорость превышает 2 Мбит/с. Базовые станции в сетях cdma2000 требуют синхронизации [1].

В 2008 г Международное объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи, утвердило следующий после WCDMA стандарт широкополосной сети мобильной связи – LTE (Long-Term Evolution – Долговременное развитие). Технология LTE обеспечивает теоретическую пиковую скорость передачи данных до 326,4 Мбит/с от базовой станции к пользователю и до 172,8 Мбит/с в обратном направлении. Дальность покрытия – 5...100 км, частота 700...4000 МГц, ширина канала 1,4...20 МГц.

Плавный переход к сетям 3G также привлекателен и для операторов сетей, базирующихся на технологии TDMA: GSM и DAMPS. Технология пакетной передачи GRPS – надстройка над сетями GSM с введением пакетной коммутации. При пакетной коммутации данные передаются через свободные от речевого трафика каналные интервалы. Реальными становятся скорости >100 Кбит/с. Одно из важнейших достоинств пакетной коммутации – быстрое установление соединения. Абонент занимает канал только в момент передачи. Поэтому тарификация может происходить на основе реально переданной информации, а не пропорционально времени нахождения в сети. Чтобы внедрить технологию GRPS на существующие сети GSM, их инфраструктуру достаточно дооснастить оборудованием пакетной передачи, а каждый GSM-контроллер – блоками управления пакетной связью.

Развитием пакетной передачи стала технология EDGE (Enhanced Data for Global Evolution), основанная на изменении метода модуляции несущей и адаптивной схемы защитного кодирования. На физическом уровне протокол EDGE совпадает с GSM, включая структуру кадров и мультикадра. При этом общая скорость на несущую – до 384 Кбит/с, что позволяет рассматривать EDGE как технологию сетей третьего поколения (3G) [1].

Четвертое поколение мобильной связи 4G устанавливает еще более высокие требования к скорости передачи данных: >100 Мбит/с для подвижных и 1 Гбит/с стационарных абонентов (по данным ITU).

Достоинства сотовой связи: простота, отсутствие значительных капитальных вложений, общая малая стоимость ее реализации в практически любом географическом месте расположения предприятия. Недостатки: невысокая скорость передачи данных, вероятность существенных временных задержек в доставке сообщений, перегрузка сотовой сети.

Применение. Стандарты сотовой связи применяются для оперативной связи систем автоматизации с оператором в задачах телеметрии, диспетчеризации и мониторинга, дистанционного управления, контроля технологических параметров (температура, давление и др.), учета расхода энергоносителей, в системах сбора данных с удаленных объектов промышленных предприятий. Поскольку большинство перечисленных функций реализуются с помощью SCADA-системы, то разработчики SCADA-систем стали добавлять

функции обработки сообщений, полученных по сотовой связи (в первую очередь SMS сообщения), в свои продукты. Все эти задачи решаются для объектов, не требующих отклика в реальном времени и не критичных к кратковременным отказам средств связи.

Отдельная значимая область применения стандартов сотовой связи — навигационные системы, активно развивающиеся в настоящее время. Разнообразие режимов в сотовых сетях позволяет оптимизировать создаваемые системы по стоимости эксплуатации канала связи.

Беспроводные локальные сети на базе стандартов IEEE 802.11. Wi-Fi

Стандарт IEEE 802.11 (1997 г.) "Спецификация физического уровня и уровня контроля доступа к каналу передачи беспроводных локальных сетей" (Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications) рассматривает два нижних уровня модели взаимодействия открытых систем (OSI) — физический и уровень звена данных (Data Link layer). Последний подразделяется на два подуровня: Logical Link Control (LLC) — описан в стандарте IEEE 802.2 и Medium Access Control (MAC), то есть управление доступом к каналу (среде передачи) — описан в стандарте IEEE 802.11. На физическом уровне стандарт определяет способ работы со средой передачи, скорость и методы модуляции, на MAC-уровне — принцип, по которому устройства используют общий канал, способы подключения и аутентификации устройств к точкам доступа, механизмы защиты данных.

В основу стандарта 802.11 положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной, так и нескольких ячеек. На MAC-уровне предусмотрен механизм защиты данных, включающий аутентификацию станций и собственно шифрование передаваемых данных.

