

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Rezaei

ESTABLISHMENT OF WIRELESS NETWORKS FOR MONITORING INDUSTRIAL PRODUCTION

The structure and modus operandi of promising wireless net-works for industrial use are analyzed, methods to improve the efficiency of data collection, processing and transmission of data in industrial networks are proposed.

Проаналізовані структури і методи функціонування перспективних безпроводових мереж промислового призначення. Запропоновано методи підвищення ефективності процесів збору, обробки та передачі даних у промислових мережах.

Проанализированы структуры и методы функционирования перспективных беспроводных сетей промышленного назначения. Предложены методы повышения эффективности процессов сбора, обработки и передачи данных в промышленных сетях.

© В. Резаи, 2009

УДК 681.3/621.74

В. РЕЗАИ

СОЗДАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современное производство сложных технических объектов (авиакосмических, транспортных и др.) характеризуется большим количеством покупных материалов, изделий поставщиков и смежников, деталей и узлов собственного производства и сборки. При этом для обеспечения высокого качества производства и надёжности работы сложных объектов на начальных этапах производства необходимо организовать контроль параметров и характеристик поставляемых материалов и деталей, изготовленных предприятием деталей и изделий. Также реализовать оперативный мониторинг работоспособности сборных узлов и механизмов сложных объектов в процессе их испытаний. Производство сложных изделий характеризуется большим количеством участков изготовления деталей, сборки механизмов, узлов и подсистем, наличием испытательных стендов и участков. Автоматизация современного производства привела к тому, что качество и надёжность автоматизированных линий, станков и комплексов существенно влияет на конечный результат производства, также на качество производства влияет человеческий фактор. Все это требует организации обеспечения контроля и управления параметрами и показателями технологических и производственных процессов на различных уровнях. На сегодняшний день в промышленности только на самых нижних уровнях производства осуществляется непосредственная переработка материалов, энергии, информации, а на более высоких уровнях производства требуется получение и обработка оперативной

информации [1]. Высший уровень системы контроля качества на производстве (уровень руководства предприятия) требует интеграции и взаимодействия всех автоматизированных систем, включая доступ к базам данных и экспертным системам [1]. Необходимость мониторинга технологических и производственных процессов продиктована целесообразностью систематического сбора и обработки информации, которая используется во время принятия решений. Ценность производственной информации определяется ее достоверностью и оперативностью, а также возможностью получить доступ к ней и провести необходимый анализ данных. Поэтому актуальной задачей является построение компьютерных сетей дистанционного мониторинга технологических и производственных процессов с целью своевременного выявления отклонений от нормы показателей и параметров технологических процессов, а также результатов испытаний работы узлов и агрегатов сложных изделий. Для построения производственных сетей широкое распространение получили беспроводные сенсорные и локальные сети [2, 3], позволяющие быстро и без существенных капитальных затрат разворачиваться на участках производственных цехов, организовать централизованное управление сбором и обработкой мониторинговых данных.

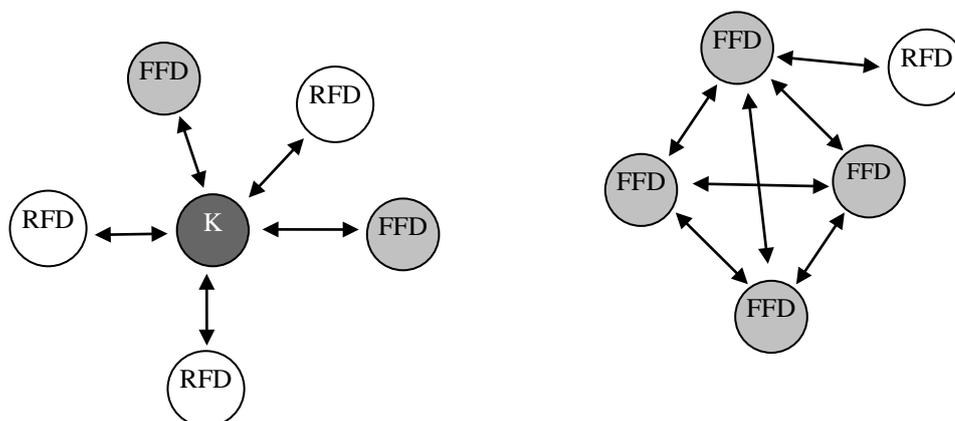
Цель работы – разработка методологии повышения эффективности работы беспроводных сетей мониторинга промышленного производства за счет контроля ввода достоверных данных и повышения помехоустойчивости передачи пакетов данных.

Анализ структур беспроводных сетей промышленного назначения.

