

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ КАК ЧАСТЬ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

Зеленин А. Н., Власова В. А.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) идет нарастающими темпами. Это объясняется востребованностью услуг по обмену и обработке различных видов информации. Совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов выявления, отбора, формирования из совокупности сведений информации, ее ввода в техническую систему, анализа, обработки, хранения и передачи являются неотъемлемой частью сетей, построенных на основе интегрированного использования средств вычислительной техники и техники связи.

Долгие годы человечество старалось собирать и управлять информацией о процессах, происходящих в обществе и природе. Ранее это проводилось примитивными способами и занимало много времени. С развитием науки и техники уменьшилось время изучения анализа процессов и принятия управленческих решений по полученным результатам. Начиная с середины XX века быстрое развитие компьютерных, затем информационных технологий дало возможность человеку управлять не только общественными, но и природными процессами. Такие природные процессы, как резкое изменение климата, землетрясения, загрязнение окружающей среды, радиационная опасность и др., вынудили человека управлять природными процессами, не ограничиваясь управлением только общественными процессами. Именно расширение спектра предоставления информационных услуг дало развитие такой технологии как «Беспроводные сенсорные сети».

2. СТРУКТУРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Беспроводная сенсорная сеть (БСС, Wireless Sensor Network – WSN) – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров, мотов – от англ. "mote" – пылинка, названных так из-за тенденции к миниатюризации) и исполнительных устройств (рис.1), объединенных между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому. В состав мотов обычно входят автономные микрокомпьютеры (контроллеры) с питанием от батарей и приемопередатчики, что позволяет мотам самоорганизовываться в специализированные сети, связываясь друг с другом и обмениваясь данными посредством радиосвязи. В этом случае, моты выступают как компоненты беспроводных сенсорных сетей. Данные от отдельных узлов передаются по сети от узла к узлу на шлюз, и обычно оказываются на «супер-узле», или сервере, имеющем более высокую вычислительную мощность.

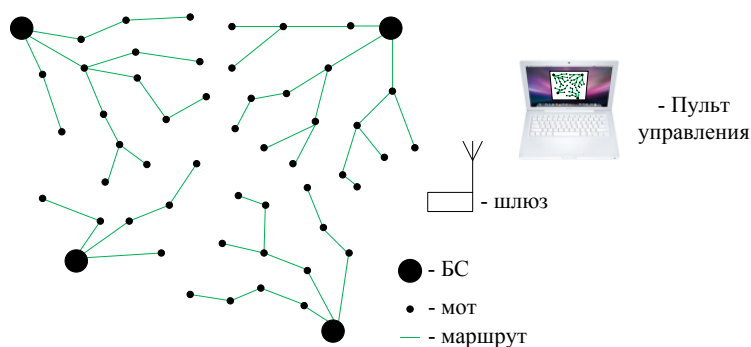


Рис. 1. Архитектура беспроводной сенсорной сети

Топология сети – важная модель состояния сети, поскольку неявно она дает много информации об активных существующих узлах и связности сети. Так как беспроводные сенсорные сети обладают ограниченными энергетическими ресурсами, алгоритмы сбора информации о топологии должны предполагать низкое энергопотребление.

В зависимости от требований предметной области формирование топологии сенсорной сети может происходить в двух режимах: топология типа "звезда" (иерархическая топология), либо топология типа "точка-точка" (однородная топология). В случае топологии типа "звезда" предполагается, что сеть состоит из объектов двух типов: полнофункциональные объекты и объекты с уменьшенной функциональностью. Вся сеть разбивается на сегменты, где объекты первого типа выступают в роли координаторов сегментов сети. Объекты первого типа могут вести общение с объектами второго типа и между собой. Объекты второго типа могут вести общение только с объектами первого типа. Ввиду повышенных нагрузок полнофункциональные устройства могут быть стационарными и иметь питание от внешних источников.