Стандарт IEEE 802.11a (1999 г.) ориентирован на работу в диапазоне 5 ГГц и основывается на механизме кодирования данных — частотном мультиплексировании посредством ортогональных несущих (OFDM), который предполагает параллельную передачу полезного сигнала одновременно по нескольким частотам диапазона, в то время как технологии расширения спектра передают сигналы последовательно. В результате повышается пропускная способность канала и качество сигнала. В IEEE 802.11a каждый пакет передается посредством 52 ортогональных несущих, каждая с шириной полосы порядка 300 кГц (20 МГц/64). Ширина одного канала — 20 МГц. В совокупности с различными скоростями кодирования образуется набор скоростей передачи 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 и 54 Мбит/с. К недостаткам 802.11a относятся более высокая потребляемая мощность радиопередатчиков для частот 5 ГГц, а также меньший радиус действия (оборудование для 2,4 ГГц может работать на расстоянии до 300 м, а для 5 ГГц — около 100 м).

Спецификация IEEE 802.11b (1999 г.) рассматривает работу в диапазоне 2,4 ГГц только методом прямой

последовательности (DSSS) и обеспечивает диапазон скоростей до 11 Мбит/с. Для этого используется ССК-модуляция (Complementary Code Keying — кодирование комплементарным кодом), не лишенная некоторых недостатков. Поэтому также прорабатывался другой способ модуляции — пакетное бинарное сверхточное кодирование PBCC (Packet Binary Convolutional Coding), который вошел в стандарт IEEE 802.11b как дополнительная опция.

IEEE 802.11g (2003 г.) — высокоскоростной стандарт (до 54 Мбит/с) в диапазоне 2,4 ГГц, где происходит перенос схемы модуляции OFDM из 5 ГГц диапазона в область 2,4 ГГц при сохранении возможностей устройств стандарта 802.11b. Это возможно, поскольку в стандартах 802.11 ширина одного канала в диапазоне 2,4 и 5 ГГц схожа и составляет 22 МГц по уровню 30 и 20 дБ соответственно. Правда по уровню 28 дБ маска канала в 802.11a допускает полосу спектра шириной 40 МГц, что может создать проблемы. Разработчики 802.11g предусмотрели ССК-модуляцию для скоростей до 11 Мбит/с и OFDM — для более высоких скоростей. Предусмотрена возможность работы в смешанном режиме ССК-OFDM. IEEE 802.11g гарантирует обратную совместимость со стандартом 802.11b [1].

IEEE 802.11h (2003 г.) — спецификация содержит дополнительные процедуры и ограничения для диапазона частот 5 ГГц. Благодаря этому стандарту передача на частоте 5 ГГц стала возможна повсеместно даже вне помещений [5].

Стандарт 802.11n утвержден организацией IEEE в 2009 г. В версиях 802.11 (до n спецификации) все данные передавались лишь в один поток. В версии n их число может достигать до 4 ед., хотя до сих пор чаще всего используются только 2 канала. Каждый из каналов может работать на скорости 150 Мб/с. Это значит, что суммарная максимальная скорость вычисляется как произведение максимальной скорости каждого канала на их число. Для 802.11n получаем теоретическую скорость до 600 Мб/с, максимально возможная скорость передачи данных для двух каналов составляет 300 Мбит/с. Практическая скорость, на которой могут работать устройства — 120...130 Мб/с. Радиус действия в 10 раз больше по сравнению с 802.11g. Основные преимущества нового стандарта обеспечиваются за счет технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output), когда сигнал передается и принимается несколькими антеннами одновременно [5].

Черновой вариант стандарта IEEE 802.11ac был принят в начале 2011 г. Спецификация работает на частотах 5...6 ГГц. Усовершенствования связаны с удвоением ширины канала до 80 МГц (по умолчанию), а в некоторых случаях и 160 МГц. Число каналов увеличено до 8 ед. Максимальная теоретическая скорость, которую может обеспечить стандарт, — 7 Гб/с. Хотя реальные устройства сначала будут работать на скоростях до 1 Гб/с. На данный момент уже представлены отдельные устройства, поддерживающие данную

Простота применения беспроводной связи не предшествует сложности беспроводных технологий, а вытекает из нее.

