МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ АКТИВНОСТИ В УМНОМ ДОМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ (WSN) И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT)

Н. В. Замятин[а], **Г. В. Смирнов**[б]

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Российская Федерация

[а] ✍ *zamnv47@gmail.com*, [б] *smirnov@main.tusur.ru*

Аннотация: в последнее время развитие умного дома определяется новыми возможностями благодаря быстрому развитию беспроводных сенсорных сетей (WSN) и Интернета вещей (IoT). Эти приложения в режиме реального времени позволяет расширить объем услуг для пользователей умного дома, повысить эффективность использования ресурсов. Для этого требуется структурированный подход к интеграции WSN и IoT. Несмотря на наличие устоявшихся технологий, не хватает методологии для создания аппаратных и программных платформ и их эффективного взаимодействия. Поэтому в данной статье представлена трехэтапная методика, позволяющая сначала спроектировать архитектуру системы, затем определить критерии, сформулировать требования и обосновать выбор каждого компонента системы.

Ключевые слова: Интернет вещей, беспроводные сенсорные сети, окружающая среда, умный дом.

Для цитирования: Замятин Н. В., Смирнов Г. В. Методика распознавания активности в умном доме с использованием беспроводных сенсорных сетей (WSN) и Интернета вещей (IoT). *Успехи кибернетики*. 2026;7(2):109–118.

Поступила в редакцию: 02.03.2026. *В окончательном варианте: 16.06.2026.*

HUMAN ACTIVITY RECOGNITION IN SMART HOMES USING WSN AND IOT

N. V. Zamyatin[a], **G. V. Smirnov**[b]

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

[a] ✍ *zamnv47@gmail.com*, [b] *smirnov@main.tusur.ru*

Abstract: we studied the recent development of smart homes, which is driven by advances in wireless sensor networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). These technologies enable real-time applications that expand the range of smart home services and improve resource efficiency. Smart home systems require a structured approach to the integration of WSN and IoT components. Despite the availability of technologies, a methodology for the design and integration of hardware and software components in smart home system is still insufficiently developed. We proposed a three-stage methodology for the development of smart home systems based on WSN and IoT. We designed the system architecture, defined evaluation criteria, formulated system requirements, and provided a rationale for the selection of individual system components. The proposed approach provides a structured framework for the systematic integration of heterogeneous devices and services in smart home environments.

Keywords: Internet of Things, wireless sensor networks, environment, smart home.

Cite this article: Zamyatin N. V., Smirnov G. V. Human Activity Recognition in Smart Homes Using WSN and IoT. *Russian Journal of Cybernetics*. 2026;7(2):109–118.

Original article submitted: 02.03.2026. *Revision submitted: 16.06.2026.*

Введение

Достижения цифровых технологий направлены на удовлетворение потребностей общества, при этом обеспечивается эффективный контроль и управление различными аспектами жизнедеятельности. Ключевыми элементами стали датчики и беспроводные сенсорные сети (БСС). Такой прогресс достигнут благодаря развитию беспроводной связи, датчиков и исполнительных устройств, при этом снижаются расходы на установку большого количества датчиков в жилых помещениях. Автоматизация жилья и мониторинг — основные сферы, где применяются БСС с набором датчиков для отслеживания действий жильцов. Беспроводные датчики могут питаться

от батарей или электросети, а выбор зависит от условий использования и доступности источников питания. Срок службы батарей зависит от мощности передачи и частоты сбора данных.

Понятие умного дома

Умные дома уже стали реальностью, положительно влияя на жизнь людей. Умный дом — это жилое пространство, оснащенное интеллектуальными технологиями для мониторинга и контроля действий обитателей, а также для улучшения качества жизни за счет прогнозирования состояния здоровья на основе анализа поведения. Системы умного дома взаимодействуют друг с другом через контроллер, по заданным схемам или режимам работы. Такие системы, или «системы с учетом контекста», определяют местоположение и действия человека и решают, какие процедуры необходимо предпринять. Эти системы используются для улучшения повседневной жизни, особенно для людей с ограниченными возможностями.

Активность в умном доме

В контексте распознавания активности основные характеристики «умного дома» включают: повышенный комфорт, независимую жизнь, эффективное использование ресурсов и безопасность. Активность в умном доме – это совокупность физических действий человека, представленных в иерархической структуре и состоящих из последовательности простых операций. Действие «выпить кофе» может быть разделено («войти в кухню», «взять кофе») на операции, которые являются элементарными шагами (например, «включить кофейник», «повернуть ручку»).