Такой способ организации сети может быть востребован для решения ограниченного спектра задач, например в промышленности.

Второй вариант организации работы сети – "однородная" топология, когда не требуется разбиение сети сегменты (кластеры) и все объекты могут вести общение между собой в пределах области видимости, при этом вся сеть может разбиваться на сегменты, управляемые координаторами, а может и нет. Данный подход к формированию сети позволяет организовывать более сложные конфигурации сети, адаптировать такие сети к решению более сложных и нестандартных задач. Подобная гибкость достигается благодаря тому, что при таком подходе отдельные объекты могут самостоятельно организовываться сеть и адекватно реагировать на изменения в топологии сети со временем. Кроме того в рамках такой сети может быть реализована маршрутизация сообщений, когда объекты не являющиеся непосредственными соседями могут общаться между собой. Именно этот способ зачастую неявно подразумевается в большинстве печатных трудов когда тематика работы непосредственно связана с понятием "сенсорная сеть".

Каждый координатор выбирает уникальный идентификатор подсети. Этот идентификатор обеспечивает связь между устройствами в сети с помощью коротких адресов и позволяет передавать данные между устройствами через независимые подсети.

Все сети топологии «звезда» работают независимо от других сетей. Это достигается путем выбора координатором идентификатора, который в данный момент не используется любой другой сетью в зоне действия сети. После того, идентификатор выбран, координатор разрешает узлам подключаться к сети.

3. БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ КАК ВИД ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

БСС являются дальнейшим развитием промышленных сетей АСУ ТП и до недавнего времени развивалась по своим законам и за счет «внутренних ресурсов». Но если считать, что инфокоммуникационная сеть – это совокупность территориально рассредоточенных информационных, вычислительных ресурсов, программных комплексов управления, размещаемых в оконечных системах сети и терминальных системах пользователей, взаимодействие между которыми обеспечивается посредством телекоммуникаций, и которые совместно образуют единую мультисервисную платформу [1], то совокупность датчиков, являющихся источниками измерительной информации, можно считать инфокоммуникационной сетью. Тогда актуальной становится задача «переноса» промышленных сетей в область информационных технологий. Такое положение поставило на повестку дня и новые практические вопросы: от согласования терминологии до формирования концептуальных подходов к проектированию как средств сетевой периферии, так и принципов взаимодействия элементов сети.

В концепции сенсорных сетей существенно изменяется роль человека, поскольку их элементы – сенсорные микрокомпьютеры – становятся гораздо более самостоятельными, зачастую угадывающими запросы человека, задолго до их поступления. «Гомоцентрическая» модель сетевых вычислений с человеком в качестве центрального звена в сети уходит в прошлое – человек смещается из центра вычислений на его периферию, концентрируясь на управлении процессом, становясь своеобразным посредником между реальным миром и компьютерами.

Естественно, для того, чтобы воплотить заманчивые мечты о сенсорных беспроводных сетях в жизнь, предстоит еще многое сделать. Сенсорные устройства, или «моты» должны представлять собой интегрированную платформу, сочетающую возможности сенсоров (внешних датчиков, регистрирующих определенные параметры или их совокупность), компьютеров и коммуникационных устройств. Крошечные компьютеры должны не только «различать» окружающий мир, но и действовать в зависимости от его состояния. И все они должны быть соединены в единую беспроводную сеть, чтобы иметь возможность передавать регистрируемую информацию «по цепи». Наконец, они должны обладать внушительным запасом энергии для автономной работы и стоить так мало, чтобы их было дешевле выбросить, чем подзарядить.

Исследовательская лаборатория корпорации Intel в Калифорнийском университете в Беркли (США) является своего рода центром исследования сенсорных сетей, координирующим усилия академического сообщества и индустрии. В качестве главной цели лаборатория видит создание упомянутой выше беспроводной интегрированной вычислительной платформы-сенсора с низким энергопотреблением и ведет работы в трех основных направлениях: разработка гибкой и открытой операционной системы; создание сетевых технологий, обеспечивающих самоорганизацию сетей из сенсоров; разработка востребованных приложений для Ad-hoc сетей.