Журнал «Автоматизация в промышленности»

версию стандарта, например, производства компании Cisco (www.windxp.com.ru/articles102.htm).

Оборудование, соответствующее стандартам семейства IEEE 802.11, может быть протестировано организацией Wi-Fi Alliance и получить право нанесения торговой марки Wi-Fi.

Достоинства сетей данного класса: широкие возможности их применения в различных задачах контроля и управления отдельными производственными процессами, простое и дешевое внедрение, возможность использования в местах, где прокладка кабелей невозможна. Недостатки: более низкая надежность работы по сравнению с проводными сетями, не столь высокая степень защиты информации и меньшая скорость передачи данных, чем у высокоскоростных сетей Fast и Gigabit Ethernet.

Применение. Технология Wi-Fi получила широкое применение во многих современных промышленных предприятиях, муниципальных учреждениях, жилом секторе как универсальная альтернатива проводных локальных сетей. Многие гостиницы, отели, рестораны, фаст-фуды предоставляют доступ к своей Wi-Fi сети. Технология Wi-Fi позволяет строить беспроводные сети городского масштаба.

В промышленности стандарты серии IEEE 802.11 применяются на расстояниях 100...300 м: для развертывания локальных сетей на производственных участках, где прокладка проводного кабеля невозможна; для общения удаленных пользователей с проводной сетью или удаленных проводных сетей друг с другом; для связи интеллектуальных полевых приборов, распределенных по предприятию, с контроллером, расположенном в операторной, для связи средств автоматизации с мобильными устройствами и т. д. [2].

Широкополосная беспроводная связь – стандарт IEEE 802.16

Широкополосная беспроводная связь уже давно рассматривается в качестве реальной альтернативы традиционным способам высокоскоростного абонентского доступа, в том числе и новым "проводным" технологиям, таким как DSL и кабельные модемы.

Комитет 802 IEEE создал рабочую группу, отвечающую за разработку стандарта широкополосной беспроводной связи. В разрабатываемом стандарте рассматриваются радиоинтерфейсы, методы модуляции и доступа к каналам, системы управления потоками, структура передаваемых данных, механизмы связи протоколов передачи данных верхних уровней (прежде всего – ATM и IP) с протоколами физического уровня IEEE 802.16 и др.

В 2001 г. вышла первая версия стандарта IEEE 802.16 для частот в диапазоне 10...66 ГГц, для которых характерно быстрое затухание сигнала и работа возможна только в зоне прямой видимости между передатчиком и приемником. При этом решается одна из главных проблем радиосвязи – многолучевое распространение сигнала. В радиоканалах шириной 20, 25 и 28 МГц скорость передачи данных достигала 32...134 Мбит/с и дальность передачи составляла 2,5 км.

В начале 2003 г. появилась доработанная версия стандарта 802.16 а, описывающая использование частотного диапазона 2...11 ГГц, для которого не требуется наличие прямой видимости между приемником и передатчиком. В этом стандарте предусматривалось создание фиксированных беспроводных сетей масштаба мегаполиса. Поддерживалась скорость передачи информации до 75 Мбит/с на сектор одной базовой станции на расстоянии 6...9 км в радиоканалах с изменяемой полосой пропускания 1,5...20 МГц. Типовая базовая станции имела 4...6 секторов.

В 2004 г. был принят стандарт IEEE 802.16d или фиксированный WiMAX (поддерживается фиксированный доступ в зонах с наличием либо отсутствием прямой видимости – статические абоненты). Частотный диапазон: 2...11 ГГц, максимальная скорость передачи информации – 70 Мбит/с, а радиус действия – 70 км в отсутствии прямой видимости.

Через год появился стандарт IEEE 802.16 e или мобильный WiMAX – новый шаг в эволюции развития беспроводного широкополосного доступа в Internet. Основное внимание здесь уделено вопросам поддержки мобильных абонентов и роумингу между сетями, построенными на различных беспроводных стандартах. Роуминг позволяет при передвижении абонента на скорости до 120 км/ч «бесшовно» переключаться между базовыми станциями (аналогично сетям сотовой связи). В стандарте возможна работа как в условиях прямой видимости, так и в ее отсутствии. Теоретическая пропускная способность до 40 Мбит/с, а при передаче данных на стационарный компьютер скорость достигает 75 Мбит/с.

