

3. Virtualization of the resource implemented in ERC "Elbrus" gave an excellent effect when solving the tasks of parallelization on the readiness of work in the queue "to the processor". She also solved the problem of sliding reservation without additional costs. However, the combination of centralized and decentralized management of computing resources should also be available.

4. Application of network technologies introduces a special vulnerability in the management system of advanced complex control systems. It seems that the typing of data and type control, embodied in the early Elbrus models, can effectively counteract today's rapidly developing threats and attacks. Apparently, the tag architecture, which leads to significant excesses in hardware, is not the only way to implement data typing.

5. It is necessary to develop the principles of hardware support for high-level languages. However, reliance on the stack mechanism of performing procedures in its time did not meet the support of the developer of control systems and is the subject of dispute to date.

6. The set of functions of the operating system must be reasonably chosen in accordance with the use of computing facilities.

7. The complete set of models of the Elbrus family should take into account the requirements of standardization and unification. The modular principle of configuration allows the construction of a number of models differing in power and specialization. Modules of actuators must also be composed of variable sets. Their execution on the microprocessor base allows the development and specialization of the command system, as well as the implementation of procedures of limited scope.

Keywords: centralized computer network, permissible virtualization, adaptive routing, logical neural network, web-objects of parallel data collection, Elbrus family

References

1. Kim A. K., Perekatov V. I., Ermakov S. G. *Mikroprocessory i vychislitel'nye komplekсы semeystva "El'brus"* (Microprocessors and computing systems of the Elbrus family), SPb., Piter, 2013, 272 p.

2. Pirozhnik V. V., Morozov Ju. V., Shamenkov N. A. *Obosnovanie trebovanij k vychislitel'noj tehnikе sredstv i sistem vozdušno-kosmicheskoy oborony, Voennaya mysl'* (Justification of

the requirements for the computer technology of means and systems of aerospace defense), 2015, no. 6, pp. 51–61.

3. Barskij A. B. *Planirovanie virtual'nyh vychislenij* (Planning for virtual computing), Moscow, ID "FORUM", INFRA-M, 2017, 200 p.

4. Barskij A. B. *Nejrossetevye metody optimizacii reshenij* (Neural network solutions optimization methods), SPb, IC "Intermediya", 2016, 312 p.

УДК 658.52

DOI: 10.17587/it.24.299-305

Г. Д. Санталов, магистрант, Б. В. Артемьев, д-р техн. наук, проф., boris@artemiev.su, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия, e-mail: info@iu.4bmstu.ru

Беспроводные сенсорные сети с централизованной обработкой данных

Представлено перспективное направление использования сенсорных сетей для укрупнения и распространения концепции "Интернет вещей". Основное внимание уделено анализу организации беспроводного массива сенсоров с возможностью централизованной обработки данных. Кратко рассмотрены типы сенсорных сетей, их преимущества и недостатки. Проведен анализ существующих решений и исследование методов обработки данных в различных типах сетей. Наглядно продемонстрированы различные типы сетей. Дана характеристика интерфейсу связи, описание типовых узлов и подборка устройств (в том числе российских). Предложен концепт сенсорной сети, отличающийся отсутствием промежуточного координатора в сети. В результате исследования выявлены характерные аспекты данного концепта, его преимущества и недостатки. Показаны возможности по применению технологии GSM в беспроводных сенсорных сетях в практических условиях, описан механизм взаимодействия устройств и сервера.

Ключевые слова: интернет вещей, сенсорная сеть, беспроводная сенсорная сеть, малая мощность, умные энергосети, мот, координатор, маршрутизатор

Введение

Общество все активнее нуждается в различных автоматизированных системах. Особенно заметна такая тенденция в крупных городах. Именно в мегаполисах развивается технология интернета вещей (Интернет вещей — концепция вычислительной сети физических предметов — "вещей",

оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека), которая все активнее ведет к развитию разнообразных сенсорных сетей.