Специалисты лаборатории уже располагают прототипом такой платформы, однако пока площадь сенсора-прототипа составляет 5-6 см² (примерно монета 1 грн), но исследователи из Беркли надеются, что в ближайшем будущем им удастся разместить сенсор в объеме, равном 1 мм³.

Поскольку главное предназначение сенсорных сетей – восприятие и передача полезной информации, специалисты лаборатории Intel в Беркли заняты разработкой методики объединения сенсоров с предметами, мониторинг которых вменяется им в обязанность, а также исследуют возможность создания

«актуаторов» – устройств на основе сенсоров, которые позволяют влиять на ситуацию, а не только регистрировать ее состояние.

Не менее активно сотрудники лаборатории работают над прецизионной биологией, созданием биочипов. Кроме сенсорного восприятия мира твердых вещей, исследуется возможность «ощущать» жидкие среды и биологические, развивающиеся объекты. Подобные исследования открывают колоссальные перспективы для медицинских и фармацевтических разработок, осуществления химических процессов и изготовления биологических препаратов.

Базовым элементом сенсорных сетей являются «сенсоры» (моты) – это устройства, сочетающие в себе сразу три функции: измерительную, вычислительную и коммуникационную.

1. Основным элементом, отличающим БСС от других сетей, является преобразователь – датчик или исполнительный механизм. На данный момент существует множество различных технически реализуемых схем преобразования различных физических величин в сигнал, который может быть измерен для последующего анализа. Температурные, акустические, сейсмические датчики, датчики давления, влажности химического состава, ориентации, ускорения, устройства управления двигателями, электромеханическими реле и клапанами, излучателями – этот список можно долго продолжать, а область техники, занимающаяся их разработкой и использованием, едва ли не самая большая в современном мире. Широкий спектр различных вариантов реализации этих устройств с одной стороны дает большую свободу при разработке мотов, а с другой требует каждый раз заново решать проблему конструктивного исполнения мота и интерфейса с процессорной или передающей частью.

2. Современные моты обладают достаточно низким удельным потреблением мощности, приходящейся на 1 млн. операций. В связи с этим становится актуальным вопрос о предварительной обработке данных перед их передачей. Действительно, современные ЦПОС (Цифровые процессоры обработки сигналов) обладают вычислительной мощностью, сравнимой со вчерашним персональными ЭВМ. Если учесть, что сеть состоит из большого числа мотов, то практически имеем огромную распределенную вычислительную систему, ресурсы которой можно направить на предобработку данных для повышения эффективности работы всей системы. Про большинство методов обработки можно сказать, что они на основе данных большего объема выделяют полезную информацию, представляя ее в меньшем объеме данных. Самый яркий пример предобработки – сжатие данных.

Отметим, что следует разделять обработку данных, соответствующую прикладному уровню и глобальной цели сети, и предобработку, направленную на подготовку «сырых» данных к последующей передаче и для централизованного накопления. Очень интересен вопрос о синтезе алгоритмов маршрутизации и алгоритмов распределенной обработки данных.

3. Коммуникационные функции моты осуществляют по принципам Ad-hoc сетей – децентрализованных беспроводных сетей, не имеющих постоянной структуры. Клиентские устройства соединяются «на лету», образуя собой сеть. Каждый узел сети пытается переслать данные, предназначенные другим узлам. При этом определение того, какому узлу переслать данные, производится динамически, на основании связности сети. Это является отличием от проводных сетей и управляемых беспроводных сетей, в которых задачу управления потоками данных выполняют маршрутизаторы (в проводных сетях) или точки доступа (в управляемых беспроводных сетях).