В 2011 г. был утвержден стандарт IEEE 802.16m, также известный как WirelessMAN-Advanced или WiMax-2, заменяющий на рынке предыдущий стандарт WiMax (802.16e). Его основной особенностью является увеличение скорости передачи данных в несколько раз. Так, стационарное оборудование в сетях нового поколения сможет принимать данные на скорости до 1 Гбит/с, а мобильные гаджеты и портативные компьютеры – до 100 Мбит/с. При этом сохранится обратная совместимость с существующим оборудованием WiMAX. Также стандарт IEEE 802.16m предлагает поддержку многопользовательской технологии MIMO, поддержку малых базовых станций и самоорганизующихся сетей, режим работы с несколькими несущими и ряд других технологий.

В 2003 г. создана общественная организация WiMAX форум (Worldwide Interoperability for Microwave

Access, www.wimaxforum.org), призванная осуществлять продвижение и сертификацию устройств беспроводного широкополосного доступа, основанных на согласованном стандарте IEEE 802.16. В 2008 г. объявлено о создании нового стратегического консорциума – Open Patent Alliance (OPA), в который вошли такие гиганты широкополосной индустрии, как: Cisco, Alcatel-Lucent, Intel, Clearwire, Samsung и Sprint. Цель создания альянса – продвижение дальнейшей стандартизации в области технологий WiMAX, снижение стоимости на услуги и оборудование, а также расширение их многообразия.

Применение. Стандарт WiMAX применяется для развертывания сетей при значительном удалении объектов друг от друга. Стандарт WiMAX дополняет технологию Wi-Fi обеспечивать доступ в Internet, передачу голосовой почты, видеоконференций и т.д. на больших расстояниях.

Стандарт IEEE 802.22. White space

В июле 2011 г. было объявлено о завершении работ над стандартом беспроводной связи IEEE 802.22, известным под именем white space ("пробел"). Название неслучайно: для передачи данных предполагается использовать "пробелы" в телевизионном ОВЧ/УВЧ-диапазоне (54...862 МГц) частот. Этот подход стал возможен за счет изобретения "умного" радио – технологии когнитивной радиопередачи, которая обеспечивает подстройку параметров приемопередающих устройств сети, так чтобы передача данных не вылезала на "лицензионные" частоты.

Спецификация IEEE 802.22 значительно отличается от стандарта IEEE 802.16 (WiMax), с которым его часто сравнивают. Основная разница в том, что 802.22 ориентирован на сельские местности и отдаленные регионы. Его радиус зоны покрытия – до 100 км, а скорость передачи данных – до 22 Мбит/с. Кроме того, 802.22 является первым в мире стандартом, использующим когнитивные технологии для совместного использования оптимального частотного диапазона, и не требует оформления лицензий на использование определенных частот.

Система постоянно анализирует спектр радиосигнала, окружающие фоновые сигналы, а также поведение пользователей сети. Базовая станция, собрав всю информацию о частотном диапазоне и используя информацию о своем месторасположении (по GPS), определяет, какие частоты могут быть использованы для установления связи с пользователями сети. При уже установленной связи система периодически сканирует частотный диапазон на случай появления новых сигналов и при обнаружении таковых сразу же перестраивается на другие частоты. Сеть предназначена как для работы с профессиональными фиксированными базовыми станциями, так и с портативными (либо фиксированными) пользовательскими терминалами (модемами). Для охвата больших площадей необходимы соответствующие мощности сигналов.

В спецификации предполагается, что для покрытия зоны с радиусом в 30 км потребуется мощность излучения в 4 Вт. На базовой станции для этих целей размещается ненаправленная антенна, чтобы равномерно покрыть сигналом всю площадь [6].

Применение. Существующая система телевидения может служить примером успешного использования частотного диапазона нового стандарта для покрытия больших площадей. К тому же данным частотам не страшны стены и препятствия. Новая технология будет особенно полезна для обслуживания малонаселенных сельских районов. Недостаток технологии: меньшие частоты (длинные волны) нуждаются в более габаритных антенных системах. Примеров применения данного вида связи для промышленности на данный момент не имеется.