Интернет вещей [1] — актуальная тема у современных разработчиков ввиду широкого распространения различных электронных устройств в крупных городах. Наличие огромного числа смартфонов, подключенных к сети Интернет, развитие безналичной оплаты и распространение социальных сетей приводят к жизни в едином информационном поле. Это позволяет обмениваться информацией между огромным числом людей. Информация может быть совершенно разной: погода, реклама, новости, личные сообщения и т. д. Такая простота и массовость передачи потоков информации ведет к востребованности разработки систем сбора и обработки данных. Разновидностью таких систем являются сенсорные или датчиковые сети [2—4].

Сенсорные сети можно применять для работы в различных сферах человеческой деятельности: спорт, наука, повседневная жизнь. Беспроводные сенсорные сети, в частности, можно использовать для прогнозирования отказа оборудования в аэрокосмических системах и автоматизации зданий. Вследствие своей способности к самоорганизации, автономности и высокой отказоустойчивости такие сети активно применяют в системах безопасности и военных приложениях. Перспективы использования наблюдаются в сфере контроля здоровья человека, состояния окружающей среды, функционирования производственных и транспортных систем, учета различных ресурсов. Такие широкие возможности активно используют современные фирмы в своих новых разработках. Например, технология iBeacon от Apple должна внести существенный вклад в развитие бизнеса и способность ориентирования в местах с плохим приемом GPS-сигнала [2—4].

Большое потребление энергии является серьезной проблемой для автономной аппаратуры. Сенсорные сети получают наибольшее развитие именно на сегодняшний момент, так как появляются технологии, позволяющие снизить потребляемую устройством мощность. Создаются специальные протоколы связи, ориентированные на пониженное энергопотребление, такие как ZigBee [5—7] и Wibree, а также Bluetooth Low Energy. Это приводит к тому, что снижаются требования к элементам питания, появляется возможность конструирования более компактных, дешевых устройств с большим функционалом.

Современные технологии позволяют создавать сети, состоящие из множества миниатюрных узлов, оснащенных маломощным приемопередатчиком, микропроцессором и сенсором, могут связать воедино глобальные компьютерные сети и физический мир.

При описании различных эффектов были использованы результаты исследования Национального исследовательского университета

"Высшая школа экономики" "Беспроводные сенсорные сети" [4].

Использование сенсорных сетей актуально по ряду причин.

Эффекты:

- снижение уровня отходов от источников питания мотов позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду;
- применение самозарядных сенсорных устройств будет способствовать развитию беспроводных устройств интернета вещей, персонализированной медицины (носимые и вживляемые устройства, контролирующие показатели здоровья человека), а также экологически безопасных технологий (*green-technologies*) в энергетике, промышленности (особенно в опасных производствах) и других областях;
- реализация передового производства повысит эффективность, точность и гибкость управления процессами на больших предприятиях и качество выпускаемой продукции, решит вопросы оптимизации ресурсов и определения "узких мест";
- постоянный мониторинг и контроль устройств в энергосистеме снижает количество перебоев в поставках электроэнергии. Повышение рентабельности ее производства приводит к положительным эффектам для промышленности, социальной сферы и окружающей среды (сейчас в России доля энергетики в загрязнении воздуха составляет 26,8 % — максимальное значение в сравнении с другими сферами).

Экономика:

- объем рынка промышленных беспроводных сенсорных сетей в 2017 г. достигнет 3,8 млрд долл.; массовое распространение промышленных беспроводных сенсорных сетей (ИБСС) прогнозируется к 2017—2020 гг.;
- к 2020 г. в мире будет 30,1 млрд беспроводных устройств; потенциальная доля самозарядных устройств достигнет 30...65 %; максимальное проявление тренда прогнозируется в 2020—2030 гг.
- 63 млрд долл. составит к 2020 г. объем мирового рынка технологий "умных" электроэнергетических сетей при среднегодовых темпах роста более 8 %. 2018—2025 гг. — период максимального проявления тренда.

Глобальная проблема нерационального использования электроэнергии особенно актуальна для России. Большие затраты на генерацию электроэнергии увеличивают себестоимость производства продукции, что приходится восполнять конечному потребителю. Для повышения эффективности и надежности энергосистем многие страны переходят к концепции "умных" энергосетей (*smartgrid*).