Обнаружение и распознавание активности в умном доме (HAR — Human Activity Recognition) — динамично развивающаяся область, и цель HAR заключается в идентификации действий жильцов на основе последовательности наблюдаемых событий с использованием различных датчиков, таких как RFID-метки, датчики запаха, датчики движения, датчики давления, PIR-датчики и т.д. Процесс HAR состоит из нескольких этапов:

- предварительная обработка: сбор данных от датчиков, удаление шума и избыточности, нормализация и маркировка данных;
- извлечение признаков: получение признаков из данных для использования в машинном обучении;
- отбор признаков: уменьшение количества признаков для повышения качества и снижения вычислительных затрат;
- классификация: определение вида деятельности с использованием машинного обучения и логических рассуждений.

Поэтому HAR — замена человеческих действий путем прогнозирования этих действий и их реализации или удовлетворения потребностей, заранее определенных человеком. В том числе с помощью датчиков система HAR может отслеживать состояние здоровья людей и сообщать о нем медицинскому персоналу в случае необходимости.

Перспективным в области «умных домов» на базе WSN является появление IoT (Интернета вещей). Повсеместная связь и распределенный интеллект Интернета вещей с помощью беспроводных технологий становятся определяющими для дистанционного контроля и управления. Интернет вещей в контексте «умного дома» можно представить как подключение бытовых объектов, особенно электронных, электрических приборов, датчиков и исполнительных механизмов к сервисам Всемирной сети. Объекты и устройства становятся интеллектуальными и связывают человека с вещами, а также осуществляют связь между самими вещами. Эти отношения и взаимопонимание создают возможность для устройств, находящихся в среде «умного дома», начать взаимодействие и создавать совершенно иную среду. Поэтому окружающая среда, изучающая повседневную деятельность, должна реагировать на поведение жителей, улучшая их здоровье и благосостояние.

Уже существуют системы «умного дома», основанные на технологии беспроводной связи, но интеграция беспроводной связи с IoT обладает большими возможностями в приложениях для «умного дома». Большинство исследований «умных домов» на базе IoT находятся на стадии разработки, и лишь немногие из них имеют практическую реализацию [1]. Интеллектуальные системы на базе IoT хотя и реализуют удаленный доступ и быстрый анализ домашней обстановки, но при этом нужно динамическое управление базами данных [2]. Также большинство проектов «умного

дома» реализуется в лабораторных условиях или на испытательном стенде, отличающихся от реальной среды, где обитатель живет обычной жизнью.

Среда «умного дома» обнаруживает активность на основе необработанных сенсорных данных, и эти необработанные наборы данных сложны и нерегулярны для кодирования в соответствии с заранее определенными сценариями. Даже после кодирования этих необработанных данных очень сложно идентифицировать отклоняющееся поведение, поскольку эти наборы данных имеют разные временные показатели (частоту дискретизации) и способы восприятия. Эти различия во времени и датчиках создают проблемы при распознавании активности. Можно использовать поведенческие модели на основе наборов данных об отдельных событиях, но это может вызвать ложную тревогу. Целесообразно применение для формирования поведенческих моделей недавно полученных данных и данных обратной связи, чтобы отделить обычные данные от неожиданных, ставящих под угрозу здоровье и благосостояние жителей.

Модель умного дома включает 4 уровня:

уровень интерфейсов — категории и пользователи интерфейсов;

уровень подготовки данных — машинное обучение, онтологии, сохранение данных и представление;

уровень коммуникаций — беспроводные сенсорные сети, Интернет вещей;

физический уровень — пользователи, окружающая среда.

В данной статье будет рассматриваться методика обнаружения активности в умном доме на уровне коммуникаций: с использованием беспроводных сенсорных сетей и Интернета вещей.

Беспроводные сенсорные сети (WSN) и их роль в Интернете вещей

Беспроводные сенсорные сети состоят из узлов, включающих датчики, контроллеры, исполнительные механизмы и радиочастотные модули для беспроводной связи на основе стандарта IEEE 802.15.4. Этот стандарт определяет радиочастотную связь только для уровней PHY и MAC, но не определяет сетевые технологии для верхних уровней. Поэтому лучше использовать ячеистую сеть Mesh вместе с IPv6, с протоколом IEEE 802.15 ZigBee. Эти свойства сети обеспечивают аутентификацию узлов, шифрование и эффективную маршрутизацию при функционировании ячеистых сетей. Стандарты IEEE 802.15.4 ZigBee работают в безлицензионном промышленном, научном и медицинском диапазоне частот (ISM) [3].