Протоколы, базирующиеся на стандарте IEEE 802.15.4

Стандарт IEEE 802.15.4 предусматривает небольшую дальность действия (10...75 м) и пропускную способность канала – до 250 Кбит/с. Передача на этой скорости ведется в диапазоне 2,4 ГГц. Небольшая мощность и скорость обусловлены малыми энергоресурсами связываемых устройств [1].

Спецификация ZigBee

Сети, образованные по протоколу ZigBee, появились в 1998 г. Поддерживающая организация – Альянс ZigBee. Стандарт IEEE 802.15.4, описывающий спецификацию, принят в 2003 г. Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети (точка-точка, дерево и звезда), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Кроме того, к достоинствам ZigBee следует отнести возможность выбора алгоритма маршрутизации в зависимости от требований приложения и состояния сети, механизм стандартизации приложений, гибкий механизм безопасности, простота развертывания, обслуживания и модернизации.

Способность ZigBee-сетей к масштабируемости без какого-либо вмешательства в работу устройств, быстрой переконфигурации сети по мере добавления в нее новых узлов, организации передачи данных через узлы-ретрансляторы с высокой степенью надежности, поддержке сложных сетевых топологий – все это открывает новые возможности для автоматизации и диспетчеризации удаленных объектов.

Применение. Стандарт ZigBee предназначен для объединения в единую локальную беспроводную сеть удаленных объектов промышленной автоматизации, управления, мониторинга и диспетчеризации. Перспективным является применение ZigBee на полевом уровне в беспроводных сенсорных сетях.

Сети ZigBee применяются во многих областях учета и телемеханики: при автоматизации жилых и строящихся помещений, промышленном управлении и мониторинге, в жилищно-коммунальном хозяйстве,

управлении освещением, при создании индивидуального диагностического медицинского оборудования, а также в бытовой электронике и ПК. Протокол ZigBee применяется при реализации RFID-решений, а также в навигационных системах.

Спецификация WirelessHART

Стандарт WirelessHART, опубликованный в 2007 г., основан непосредственно на HART-протоколе, но свободен от физической среды передачи. HART-устройства работают в нелицензируемом диапазоне 2,4 ГГц, используемом в качестве среды передачи несколькими беспроводными технологиями, включая беспроводную локальную сеть. В качестве физического уровня WirelessHART использует радиомодули, разработанные в соответствии с требованиями стандарта IEEE 802.15.4.

Стандарт WirelessHART использует сеть с одноуровневым кодированием (Flat mesh network), где все радиостанции формируют сеть, в которой каждая задействованная станция служит одновременно источником и приемником сигнала. Исходный передатчик посылает сообщение ближайшему соседу, который пропускает это сообщение дальше, пока оно не достигнет базовой станции и получателя. Таким образом увеличивается площадь покрытия сети. Кроме того, на этапе инициализации устанавливаются альтернативные маршруты на случай, если сообщение не сможет быть передано по определенному пути. Такое решение увеличивает надежность передачи. Технология WirelessHART реализует функции передачи и ретрансляции сигналов на полевом уровне или на уровне сенсоров, благодаря чему не требует использование дополнительного оборудования (узлов связи).

Сеть организуется и управляется централизованно сетевым администратором.

Координация коммуникации в сети с одноуровневым кодированием осуществляется посредством метода множественного доступа с временным разделением каналов (Time Division Multiple Access – TDMA), который синхронизирует радиостанции с периодом синхронизации 10 мс. Таким образом, радиостанции регистрируют коммуникацию с точностью 10 мс. Это сокращает время опережения и запаздывания в те периоды, когда станция должна быть активной.

Чтобы избежать источников интерференции и не создавать помех другим радиостанциям в диапазоне частот 2,4 ГГц, WirelessHART использует метод скачкообразной смены рабочей частоты с расширением спектра (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS). Все 16 частот, определенные в стандарте IEEE 802, используются параллельно. Уже занятые каналы вносятся в «черный список» и больше не применяются для организации связи.

Сочетание точного времени синхронизации с 10 мс циклом (TDMA) и применение всех 16 каналов IEEE 802.15.4 (FHSS) обеспечивает всей сети до 1600 сеансов связи в секунду. Структура сообщения имеет 128-битовое кодирование, учитывающее требования

к безопасности информационного обмена. Таким образом исключаются контроль сообщений и фальсификация используемых данных [7].