Производство сложных объектов состоит из рабочих мест специализированных участков, являющихся основными подразделениями цехов предприятия. Поэтому на каждом рабочем месте изготовления деталей, сборки и испытания узлов необходимо организовать контроль нахождения в данных переделах теплофизических, механических, весовых, габаритных и других характеристик деталей, узлов и механизмов. Основой такого контроля является ввод и анализ выходных сигналов датчиков, сенсоров и видеосенсоров. Это низкочастотные аналоговые сигналы (температура, давление и др.), высокочастотные сигналы (вибросигналы, выходные сигналы акселерометров, звуковые сигналы и др.), дискретные сигналы типа «включено/выключено», «да/нет», а также видеосигналы (аналоговые, цифровые). Для ввода мониторинговых данных на каждом рабочем месте производства устанавливаются терминалы (абонентские системы) беспроводных сенсорных сетей, осуществляющих ввод, предварительную обработку выходных сигналов термодатчиков, тензодатчиков, систем виброиспытаний, видеосенсоров и др. Измерительные данные программно-аппаратными средствами терминалов (абонентских систем) сенсорных сетей передаются на верхние уровни интегрированной сети контроля и управления качеством производства в виде компактных и защищенных (от доступа к информации несанкционированных пользователей, а также от действия различных помех) пакетов данных.

Беспроводные сенсорные сети промышленного назначения строятся на основе технологий ZigBee, MeshLogic, Wireless HART [3–6]. Технология ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4) предусматривает работу сенсорных сетей в ISM-ди-

апазоне радиочастот (ISM – industrial, scientific, medical) [2, 3]: один канал в диапазоне 868,0 – 868,6 МГц (для Европы); 10 каналов в диапазоне 902–928 МГц с шагом центральных частот 2 МГц; 16 каналов в диапазоне 2450 МГц с шагом центральных частот 5 МГц. Скорость передачи в каналах составляет 20 Кбит/с (в диапазоне 868МГц), 40 Кбит/с (915 МГц) и 250 Кбит/с (2450 МГц). Топология сетей ZigBee (рис. 1) предусматривает взаимодействие двух типов устройств (устройство с уменьшенной функциональностью (RFD) и полнофункциональное устройство (FFD), выполняющее функцию координатора (К) сети) при соединении абонентов типа «звезда» и «равный с равным». Сеть (пикосеть), состоящая из одного FFD-устройства и нескольких RFD-устройств образует топологию типа «звезда». Если в пикосети несколько FFD-устройств – то сеть может быть одноранговой (сеть равноправных устройств с соединением «каждый с каждым») или сложной сетью, состоящей из объединения нескольких звездообразных кластеров [2].



Топология «Звезда»

Топология «Каждый с каждым»

РИС. 1. Топология сетей ZigBee

Преимуществом платформы ZigBee является ее открытость. Она широко используется в проектах «Интеллектуальный дом», «Индустрия будущего» [4]. Однако, в области построения автоматизированных систем технологических процессов (АСУТП), использование технологии ZigBee ограничено в силу ряда причин [4]: технология ZigBee имеет свой собственный стек протоколов верхнего уровня, который существенно отличается от протоколов промышленного назначения; ZigBee основана на базе стандарта IEEE 802.15.4_2003 (метод доступа к среде CSMA/CA на канальном уровне модели OSI), который не удовлетворяет повышенным требованиям по надежности передачи данных для сетей промышленной автоматики. Поэтому сенсорные сети на основе технологии ZigBee больше пригодны для мониторинга технологических процессов, а для управле-

ния процессами в АСУТП необходимо повышение надежности связи сетей ZigBee, например, путем повышения их помехоустойчивости.

Аппаратно-программная платформа MeshLogic [5] предназначена для создания беспроводных сенсорных сетей под различные прикладные задачи. В платформе MeshLogic на физическом уровне используется стандарт IEEE 802.15.4. Отличие от других технологий построения сенсорных сетей заключается в собственном стеке сетевых протоколов, который обеспечивает: полностью многоячейковую топологию сети; делает все узлы равноправными с функциями маршрутизатора; самоорганизацию и автоматический поиск маршрутов; устойчивость к соканальной интерференции; высокую масштабируемость и надежность доставки данных; возможность работы всех узлов от автономных источников питания. Однако, платформа MeshLogic, несмотря на ее преимущества в сравнении с ZigBee, малоприменима в промышленности, поскольку представляет собой частное решение [4].

Одна из перспективных беспроводных сенсорных технологий – технология Wireless HART [4], созданная на базе стандарта 802.15.4_2006 (в диапазоне 2400 – 2483,5 МГц). Эта технология имеет стек протоколов верхнего уровня, который совместим с промышленными протоколами HART, ModBus-RTU и Industrial Ethernet. За счет использования множественного доступа с временным разделением каналов, а также механизма быстрого переключения между 16 частотными каналами технология Wireless HART гарантирует надежность по обмену информацией, связанной непосредственно с управлением технологическим процессом АСУТП.