Система умного дома реализуется на двух уровнях: аппаратном и программном. На аппаратном уровне используются разнородные датчики для работы с несколькими активностями и событиями. Эти беспроводные сенсорные узлы лучше реализовывать с использованием ячеистой топологии ZigBee, а данные принимать центральным координирующим узлом и собирать локальным компьютером домашнего шлюза.

Программные модули подразделяются на разные уровни, такие, как регистрация данных, извлечение и хранение данных; но их конечная задача — прогнозировать изменения в активности и соотносить их с состоянием здоровья жителей в режиме реального времени или близкого к нему.

Типичная сеть WSN состоит из множества маломощных сенсорных узлов и базовых станций, объединенных беспроводным способом, и такая сетевая система позволяет обмениваться данными между сенсорными узлами. Беспроводные сенсорные сети (WSN) представляют сетевой уровень узлов и датчиков, обеспечивающих в совокупности мониторинг конкретной среды умного дома, и это является необходимым компонентом Интернета вещей [4]. Сенсорные узлы измеряют аналоговые сигналы, используя аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и передают эти значения с помощью радиочастотных сигналов через базовые станции.

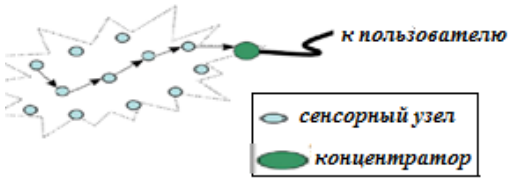


Рис. 1. *Беспроводные сенсорные сети*

Существуют различные типы топологий для построения WSN, такие как «звезда», ячеистая топология и гибрид «звезда-сетка» [4]. Ряд проблем возникает при разработке WSN:

- множество сенсоров WSN обычно расположено в пространстве, что приводит к большим объемам входящих и исходящих данных. При этом нужна синхронизация передачи данных, поскольку одновременная передача нескольких пакетов данных может вызвать проблемы у получателей [5];
- для обеспечения надежной связи такой большой сети нужно ее резервирование, что увеличивает затраты;
- сенсорные узлы обычно работают от батарей, требующих замены и подзарядки, поэтому энергоэффективность узлов имеет решающее значение для широкого использования.

Быстрое развитие связи, сетей и других смежных технологий привело к появлению различных сенсорных узлов, включающих распределенные датчики для измерения температуры, запаха, звука, вибрации, давления, движения, концентрации загрязняющих веществ. Они способны выполнять управление, передачу данных и вычисления, позволяя получать и измерять данные более эффективно и точно независимо от подключения к сети [6].

Каждый сенсорный узел выполняет небольшой объем обработки, но при взаимодействии с другими узлами сети происходит обмен данными и приводятся в действие исполнительные активаторы. Сенсорные сети надежны, точны, экономичны, более просты в установке и обеспечивают широкие возможности обнаружения активности в умном доме.

Интернет вещей (IoT) и его взаимодействие с беспроводными сенсорными сетями

Технологии Wi-Fi, Ethernet или сотовые сети, поддерживающие доступ в Интернет и функциональные для Интернет-коммуникаций, могут применяться и для Интернета вещей. Однако требования для Интернета вещей отличаются от требований к устройствам, подключенным к Интернету.

Во-первых, для потокового мультимедиа, облачных хранилищ и удаленных приложений Интернета высокая пропускная способность является определяющей. В то же время для Интернета вещей пропускная способность невысока, поскольку эти устройства только собирают и отправляют сенсорные данные или получают управляющие сигналы [7].

Во-вторых, устройствам Интернета вещей не нужен пользовательский интерфейс, и они функционируют и принимают решения без вмешательства человека. Устройства собирают данные, которые обрабатываются каким-либо приложением, и затем нужное действие выполняется в соответствии с каким-либо алгоритмом.

Третьим фактором является то, что масштабы Интернета вещей намного больше, чем у периферийных устройств Интернета. Для этого требуется магистраль Интернета вещей, способная обслуживать большое количество устройств с использованием протокола IPv6.

Протоколы в соответствии с обобщенной моделью Интернет-технологий приведены в [3], а система прямого доступа сенсоров к Интернету, показанная на рис. 2, — в [8].

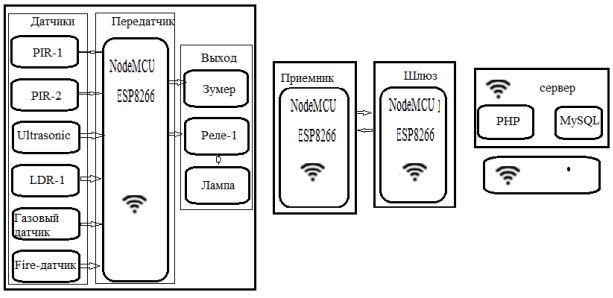


Рис. 2. *Прямой доступ сенсоров к Интернету*

Представлена трехэтапная структура, позволяющая спроектировать архитектуру системы, определить критерии и обосновать выбор каждого компонента.