Стандарт WirelessHART поддерживается компаниями Emerson, ABB, Endress+Hauser, Siemens, Pepperl+Fuchs и др.

Стандарт ISA100.11a

Беспроводные промышленные сети, основанные на стандарте ISA100.11a, по принципу построения напоминают сети GSM. В роли базовых станций выступают узлы связи, которые устанавливаются на промышленной площадке в заранее определенных точках и обеспечивают устойчивое радиопокрытие заданной местности. Ключевая разница состоит в том, что базовые станции по стандарту ISA100.11a имеют беспроводное резервированное соединение и позволяют ретранслировать сигналы от соседних базовых и различных подвижных станций. Последние в стандарте ISA100.11a представлены преобразователями физических величин, устанавливаемыми на технологической площадке, а также другими беспроводными клиентами.

Сети, создаваемые на базе стандарта ISA100.11a, обладают хорошей масштабируемостью, в топологии сети типа mesh все беспроводные линии связи резервируются. Стандарт ISA100.11a основан на модели сетевого взаимодействия открытых систем. Например, на физическом и MAC-части канального уровня стека ISA100.11a, где описываются среда передачи данных (радиоканал) и методы разделения доступа к физической среде, применяется стандарт IEEE 802.15.4. Физический уровень стандарта ISA100.11a не имеет жесткой привязки к используемой технологии передачи данных 802.15.4 и может быть легко портирован на технологию 802.11 (Wi-Fi) или подобную. Стандарт ISA100.11a позволяет посредством специализированных адаптеров интегрировать полевые устройства различных протоколов, включая протокол HART проводных устройств.

В стандарте ISA100.11a применена магистральная маршрутизация данных на уровне специализированных узлов связи, что позволяет качественно улучшить показатель времени отклика автономных полевых устройств и снизить нагрузку на их питающие элементы. При этом допустимо и использование отдельных полевых устройств в режиме ретрансляции. По стандарту ISA100.11a функции ретрансляции и обеспечения mesh сети выполняют специализированные и запитанные от сети узлы связи. Такое решение освобождает батарею полевого прибора от лишних энергозатрат и существенно продлевает срок ее службы.

Методы доступа к среде передачи данных, используемые в стандарте ISA100.11a: многостанционный доступ с контролем несущей (CSMA – Carrier Sense Multiple Access), многостанционный доступ с разделением во времени (TDMA – Time Division Multiple Access), комбинация этих методов. Такой подход позволяет в одной подсети использовать бюджетное ре-

шение с методом доступа CSMA исключительно для целей мониторинга; при этом в соседней подсети для критических точек могут использоваться устройства с наименьшим периодом опроса и методом доступа к среде TDMA.

В целях обеспечения информационной безопасности и защиты от внешних радиопомех в стандарте ISA100.11a на физическом уровне используется метод расширенного спектра передачи данных. Стандарт ISA100.11a содержит программные механизмы, гарантирующие подлинность полученных информационных посылок, целостность и конфиденциальность передаваемых данных, а также защиту от хакерских атак извне. Также создана эффективная процедура защиты на канальном и транспортном уровнях стека ISA100.11a [8].

Стандарт ISA100.11a поддерживается компаниями Honeywell, Fuji Electric, General Electric, Yokogawa, Yamatake, BP, Chevron, ExxonMobil Research & Engineering, Shell Global Solutions и др.

Стандарты Zigbee, WirelessHART, ISA100.11a применяются для организации связи на уровне низкоскоростных промышленных датчиков на полевом уровне, в том числе для организации беспроводных сенсорных сетей. В перспективе ожидается возможность применения данных стандартов в системах ПАЗ.

Применение стандартов беспроводной связи в приложениях промышленной автоматизации

Развитие стандартов беспроводной связи повлияло на расширение рынка аппаратуры и необходимого ПО для организации беспроводных сетей. Сегодня выпускаются разнообразные варианты радиостанций точек доступа, мосты между проводной и беспроводной инфраструктурой, модемы, реализующие подключение к беспроводным сетям, сотовые телефоны. Начали выпускаться датчики со встроенными в них модемами беспроводных сетей. Большое значение разработчики уделяют созданию различных типов антенн радиостанций, так как от типа антенны зависит зона покрытия беспроводной сети.