Такая сеть управляет в режиме реального времени всеми подсоединенными к ней гене-

рирующими источниками, магистральными и распределительными сетями и объектами, потребляющими электроэнергию. Для управления "умной" энергосетью используют беспроводные сенсорные сети, которые контролируют объемы производства и потребления энергии на разных участках. С помощью информационных систем рассчитывается оптимальное распределение энергии в сети, строятся прогнозы на разные сезоны и периоды дня, синхронизируются выработка и транспортировка энергии, контролируется безопасность линий электропередач. Для повышения эффективности энергосети ее неактивные элементы на время пониженной активности выключают.

Одним из первых прообразов датчиковой сети можно считать систему СОСУС [8], предназначенную для обнаружения и идентификации подводных лодок. Сенсорные сети стали активно развиваться в середине 1990-х годов, с начала XXI века развитие микроэлектроники позволило производить для таких устройств достаточно дешевую элементную базу.

В 2004 г. в *Scientific American* опубликована обширная статья [9], посвященная интернету вещей, наглядно показывающая возможности концепции в бытовом применении. В статье проиллюстрировано, как бытовые приборы (будильник, кондиционер), домашние системы (система садового полива, охранная система, система освещения), датчики (тепловые, освещенности и движения) и "вещи" (например, лекарственные препараты, снабженные идентификационной меткой) взаимодействуют друг с другом посредством коммуникационных сетей (инфракрасных, беспроводных, силовых и слаботочных сетей) и обеспечивают полностью автоматическое выполнение процессов (включают кофеварку, изменяют освещенность, напоминают о приеме лекарств, поддерживают температуру, обеспечивают полив сада, позволяют сберегать энергию и управлять ее потреблением). Сами по себе представленные варианты домашней автоматизации не были новыми, но упор в публикации на объединении устройств и "вещей" в единую вычислительную сеть, обслуживаемую интернет-протоколами, и рассмотрение интернета вещей как особого явления способствовали обретению концепцией широкой популярности.

Период с 2008 по 2009 г. аналитики корпорации Cisco считают "настоящим рождением интернета вещей", так как, по их оценкам, именно в этом промежутке число устройств, подключенных к глобальной сети, превысило численность населения Земли, тем самым "интернет людей" стал "интернетом вещей".

Первым человеком, который сформулировал работу интернета вещей и, как следствие, беспроводной сенсорной сети был основатель ис-

следовательской группы Auto-ID при Массачусетском технологическом институте (МТИ) Кевин Эштон в 1999 году.

Кевин Эштон родился в Бирмингеме, Великобритания. С 1990 по 1994 г. он читал лекции в университетском колледже Лондона. В 1997 г., работая помощником менеджера в Procter & Gamble (P & G), он заинтересовался использованием RFID для управления цепочкой поставок. Эта работа привела его в МТИ, где он помог создать исследовательский консорциум RFID под названием Auto-ID. Центр был открыт в 1999 г. как спонсируемый промышленностью исследовательский проект в целях создания глобальной открытой стандартной системы для размещения RFID во всем мире. Ученый известен тем, что использует термин "интернет вещей" для описания системы, в которой сеть Интернет подключена к физическому миру через различные датчики [10].

Хотя концепции и идеи сенсорных сетей были сформированы относительно давно, но до сих пор не существует стандартизированной системы для построения датчиковой сети, также как и определенных программно-аппаратных решений. Во многом реализация таких сетей зависит от конкретно решаемой задачи.

Методика построения беспроводных сенсорных сетей с централизованной обработкой данных

Беспроводные сенсорные сети (БСС) в своей основе состоят из компактных вычислительных устройств, называемых мотами. Моты включают в себя датчик или датчики для измерения определенной физической величины (температура, давление, освещенность, шум и др.) и приемопередатчика. Все это позволяет отдельно устройству проводить сбор и обработку необходимых данных, поддерживать связь с внешней средой.