Выбор алгоритма маршрутизации – один из самых сложных вопросов, решаемых при проектировании сенсорной сети. Во-первых, маршрутизация требует координации работы всех узлов сети. Во-вторых, алгоритм маршрутизации должен справляться с выходами из строя узлов путем перенаправления трафика и обновления баз данных. В-третьих, для достижения наилучших результатов алгоритм маршрутизации должен иметь возможность изменять маршруты при перегрузке некоторых областей сети.

Сенсорный датчик (или сенсор) – это миниатюрное устройство, обладающее определенными свойствами. Он может зондировать окружающее его пространство и собирать информацию в виде информационных сигналов. Наличие в сенсоре радиопередатчика, позволяет передавать информационные сигналы на базовую станцию через беспроводные средства связи. Но этот радиопередатчик имеет ограниченную дальность передачи (например, до 10 м.). Это означает, что сигналы, посланные сенсорным датчиком, не будут получены на расстоянии более 10 м. Этот недостаток можно компенсировать за счет использования большого количества таких сенсоров, для того чтобы сигналы смогли дойти до базовой станции (путем ретрансляции через другие сенсоры), даже если она находится очень далеко.

Особого внимания заслуживают MEMS-технологии. Микро-электромеханические (MEMS) устройства представляют собой интеграцию механических, электронных, сенсорных и исполнительных устройств на общей кремниевой основе, выполненную путем микросборки. Крошечные устройства могут быть наделены значительной функциональностью: получение информации, обработка и выполнение механических действий. Наиболее распространена данная технология при построении акселерометров – микродатчиков, измеряющих ускорение. Дальнейшее развитие MEMS-технологий должно позволить значительно снизить вес и стоимость мотов.

Особое внимание при проектировании мотов уделяют источникам электропитания. В связи с тем, что узел БСС должен потреблять предельно малую мощность (50 мкВт и ниже), эффективными могут показаться такие альтернативные источники энергии как солнечные элементы, преобразователи вибрации и даже фонового радиоизлучения в ток. Однако эти источники до сих пор достаточно дороги, а их использование требует обязательного наличия соответствующих свойств внешней среды. Наиболее надежным источником электрической энергии до сих пор остаются электрические аккумуляторы и батареи.

Сенсор – это основной элемент БСС. Иногда его отождествляют с понятием «датчик», как это было в информационно-измерительных системах и АСУ ТП. Те из исследователей, которые были тесно связаны с компьютерными сетями — полагают, что «сенсор» и «компьютер» – синонимы, а БСС — можно рассматривать как своеобразную локальную сеть ЭВМ. Радиотехники исходят из того, что «сенсор» это маломощный приемопередатчик, а остальные элементы в нем выполняют вспомогательные функции.

Сразу укажем на то, что все изложенные точки зрения имеют право на жизнь, но только в их совместном «восприятии». Все определяется точкой зрения профессионала-инженера или исследователя, который видит в «сенсорных сетях» *пути реализации совершенно новых профессиональных возможностей*, которые совсем недавно казались недостижимыми. И эти перспективы, задачи и проблемы видятся ему через призму его прежнего профессионального опыта.

Посмотрим на сложившуюся ситуацию под несколько отличным углом зрения.

Общеизвестно, что развитие инфокоммуникационной структуры государства (региона, города и т.п.) приводит к интеграции (взаимопроникновению и объединению) различных сетей (систем) и конвергенции (предоставление услуг, обеспечиваемых другими сетями), что отражает тенденцию развития сложных инфокоммуникационных структур. Наиболее четко эта тенденция проявилась в области телекоммуникационных сетей (ТКС), где различные по назначению и принципам организации сети операторов объединяются в сеть нового поколения (NGN – New Generation Network) с целью расширения спектра и качества предоставляемых услуг. Однако ТКС, как транспортная среда, начинает играть роль базового системного элемента и в других сетях и системах, ранее развивавшихся как самостоятельные (обособленные) объекты человеческой деятельности. [2]

Таким образом, сложные инженерные системы [3-4] путем конвергенции с телекоммуникационными сетями открыли новое, отличное от ранее существовавших направление – сенсорные сети. Они могут предоставлять широкий спектр услуг: от предоставления данных о значении контролируемого параметра (пассивные датчики) до управления процессами (активные датчики). Эволюцией сенсорных сетей стали беспроводные сенсорные сети (БСС) – отсутствие проводов делает возможным их применение в труднодоступных местах или на мобильных объектах, что значительно расширило круг применения сенсорных сетей.