Прилагаемое к аппаратуре беспроводных сетей ПО автоматизирует управление и конфигурирование сетей, выявляет посторонние устройства, пытающиеся подключиться к сети. Все это повышает стабильность работы беспроводной сети в целом [2].

Спектр прикладных задач, в которых сегодня может применяться беспроводная связь очень широкий: от мобильной голосовой связи до беспроводных сенсорных сетей полевого уровня АСУТП. Описанию проектов по автоматизации разных производственных уровней (от АСУТП до ERP) с применением беспроводной связи посвящено большое число статей. Беспроводная связь применяется на предприятиях различных отраслей промышленности, в торговле, на транспорте, в сельском хозяйстве и в ЖКХ.

Развитие стандартизации беспроводной связи и микроэлектроники подсказывают разработчикам

новые перспективные направления в области систем передачи и сбора данных. Остановимся подробнее на одном таком направлении – беспроводных сенсорных сетях.

Беспроводные сенсорные сети

Технологии беспроводных сенсорных сетей (БСС) появились в середине 90-х годов XX века. Однако практические применения стали возможны лишь в начале 2000 годов, когда развитие микроэлектроники позволило производить для таких устройств достаточно дешевую элементную базу. БСС – это беспроводные многоячейковые (mesh) сети с низкой скоростью передачи данных и сверхнизким энергопотреблением, которые могут использоваться не только для сбора показаний от датчиков, но и для передачи информации другого типа (например, команды управления). Такие сети имеют множество практических преимуществ относительно проводных систем:

- отсутствие необходимости в прокладке кабелей для электропитания и передачи данных;
- низкая стоимость монтажа, пуска-наладки и технического обслуживания системы;
- минимальные ограничения по размещению беспроводных устройств;
- возможность внедрения и модификации сети на эксплуатируемом объекте без вмешательства в процесс функционирования;
- надежность и отказоустойчивость всей системы в целом при нарушении отдельных соединений между узлами.

При этом БСС не уступают проводным сетям и по надежности передачи данных.

Обычно беспроводные сенсорные узлы передают информацию одной или нескольким базовым станциям (шлюзам), которые имеют различные интерфейсы (например, RS-232/485, USB, Ethernet, Wi-Fi и т.д.) для связи с внешними системами. Далее может выполняться визуализация данных в виде графиков, таблиц, отчетов и пр. или накопление в БД для последующего анализа. Выбор способа представления зависит от особенностей приложения.

Как правило, в БСС применяются радиочастотные приемопередатчики нелицензируемых диапазонов (например, 433 МГц, 868 МГц, 2,4 ГГц). Типовые значения дальности составляют 10 ...30 м внутри помещений и 100 ...300 м на открытом пространстве в прямой видимости. Однако способность узлов ретранслировать сообщения друг друга и автоматически искать маршруты передачи пакетов в обход препятствий делает возможным применение БСС в жестких условиях эксплуатации. В результате обеспечивается значительная площадь покрытия сети при малой мощности передатчиков и существенной экономии энергии.

Каждый сенсорный узел имеет микроконтроллер, который может быть использован для реализации распределенной обработки данных. В интеллектуальной БСС устройства способны на локальном уровне обмениваться информацией, анализировать ее и пере-

давать обработанную информацию, а не "сырые" данные. Это позволяет значительно сократить требования к пропускной способности сети, увеличить масштабируемость и срок эксплуатации системы. Однако добавление "интеллекта" в сеть требует учета особенностей прикладной задачи, поэтому этот подход, как правило, эффективен только при разработке заказной узкоспециализированной системы [9].

Для организации БСС возможно использование частнофирменных платформ, а также стандартизованных технологий. Применение последних имеет множество преимуществ, главное из которых — обеспечение совместимости и взаимозаменяемости изделий от различных производителей. Стандарты, на базе которых могут быть развернуты БСС: ZigBee, WirelessHART и ISA SP100.11a.