Принятый стандарт IEEE 802.15.4 описывает контроль доступа к беспроводному каналу и физический уровень для низкоскоростных беспроводных личных сетей, т. е. два нижних уровня согласно сетевой модели OSI. "Классическая" архитектура датчиковой сети основана на типовом узле, который включает в себя [11]:

- радиоканал;
- процессорный модуль;
- элемент питания;
- различные датчики.

Типовые узлы представляют собой устройства с определенным набором функций.

Первый вид — устройство с уменьшенным набором функций (англ. *Reduced Function Device*) обладает способностью поддержки топологий "точка—точка", "звезда". Умеет обращаться к координатору сети или маршрутизатору.

Основные характеристики мотов различных производителей

Параметры	Стандарты			
	ML-Node-Z	ML-Node-U	ZigBit	TelosB
	Микроконтроллер			
Процессор	TexasInstruments MSP430		ATmega1281	MSP430
Тактовая частота	От 32,768 кГц до 8 МГц		4 МГц	8 МГц
Оперативная память, Кбайт	10		8	10
Flash-память, Кбайт	48		128	48
	Приемопередатчики			
Тип	IEEE 802.15.4	CypressWireless USBTM LP	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
Диапазон частот, МГц	2400...2483,5		2400...2483,5	2400...2483,5
Скорость передачи данных, Кбит/с	250	15,625...250	250	250
Выходная мощность, дБм	-24...0	-35...4	От -28...3	-24...0
Чувствительность, дБм	-95	-93	-101	-90 (min), -94 (typ)
Антенна	Чип		1 или 2 чипа	PCB, SMA
	Внешние интерфейсы			
АЦП	12-разрядный, 7 каналов		10-разрядный, 3 канала	12-разрядный, 7 каналов
Цифровые интерфейсы	I2C/SPI/UART/USB		I2C/SPI/UART/IRQ/JTAG	I2C/SPI/UART/USB
	Прочие параметры			
Напряжение питания, В	0,9...6,5		1,8...3,6	0,9...6,5
Размеры, мм	44 × 33 × 10 мм		19 × 14 × 3	65 × 31 × 6
Температурный диапазон, °С	-40...85	0...70	0...85	-40...123,8

Второй вид — устройство с полным набором функций (англ. *Fully Function Device*) уже может служить в роли координатора сети, поддерживает все типы топологий. Обладает расширенным функционалом сетевого протокола.

Третий вид — сетевой координатор (англ. *Network Coordination Device*) осуществляет глобальную координацию и взаимодействие других устройств сети. В связи с выполняемыми задачами требует наибольшего объема памяти и мощный источник питания.

Возможно использование в типовом узле сенсорной сети в качестве датчика второго передатчика, что позволяет применять датчиковую сеть не только для наблюдения параметров сред и предметов, но и для определения местонахождения и наблюдения передвижений предметов, снабженных специальными радиочастотными метками. Построенная из таких узлов датчиковая сеть образует беспроводную инфраструктуру RTLS.

По причине отсутствия стандартов проектирования сенсорных сетей существует несколько платформ построения мотов (табл. 1).

Датчики в сети взаимодействуют по радиоканалу. Стандарт IEEE 802.15.4 имеет характеристики, представленные в табл. 2.

Вследствие работы мотов в нелегализованном радиоканале могут возникать помехи от по-

сторонних источников радиосигнала. Поэтому необходимо избегать повторной передачи одинаковых данных. А также учитывать, что ввиду внешних воздействий и недостаточной энергоемкости элементы БСС будут выходить из строя навсегда или на какое-то время. Во всех таких случаях схемы обмена данными должны модифицироваться.

Чаще всего мот должен иметь возможность самостоятельно определить свое местоположение, по крайней мере, по отношению к другому моту, которому он будет передавать данные. То есть сначала происходит идентификация всех мотов, а затем уже формируется схема маршрутизации.