Первый этап — проектирование архитектуры системы. На этом этапе разрабатывается концептуальная и независимая от технологий архитектура для создания WSN, включающей IoT, с целью обнаружения активности в умном доме. Эта архитектура должна быть универсальной, и ее можно легко адаптировать в каждом конкретном случае. Предлагаемая обобщенная архитектура, содержащая четыре уровня, показана на рис. 3.

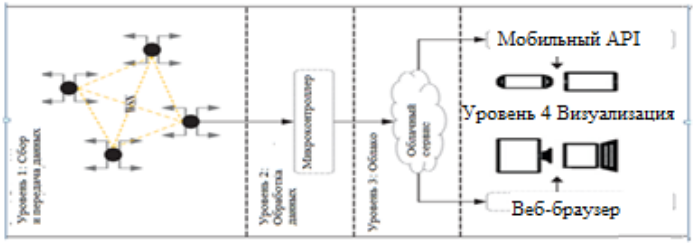


Рис. 3. *Обобщенная архитектура системы распознавания активности*

Уровень 1: сбор данных осуществляется на WSN. Для сохранения гибкости архитектуры на этом уровне не нужно определять топологию сети. Поэтому выбор сетевого протокола станет критерием выбора на шаге 2.

Уровень 2: WSN взаимодействует с микроконтроллером для передачи данных с соответствующими протоколами. Обработка данных, а также взаимодействие с онлайн-системами будут осуществляться этим устройством.

Уровень 3: веб-сервер или облачное решение по подписке предпочтительнее статического сервера по сравнению с 4-уровневой платформой, предложенной [9]. Программное обеспечение по подписке не только выполняет простое хранение данных. Аналитика данных и уведомления могут обрабатываться на стороне сервера, что упрощает и рационализирует всю архитектуру.

Уровень 4: рекомендуется использовать мобильное приложение, чтобы сделать данные более доступными.

Архитектура локальной беспроводной сенсорной сети в умном доме

Систему нужно реализовать на протоколах, имеющих такую важную характеристику, как низкое энергопотребление [10]. Схема архитектуры локальной системы, показанная на рисунке 4, содержит беспроводную сеть, локальный домашний шлюз, беспроводные маршрутизаторы.

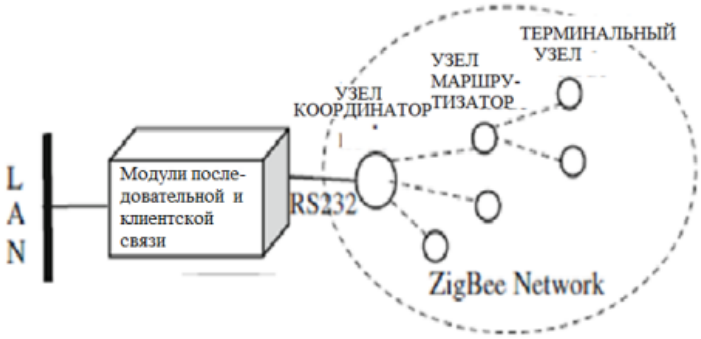


Рис. 4. *Архитектура системы*

Архитектура удаленной сетевой системы с доступом в Интернет

Архитектура удаленной системы WSN и IoT (рис. 5) представлена на основе локальной системы и позволяет работать пользователям с локальной системой через Интернет.

Конкретные аппаратные и программные продукты не указаны в архитектуре на рис. 3. Поэтому на втором этапе необходимо предоставить обоснованные рекомендации по выбору компонентов для каждого уровня, как показано в таблице 1, которые можно использовать при сравнении различных систем.