Заключение

Внедрение беспроводных технологий в промышленный сектор представляет собой довольно сложную и комплексную задачу. Отдельные беспроводные технологии уже давно утвердились на бытовом уровне, но совсем не значит, что они смогут без проблем применяться в условиях производства. С другой стороны, преуменьшать значение беспроводных решений для промышленности тоже нельзя, так как обычно такие решения во много раз дешевле, а в некоторых случаях им нет альтернативы.

В первую очередь это справедливо для уровня АСУТП, где радиодоступ позволяет оператору или технологу непрерывно контролировать производственный процесс из любого места на предприятии. С помощью дополнительных мобильных приложений оператор может не только постоянно контролировать производственные процессы, но и обмениваться сообщениями с обслуживающим персоналом. Информация о неисправностях оборудования будет поступать персоналу, который сможет осуществлять мониторинг производственного процесса с полным доступом к сетевой инфраструктуре предприятия [10].

Снижение затрат на подключение позволяет увеличить число точек измерения в пределах производственного процесса. В результате персонал, который управляет производством, сможет получать более достоверную информацию о производственном процессе. Это в свою очередь повышает эффективность производственного процесса, а также обеспечивает экономию на энергоресурсах. Мониторинг измерений в дополнительных точках процесса может существенно увеличить эффективность оборудования за счет уменьшения стоимости эксплуатации, которая, в том числе определяется и сроками устранения неисправностей.

Таким образом, мы рассмотрели основные существующие стандарты беспроводной связи и кратко

наметили возможные области их применения. Целью данного обзора не являются рекомендации по выбору стандартов беспроводной связи. Отметим только главное: при выборе беспроводного стандарта для реализации задач в промышленном секторе требуется учитывать в первую очередь скорость и надежность передачи информации, а также зону покрытия сигнала, то есть расстояние, на которое данные могут быть переданы с требуемой скоростью и надежностью.

В производственных помещениях бывает трудно обеспечить прямую видимость между двумя радиомодулями, а наличие множества металлических поверхностей порождает многолучевое распространение сигнала, вызывающее флуктуации уровня сигнала. При этом возможны ситуации, когда на производственной площадке передвигается громоздкое технологическое оборудование, например подъемный кран, создающее проблемы для беспроводных устройств, принимающих и передающих сигнал. Все подобные особенности производственных помещений также необходимо учитывать при развертывании сетевой инфраструктуры и выборе стандарта беспроводной связи. Подробнее об особенностях выбора стандартов беспроводной связи для промышленных применений описано в работах [10, 11].

Список литературы

1. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. Изд. Техносфера. 2006.
2. Федоров В. Модули Bluetooth в промышленных приложениях // Беспроводные технологии 2007. №3.
3. Ицкович Э.Л. Современные беспроводные сети связи в системах автоматизации на промышленных предприятиях // Датчики и системы. 2008. №6.
4. Арслан Х., Чен Чж. Н., Бенедетто М. Сверхширокополосная беспроводная связь Пер. с англ. под ред. В.С. Верба. Техносфера. 2012.
5. Лопухов И. Новые горизонты беспроводного Ethernet: 300Мб/с из воздуха // Современные технологии автоматизации. 2011. №2.
6. Корилов К. 802.22: White Space: новый стандарт беспроводной связи // Хакер. 2011. №10/11.
7. Жданкин В.К. Беспроводная технология HART становится реальностью // Территория Нефтегаз. 2009. №2.
8. Резник В.А. Инновации в мире беспроводных технологий: промышленный стандарт ISA100.1 1a // Автоматизация в промышленности. 2011. №6.
9. Баскаков С.С. Беспроводные сенсорные сети: вопросы и ответы // Автоматизация в промышленности. 2008. №4.
10. Гайкович Г., Фур П. Беспроводные технологии и их применение в промышленности: анализ распределения полос радиочастот для промышленного сектора в разных регионах мира, включая Россию // Электронные компоненты. 2010. №4.
11. Гайкович Г. Ф., Фур П. Беспроводные технологии и их применение в промышленности: Проблемы сосуществования разных радиосистем // Электронные компоненты. 2010. № 10.

Аристова Наталья Игоревна — канд. техн. наук, главный редактор журнала "Автоматизация в промышленности". Контактный телефон (495) 334-91-30.