Учитывая внедрение мультимедийных услуг для АСУТП и АСУ предприятий, требующих больших скоростей обмена данными, а также для объединения разнородных сегментов проводных и беспроводных сетей промышленного применения перспективным является стандарт 802.11s. Совместное использование стандартов 802.11s и 802.15.4 позволит организовать различную топологию сетей («точка-точка», «звезда», mesh) и объединить различные модули сбора контролируемых данных, управляющие контроллеры, интеллектуальные сенсоры и камеры видеонаблюдения в единую сеть. Для построения локальных беспроводных сетей предприятий широкое распространение получили сети стандарта IEEE 802.11b (рабочее название стандарта Wi-Fi). Данный стандарт предусматривает два основных способа организации локальной сети (рис. 2): ad-hoc сеть («равный с равным»); структурированная сеть.

В первом случае связь устанавливается между двумя станциями и никакого администрирования не предусмотрено. В случае структурированной сети (это основной способ построения сетей Wi-Fi) связь между станциями осуществляется через точку доступа (ТД), которая является стационарным устройством и работает на фиксированном канале. Через ТД возможен выход на внешние кабельные сети. В сети Wi-Fi может быть несколько ТД, соединенных кабельной сетью Ethernet. В диапазоне 2,4 ГГц скорость передачи данных ограничивается величиной 11 Мбит/с, однако, из-за большого количества избыточной служебной информации в пакетах, реальная скорость составляет 6 Мбит/с [2]. В новых

версиях устройств стандарта IEEE 802.11 скорость выросла до 54 Мбит/с, а перспективный стандарт IEEE 802.11n предусматривает скорость обмена 100–300 Мбит/с [2].

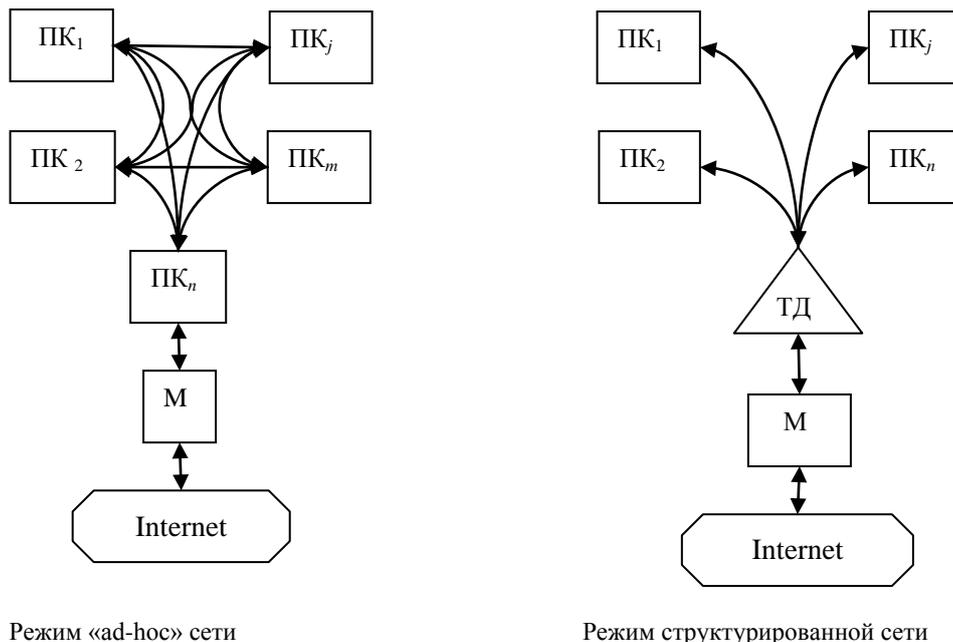


РИС. 2. Схема подключения пользователей в сетях Wi-Fi: ПК – персональный компьютер; ТД – точка доступа; М – модем

Оптимизация процессов сбора, обработки и передачи данных в промышленных сетях. Нижние уровни интегрированной сети промышленного назначения образуют сенсорные сети, работающие в условиях многих ограничений, включая ограничения на производительность процессоров, время обработки данных в условиях шумов и промышленных помех. Входные потоки данных определяются частотой дискретизации сигналов, которая пропорциональна количеству каналов n и для j -го измерительного канала, $j = 1, \dots, n$ частота дискретизации f_d^j является функцией многих переменных, т. е.

$$f_d^j = f(f_{\max}^j, q_{\max}^j, p^j, m^j), \quad (1)$$

где f_{\max}^j – максимальная частота сигнала j -го канала; $q_{\max}^j = [\log_2 A_{\max}^j / A_{\min}^j]$ – максимальное количество бит для кодирования j -го сигнала; A_{\max}^j и A_{\min}^j – максимальное и минимальное амплитудное значение j -го сигнала; $[c/\text{ш}]_{\text{вх}}$ – величина

входного соотношения сигнал/шум; p^j – тип фильтра нижних частот (ФНЧ), который устанавливается перед аналого-цифровым преобразователем (АЦП); m^j – порядок ФНЧ.