Таблица 2

Характеристики радиопередачи данных для IEEE 802.15.4

Полоса частот, МГц	Нужна ли лицензия	Географический регион	Скорость передачи данных, Кбит/с	Число каналов
868,3	Нет	Европа	20	1
902...928	Нет	Америка	40	1...10
2405...2480	Нет	Весь мир	250	11...26

Стандарт ZigBee поддерживает сеть с кластерной архитектурой (рис. 1, см. четвертую сторону обложки). Кластер образуют маршрутизатор и простейшие моты, у которых он запрашивает сенсорные данные. Маршрутизаторы кластеров ретранслируют данные друг другу, и в конечном счете данные передаются координатору. Координатор обычно имеет связь с IP-сетью, куда и направляются данные для окончательной обработки.

Имеется и другой подход к организации сенсорной сети. Он ориентирован на построение одноранговых ячеистых сетей (рис. 2, см. четвертую сторону обложки).

Возможность самоорганизации и самовосстановления сетей ячеистой топологии позволяет в случае выхода части мотов из строя спонтанно формировать новую структуру сети. В любом случае необходим центральный функциональный узел, принимающий и обрабатывающий все данные, или шлюз для передачи данных узлу на обработку.

В такой сети каждый мот способен выполнять функции ретранслятора.

Последний вариант построения БСС можно организовать иным образом.

Концепция работы БСС на GSM

Предлагаемый принцип построения сенсорной сети строится на основе использования GSM-модулей с возможностью выхода в Интернет. Предлагаемая модель представлена на рис. 3 (см. четвертую сторону обложки).

В такой схеме каждому моту необязательно знать о существовании другого. При поломке или систематической потере данных предлагается заменять моты на новые. Причем GSM-модуль можно использовать тот же ввиду его высокой надежности. Проблему разряда батареи отслеживает техник и своевременно устраняет. Установка такой сети предполагается в доступных местах в целях быстрого реагирования и исправления различных ситуаций, приводящих к неработоспособности сети.

Все моты находятся в режиме ожидания. Когда внутренний таймер заканчивает свой отсчет, система переходит в активный режим. В нем она собирает информацию с датчиков и устанавливает связь с сервером. На сервере данные обрабатываются и заносятся в таблицу. После занесения данных и получения подтверждения записи данных на сервере, моты снова переходят в режим ожидания.

При окончании сессии посылается сигнал перехода всех мотов в режим сна, т. е. пониженного энергопотребления. Режим сна можно настроить на определенное время, например, на 2 часа или

1 день. Также существует возможность полного выключения мотов. Данную команду предполагается использовать в случае крайней необходимости, например при полной замене устройства — сенсора, безаварийной замены источника электропитания или при критических поломках.

При разработке концепции работы мота и организации канала связи использовались положения и подходы, изложенные в литературе [5, 6, 12, 13]. Данный вариант построения имеет несколько преимуществ по сравнению с сетями на основе одноранговой ячеистой сети или сети стандарта ZigBee:

- пониженные требования к разработке данной структуры массива сенсоров;
- каждый мот передает данные отдельно и независимо;
- данные передаются сразу на сервер, где обрабатываются необходимым образом.

В ходе работы данной сети могут возникнуть следующие проблемы:

- Зависимость от GSM-сигнала. Сюда же входит зона покрытия оператора, количество средств на сим-карте и стабильность сотового сигнала.
- Повышенное энергопотребление мота. Это связано с тем, что GSM-модуль требует для своего функционирования большое напряжение питания.

Такая сеть не требует выполнения сложного программирования и организации, но обладает широким функционалом.

Прототип мота для данной концепции сети состоит из нескольких основных блоков:

- блок питания устройства;
- датчик температуры;
- датчик влажности;
- микроконтроллер;
- телефон стандарта GSM.

Питание устройства представляет собой три последовательно соединенные батарейки с номинальным напряжением 3 В каждая и током 20 мА. Общее напряжение равно 9 В, а ток 20 мА, $I_{пит} = 20$ мА.

Датчик температуры DS18B20 по данным технической документации потребляет ток 1 мА, $I_{дт} = 1$ мА.

Датчик влажности DHT11 по данным технической документации потребляет ток во время измерения 2,5 мА, $I_{дв} = 2,5$ мА.