Наглядными примерами применения сенсорных сетей являются информационно-измерительные системы и автоматизированные системы управления, сети контроля медицинских параметров человека (дистанционная диагностика) в которых измерительная информация от контролируемого объекта (в данном случае – человека) передается в специализированный медицинский центр средствами проводной или радиосвязи. Сенсорные сети могут быть использованы во многих прикладных областях. Беспроводные сенсорные сети — это новая перспективная технология, и все связанные с ней проекты в основном находятся в стадии разработки. Укажем основные области применения данной технологии:

- системы обороны и обеспечение безопасности;
- контроль окружающей среды;
- мониторинг промышленного оборудования;
- охранные системы;
- мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий;
- управление энергоснабжением;
- контроль систем вентиляции, кондиционирования и освещения;
- пожарная сигнализация;
- складской учет;
- слежение за транспортировкой грузов;
- мониторинг физиологического состояния человека;
- контроль персонала.

Понятно, что подобных примеров можно привести очень много, но уже из того, что было сказано, можно уверенно говорить о том, что идея объединения инфокоммуникационных структур в единую сеть *по принципам телекоммуникаций – отражает современные тенденции развития сложных инженерных систем.*

Поэтому, с точки зрения специалистов в области информационных сетей связи, можно утверждать, что «сенсорные сети» это практическое воплощение этой тенденции...

Многооточие отражает тот факт, что (по понятным причинам) здесь не приведены точки зрения и других участников «U-сообщества» (медиков, строителей, кораблестроителей, военных специалистов, педагогов и др.), которые могли бы высказать свои профессиональные суждения по рассматриваемой

проблеме. Перспективы «сенсорных сетей», видимые ими открыли бы новые грани обсуждаемого вопроса, а выводы, как и всех других специалистов, свелись бы к утверждению о перспективности «сенсорных сетей» вообще, и в данной предметной области – в частности.

А теперь главный вопрос – почему не смотря на свою привлекательность, БСС в настоящее время еще не получили широкого распространения в глобальном масштабе?

Это можно объяснить особенностями сети (критичность к энергоресурсу, относительно небольшой срок службы, большое количество узлов (что усложняет их конфигурирование), требования к самоорганизации сети и др.). Свою роль играет и отсутствие четкой стандартизации. Имеющиеся стандарты IEEE 802.15.4 [9] и ZigBee [10] дают рекомендации по техническим характеристикам и алгоритмам функционирования сетей. Но когда дело доходит до проектирования реальной сети, то к ней необходимо подходить индивидуально. Поэтому, зачастую, имеющиеся на данный момент сети уникальны и сложно говорить об эффективности технологии, в силу отсутствия средств их сравнения.

С точки зрения телекоммуникационных технологий БСС представляет собой беспроводную сеть с узлами небольшой вычислительной мощности. Тогда естественно, что данная сеть рассматривается с позиций теории сигналов, теории электросвязи, теории электрических цепей, теории информации [5-6] и пр. Критериями эффективности инфокоммуникационных сетей являются – отказоустойчивость, вероятность доставки, время задержки, вероятность ошибок, масштабируемость, связность (топология) и др. Т.е. анализ БСС инженерами связи основывается только на взаимодействии узлов на 3-х нижних уровнях модели OSI (физический, канальный и сетевой). [8]

С точки зрения метрологии анализируются непосредственно датчики и измерительная информация. С позиции метрологии, датчик – измерительное устройство, характеризующееся: методами и средствами измерений, достоверностью результатов, законами распределения погрешностей, калибровкой и т.п.