Для повышения достоверности ввода данных частота дискретизации n -канального АЦП выбирается в соответствии с выражением $f_{\text{д}}^n = 2nk \cdot f_{\text{макс}}^l$, где $k > 1$ – коэффициент повышения частоты дискретизации по сравнению с частотой дискретизации по теореме Котельникова $f_{\text{д}} k = 2f_{\text{макс}}^l$, $f_{\text{макс}}^l$ – максимальная частота наиболее высокочастотного l -го сигнала, $l \leq n$. На практике $k = f([\text{с/ш}]_{\text{вх}})$ выбирается адаптивно в пределах $1 \leq k \leq 10$ в зависимости от уровня входных шумов в тракте ввода данных.

С целью компактного кодирования данных на первом этапе по каждому измерительному каналу осуществляется адаптивная медианная фильтрация. Величина окна усреднения данных выбирается в соответствии с выражением:

$$l_{\text{опт}} = f(k, \Delta X_i^F), \quad (2)$$

где $\Delta X_i^F = X_i^F - X_{i-1}^F$, X_i^F – значение профильтрованного отсчета i -го сигнала.

Для оперативного и косвенного определения качества ввода данных необходимо определять величину $\Delta X_i^N = |X_i - X_i^F|$, где X_i – текущий отсчет входного сигнала. Величина ΔX_i^N косвенно отражает входное соотношение $[\text{с/ш}]_{\text{вх}}$. Сравнивая текущие величины ΔX_i^N и X_i^F в темпе ввода данных косвенным образом, возможно определить чистые и зашумленные участки сигналов. На чистых участках частота дискретизации и количество бит выбираются максимальными ($k \geq 8-10$, $q = q_{\text{макс}}$), а на зашумленных – минимальными ($k \rightarrow 1$, $q = q_{\text{мин}}$).

По результатам фильтрации на кривой определяются существенные отсчеты, к которым относятся экстремумы и точки перегиба. Компактное кодирование данных осуществляется следующим образом [6]:

- кодируются данные существенных и несущественных отсчетов, при этом служебные данные в компактной форме записываются после соответствующих битов экстремумов;
- на зашумленных участках осуществляется прореживание отсчетов, определяются и кодируются экстремальные значения сигналов;
- после выполнения операции сжатия данных с допустимыми потерями осуществляется сжатие данных без потерь.

Для криптоустойчивой защиты данных формируются проверочные биты, которые согласно секретному коду абонента случайным (псевдослучайным) образом размещаются в массиве данных информационных кадров пакетов данных. В дальнейшем осуществляется гаммирование полученных массивов данных с битами псевдослучайных последовательностей в соответствии с процедурой шиф-

рования данных с одноразовым шифром. Полученные данные подлежат помехоустойчивому кодированию [7].

Выводы. Для эффективной организации мониторинга промышленного производства целесообразно использовать абонентские системы сенсорных сетей, построенные по технологии ZigBee, Wireless HART, при этом на каждой абонентской системе необходимо организовать многофункциональную обработку и кодирование данных с учетом косвенного определения уровня шумов в измерительном тракте. Для компактного кодирования данных необходимо соединить кодирование отсчетов сигналов с допустимыми потерями и сжатие данных без потерь. Криптоустойчивое кодирование базируется на псевдослучайном размещении проверочных битов в массиве данных, а также на кодировании с использованием одноразового шифра. Полученные данные подлежат помехоустойчивому кодированию.

1. Лисецкий Ю.М., Бобров А.И. Пример построения корпоративной интегрированной информационной системы // УСиМ. – 2007. – № 6. – С. 9–16.
2. Шахнович Н.В. Современные технологии беспроводной связи, 2-е изд. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
3. Ильченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наук. думка, 2008. – 3. – 328 с.
4. Вишневський В., Гайкович Г. Беспроводные сенсорные сети в системах промышленной автоматизации // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2008. – № 1. – С. 106–110.
5. Баскаков С., Оганов В. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic // Электронные компоненты. – 2006. – № 8. – С. 65 – 69.
6. Резаи В. Обробка, кодування та передача інформації в процесі моніторингу якості виробництва // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конф. «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання». 19–22 травня 2009 р. (ПНМК-2009). – Бучач: Бучачський інститут менеджменту і аудиту, 2009. – Вип. 5. – Том. 1. – С. 42–46.
7. Зинченко В.П., Буров В.А., Зинченко С.В. Разработка систем передачи телеметрической информации для космических объектов // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2005. – № 3. – С. 57–72.

Получено 19.08.2009