Микроконтроллер — ток, потребляемый микроконтроллером Atmega32A согласно технической документации при частоте 1 МГц, напряжении питания 3 В и температуре окружающей среды 25 °С в активном режиме составляет 1,1 мА.

Так как планируется использовать данное устройство при других положительных температурах, а также в холодных условиях (температура до -30 °С), то необходимо ввести параметр, учи-

тывающий изменение тока при иных климатических условиях.

Пусть $\Delta I_{\text{МК}}$ — параметр, учитывающий изменение тока на микроконтроллере. Тогда общий ток на микроконтроллере (в активном режиме)

$$I_{\text{МК}} = I_{\text{ну,МК(a)}} + \Delta I_{\text{МК}} = 1,1 \text{ мА} + 10 \text{ мА} = 11,1 \text{ мА},$$

где $I_{\text{ну МК(a)}}$ — ток, потребляемый микроконтроллером Atmega32A согласно технической документации в нормальных условиях.

Телефон стандарта GSM представлен модулем А6 Thinker, по данным технической документации которого ток в активном режиме находится в пределах 100...900 мА. В режиме экономии — 3 мА, в режиме простоя — 80 мА. При включении модуля ему достаточно напряжения 5 В. В режиме простоя — от 40 до 80 мА (реле открыто). При приеме звонка или отправке СМС — от 80 до 200 мА (реле замкнуто).

Для надежности предположим наибольшее потребление тока в схеме — 900 мА в активном режиме.

$$I_{\text{gsm(a)}} = 900 \text{ мА} — \text{активный режим.}$$

$$I_{\text{gsm(пр)}} = 80 \text{ мА} — \text{режим простоя.}$$

Общий ток в схеме равен сумме токов на основных блоках.

Суммарный ток схемы равен (в активном режиме):

$$I_{\Sigma} = I_{\text{пит}} + I_{\text{дт}} + I_{\text{дв}} + I_{\text{МК}} + I_{\text{gsm(a)}} = \\ = 20 + 1 + 2,5 + 11,1 + 900 = 934,6 \text{ мА}.$$

Максимальная мощность устройства. Максимальная мощность устройства $P_{\text{уст}}$ равна

$$P_{\text{уст}} = I_{\Sigma} \cdot U_{\text{пит}} = 934,6 \cdot 9 = 8,411 \text{ Вт}.$$

Расчет мощности, рассеиваемой в качестве теплоты. Примем, что эффективность передачи антенны и работы устройства $\eta = 80 \%$.

Тогда тепловая мощность, рассеиваемая в пространстве, будет равна:

$$P_{\text{рас}} = P_{\text{уст}} \cdot 0,20 = 8,411 \cdot 0,20 = 1,68 \text{ Вт}.$$

Для конкретной реализации мота выбор представленной элементной базы основывается на возможности работы отдельных блоков устройства при отрицательных температурах до $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, проектируемый мот имеет возможность работы в условиях отрицательных температур. При этом стоимость изготовления устройства невелика, сборка проста, используются широко представленные на рынке надежные электронные элементы. Однако остается проблема с оптимизацией энергоэффективности — настройка режимов работы, время автономной работы. Решение этой проблемы во многом зависит от качества настройки программного обеспечения. Правильно настроенные режимы работы

мота и передачи данных позволят продлить срок службы батареи.

На повышенное энергопотребление устройства может также влиять недостаточно стабильный GSM-сигнал. В таком случае возможна замена антенны на более мощную модель или оптимизация ее расположения в пространстве.

Предложенная концепция БСС позволяет создать распределенную недорогую сеть датчиков в условиях отрицательных температур. Такая сеть может быть использована, например, для снятия параметров снега на лыжных трассах, на горнолыжных склонах.

Заключение

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. Уже на этом этапе наблюдается большая польза от применения этой технологии. Ее развитие будет во многом полезно как обычным людям, так и большим компаниям.