Аналогично, для радиотехники БСС – это набор модулей, параметры которых подвергаются анализу для повышения эффективности работы в рамках поставленных задач. У отрасли, в которой данные сети применяются, есть свои требования к габаритам, расположению, физическим характеристикам и т.д. [7] Также, например, задача позиционирования узлов решается методами теории локализации и навигации.

Получается, что БСС сама является сложной инженерной системой. На данный момент она является совокупностью методов и процессов, которые находятся на стыке большого числа технологий. Проблемы решаются обособленно, нет единой терминологии, методов – нет единого решения.

Так, например, даже сам термин «беспроводные сенсорные сети» характерен для специалистов в области телекоммуникаций. Инженеры в области АСУ (автоматизированных систем управления) называют их «промышленные сети», а метрологи – «измерительные сети».

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количество статей, мнений, разработок достаточно велико, но не дает представление о БСС как о единой структуре. Уже сегодня сенсорные сети нуждаются в первом шаге к направлению о представлении их как единой сложной системы. Многообразие информации уже дает возможность собрать пазл эффективной, универсальной сенсорной сети, которая будет являться отдельной, независимой технологией.

Но простое (аддитивное) объединение отраслей (систем), которые содержит БСС не нерационально. Тут нужно говорить о конвергенции и разграничении с обуславливающими технологиями, о создании цельного набора правил, методов, средств, терминов, операций, стандартов, протоколов и т.п.

С развитием вычислительной техники и средств связи наступила эра беспроводных сетей и распределенных вычислений. Пройдет еще несколько лет, и беспроводные технологии свяжут между собой огромное количество цифровых устройств, превратив Информационные Технологии во всепроницающую и вездесущую силу эпохи Информационного Общества. В свою очередь, беспроводные сенсорные сети, как элемент инфокоммуникационной структуры, позволяет расширить инфокоммуникационные возможности на периферию, давая возможность пользователю получить доступ к ранее недоступным услугам наблюдения состояния физических параметров контролируемого объекта или явления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Воробийченко П.П. Инфокоммуникации: термины и определения [Текст]/ Воробийченко П.П., Л.А. Никитюк// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 6/2 (54). – с. 4-6.
2. Иваненко В.А. Исследование типовых режимов автогенераторных преобразователей информационных сигналов [Текст]/ В.А. Иваненко, А.Н. Зеленін// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 2/7 (44). – с. 58-65.
3. Йосипенко В.А. Телекомунікації в складних інженерних системах [Текст]/ В.А. Йосипенко, А.М. Зеленін// Зв'язок. – 2007. – №1. – с. 58-60.
4. Йосипенко В.А. Телекомунікації в складних інженерних системах автомобілей [Текст]/ В.А. Йосипенко, А.М. Зеленін// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №3/6 (27). – с. 54-58.

5. Иваненко В.А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 1) [Текст]/ В.А. Иваненко, А.Н. Зеленин// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/4 (51). – с. 46-49.
6. Иваненко В.А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 2) [Текст]/ В.А. Иваненко, А.Н. Зеленин// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 4/2 (52). – с. 11-13.
7. Гайкович Г. Стандартизация в области промышленных сетей [Текст]/ Г. Гайкович// Электронные компоненты . – 2009. – №1. с. 37-39.
8. Иваненко В.А. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст]/ В.А. Иваненко// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 2/10 (50). – с. 9-12.
9. 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks [Текст]/ IEEE Standards Association. – 2011. – <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html>.
10. ZigBee Standards Overview [Электронный ресурс]/ ZigBee® Alliance. Режим доступа: <http://www.zigbee.org/Standards/Overview.aspx>.