Данную технологию можно использовать в различных областях человеческой деятельности. Например, в лыжных видах спорта очень важно определять температуру и влажность окружающей среды. Эти параметры серьезно влияют на выбор различных мазей скольжения, мазей держания и способов обработки лыж. При правильной обработке скользящей поверхности можно добиться существенного улучшения результатов спортсменов, а также повышения комфорта от катания для любителей лыжных гонок. Применение технологий сенсорных сетей в лыжных гонках позволит всем заинтересованным людям получать информацию о состоянии трассы заблаговременно и дистанционно.

С распространением концепции интернета вещей данная технология будет все прочнее и глубже входить в повседневную жизнь каждого жителя мегаполиса.

Отдельные результаты исследований получены в рамках проекта МОН РФ No. 14.579.21.0142 UID RFMEFI57917X0142.

Список литературы

1. **Интернет** вещей. URL: <https://goo.gl/kwyz12> (дата обращения: 22.10.2017).
2. **Vlasov A. I., Yudin A. V., Salmina M. A., Shakhnov V. A., Usov K. A.** Design Methods of Teaching the Development of Internet of Things Components with Considering Predictive Maintenance on the Basis of Mechatronic Devices // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. N. 20. P. 9390—9396.
3. **Буторин П. С., Григорьев П. В.** Система оповещения в автобусном транспорте на основе технологии "Интернета

вещей" // Энергосбережение и эффективность в технических системах. Сборник трудов. Тамбов. 2017. С. 384–385.

4. **Глобальные** технологические тренды // ТРЕНДЛЕТТЕР. Октябрь 2014. № 4. Информационно-коммуникационные технологии. Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики". URL: <https://goo.gl/zjxdKL> (дата обращения: 22.10.2017).

5. **Шахнов В. А., Власов А. И., Резчикова Е. В., Токарев С. В., Смuryгин И. М., Денисенко Н. А., Муравьев К. А.** Способ функционирования беспроводной сенсорной сети. Патент РФ на изобретение. RUS 2556423 05.07.2013.

6. **Краснобрыжий Б. В., Лавров И. В., Муравьев К. А., Чебова А. И.** Анализ беспроводных сенсорных сетей на основе стандарта ZIGBEE // В сб.: Научные технологии и интеллектуальные системы. XV Молодежная научно-техническая конференция, Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. С. 306–314.

7. **Зимин Д. В., Муравьев К. А.** Анализ проблем энергоэффективности беспроводных сетей передачи данных на базе стека протоколов ZIGBEE // Труды международного

симпозиума Надежность и качество. Пенза: ПГУ. 2016. № 1. С. 195–197.

8. **СОСУС**. URL: <https://goo.gl/aJBHJV>. (дата обращения: 22.10.2017).

9. **Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D.** The Internet of Things // Scientific American. October 2004. URL: <https://goo.gl/fjPT9z> (дата обращения: 23.10.2017).

10. **Ashton K.** That "Internet of Things" Thing // RFID Journal. URL: <https://goo.gl/Rn8Bzq> (дата обращения: 24.10.2017).

11. **Беспроводной** промышленный мониторинг. Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН. URL: <https://goo.gl/jxgGHU> (дата обращения: 24.10.2017).

12. **Власов А. И., Иванов В. В., Косолапов И. А.** Методы упреждающего прогнозирования состояния широкополосной сети связи // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 3–6.

13. **Власов А. И., Юлдашев М. Н.** Гауссовские процессы в регрессионном анализе состояний беспроводной сенсорной сети // Технологии электромагнитной совместимости. 2017. № 3 (62). С. 35–43.

G. D. Santalov, Magistant, **B. V. Artemiev**, D. Sc., Professor, boris@artemiev.su,
Bauman Moscow State Technical University, Department of Design and Technology of Electronic Devices,
Moscow, 105005 Russia, info@iu4.bmstu.ru

Wireless Sensor Networks with Centralized Data Processing

This article is devoted to the perspective direction of using sensor networks for the enlargement and dissemination of the concept of "Internet of Things". The main attention is paid to the description of the organization of a wireless array of sensors with the possibility of centralized data processing. The types of sensor networks, their advantages and disadvantages are briefly considered. The article analyzes existing solutions and studies data processing methods in various types of networks. Different types of networks are clearly demonstrated. The characteristic of the communication interface is given. Typical units and devices, including Russian ones, are considered. The main parameters of which are given in the table. A concept of a sensor network is proposed, which is distinguished by the absence of an intermediate coordinator in the network. As a result of the research, the characteristic aspects of this concept, its advantages and disadvantages were revealed. As the transmission medium, a radio channel of the IEEE 802.15.4 standard. The possibilities of using GSM in wireless sensor networks in practical conditions are shown, the mechanism of interaction between devices and the server is described.

Keywords: Internet of Things, sensor network, wireless sensor network, low power, smart grid, motes, coordinator, router

References

1. **Internet** veshhej, URL: <https://goo.gl/kwyz12> — (date of access: 22.10.2017).

2. **Vlasov A. I., Yudin A. V., Salmina M. A., Shakhnov V. A., Usov K. A.** Design Methods of Teaching the Development of Internet of Things Components with Considering Predictive Maintenance on the Basis of Mechatronic Devices, *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 20, pp. 9390–9396.

3. **Butorin P. S., Grigor'ev P. V.** Sistema opoveshhenija v avtobusnom transporte na osnove tehnologii "Interneta veshhej", *Jenergoberezhenie i jeffektivnost' v tehnikeskix sistemah*, Sbornik trudov, Tambov, 2017, pp. 384–385.

4. **Global'nye** tehnologicheskie trendy, *TRENDLETTER*, no. 4, *OKTJaBR* 2014, Informacionno-kommunikacionnye tehnologii // Nacional'nyj issledovatel'skij universitet "Vysshaja shkola jekonomiki". Jelektronnyj resurs. URL: <https://goo.gl/zjxdKL> (date of access: 22.10.2017).

5. **Shahnov V. A., Vlasov A. I., Rezchikova E. V., Tokarev S. V., Smurygin I. M., Denisenko N. A., Murav'ev K. A.** Sposob funkcionirovaniya besprovodnoj sensornoj seti, Patent RF na izobretenie. RUS 2556423 05.07.2013.

6. **Krasnobryzhij B. V., Lavrov I. V., Murav'ev K. A., Chebova A. I.** Analiz besprovodnyh sensoryh setej na osnove

standarta ZIGBEE, *Vsbornike: Naukoemkie tehnologii i intellektual'nye sistemy XV Molodezhnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija*. Moscow: MGTU im. N. Je. Baumana, 2013, pp. 306–314.

7. **Zimin D. V., Murav'jov K. A.** Analiz problem jenergojeffektivnosti besprovodnyh setej peredachi dannyh na baze steka protokolov ZIGBEE. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo*, Penza, PGU, 2016, no. 1, pp. 195–197.

8. **SOSUS**. URL: <https://goo.gl/aJBHJV> — (date of access: 22.10.2017).

9. **Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D.** The Internet of Things, *Scientific American*. October 2004. URL: <https://goo.gl/fjPT9z> (date of access: 23.10.2017).

10. **Ashton K.** That "Internet of Things" Thing, *RFID Journal*, URL: <https://goo.gl/Rn8Bzq> (date of access: 24.10.2017).

11. **Besprovodnoj promyshlennyj monitoring**, Institut tochnoj mehaniki i vychislitel'noj tehniki im. S. A. Lebedeva RAN. URL: <https://goo.gl/jxgGHU> (date of access: 24.10.2017).

12. **Vlasov A. I., Ivanov V. V., Kosolapov I. A.** Metody uprezhdajushhego prognozirovaniya sostojanija shirokopolosnoj seti svjazi, *Programmnye Produkty i Sistemy*, 2011, no. 1, pp. 3–6.

13. **Vlasov A. I., Juldashv M. N.** Gaussovskie processy v regressionnom analize sostojanij besprovodnoj sensornoj seti, *Tehnologii Jelektromagnitnoj Sovmestimosti*, 2017, no. 3 (62), pp. 35–43.