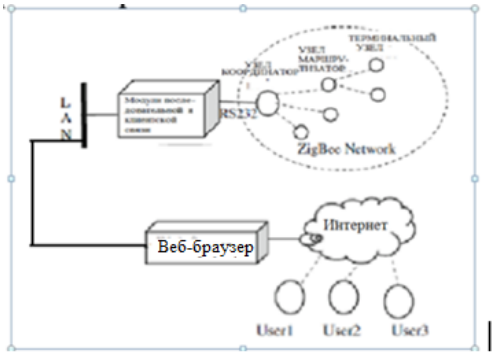


Рис. 5. *Архитектура удаленной сетевой системы с доступом в Интернет*

Таблица 1

Краткое описание критериев выбора компонентов

Подсистемы	Элементы системы	Критерии выбора
Уровень 1. Сбор и передача данных	Выбор топологии сети	Работа с несколькими топологиями. Встроенный АЦП
	Передающий радиочастотный модуль	Минимальные возможности программирования
	Выбор сенсоров	Аналоговый преобразователь целесообразней цифрового
Уровень 2. Обработка данных	Приемный радиочастотный модуль	Возможность синхронизации данных ручным способом
	Выбор микропроцессора	Простое программирование. Взаимодействие с выбранными радиочастотными модулями. Возможность подключения к Интернету
Уровень 3. Работа в облаке	Облачная платформа подписки или веб-сервер	Представленный API для работы. Вычисления на стороне сервера
Уровень 4. Визуализация	Выбор мобильной операционной системы для разработки	Простые графические и аналитические библиотеки. Поддержка уведомлений в режиме реального времени
RF-радиочастота; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; API-интерфейс прикладного моделирования; OS-операционная система		

В частности, на уровне 1 необходимо принять три решения:

1. Выбор топологии сенсорной сети: топология сети зависит от варианта использования, и поэтому ее трудно стандартизировать, не зная спецификаций потенциальных приложений, но в узлах нужно быстро переключать топологии, чтобы сохранять энергоэффективность. Топология может сильно отличаться в зависимости от масштаба приложения, требований к резервированию и доступной мощности датчика. Предпочтительна ячеистая топология.

2. Выбор радиочастотного модуля (приемопередатчика) узла беспроводной сети: в качестве альтернативы рекомендуется использовать встроенный радиочастотный модуль с ограниченной функциональностью обработки. Как минимум, модуль должен быть способен преобразовывать аналоговые сигналы в цифровые (для измерений датчиками), обрабатывать множество топологий и иметь ограниченные возможности программирования. Выбирая программируемый датчик, можно легко управлять такими факторами, как частота дискретизации, время ожидания и пакетирование данных, без необходимости создания сложной схемы. Обязательным является наличие радиочастотного модуля с современными стандартами шифрования.

3. Выбор датчиков: датчики выбираются под конкретную задачу, для выполнения которой настроена сеть, и поэтому сложно определить конкретные критерии выбора. В качестве общей рекомендации следует использовать аналоговые датчики, а не цифровые по соображениям стоимости. Кроме того, наличие встроенного АЦП в радиочастотном модуле приводит к избыточности цифрового датчика.

На уровне 2 необходимо принять два решения:

- приемный радиочастотный модуль: для приемных модулей желательны те же характеристики радиочастотного модуля, которые описаны на уровне 1. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность синхронизации передачи данных;
- выбор микропроцессора: поскольку радиочастотный модуль был определен, основное внимание следует уделить выбору микропроцессоров. Микропроцессор не должен быть слишком сложным для тестируемого случая, и нужно наличие API-интерфейсов. Также целесообразно использовать модули, построенные на базе ESP-12E.

Выбранный микропроцессор должен быть легко программируемым, а также недорогим и способным работать от аккумулятора. Важно, чтобы микропроцессор имел готовые компоненты для взаимодействия благодаря выбранным радиочастотным модулям, это экономит время оператора и упрощает работу. Микропроцессор также должен иметь сетевые возможности для взаимодействия с Интернет-системами.

На уровне 3 платформа поддержки подписки должна обрабатывать прием и отправление больших объемов данных. Облачная платформа с API необходима, поскольку без использования API процедуры аутентификации занимают много времени. С другой стороны, использование просто веб-сервера экономически выгоднее из-за возможности обработки больших объемов данных, что характерно для работы с датчиками независимо от Интернета при получении данных с датчиков.

В качестве дополнительного требования нужно учесть возможность анализа данных и уведомление на стороне сервера вне зависимости от выбора платформы пользователем.

На уровне 4 выбор мобильной операционной системы для разработки в большей степени зависит от требований или предпочтений пользователя.

При разработке необходимо учесть возможность просмотра данных в режиме реального времени и визуализацию исторических данных. Также предпочтительны простая обработка уведомлений и последовательное подключение в режиме реального времени для просмотра данных на ПК.

Пример выбора модулей для системы распознавания в умном доме

В данном разделе показан пример выбора ключевых компонентов в соответствии с рекомендациями, представленными в предыдущем разделе.

Уровень 1. Сбор и передача данных

В соответствии с таблицей 1 сравниваются радиочастотные модули, как показано в таблице 2. После оценки была выбрана серия Digi Xbee®.

Серия Ciseco® XRF RF Digi Xbee® для встроенного ПО. При этом структура и выбор сохраняются даже при добавлении большего количества модулей или другой топологии WSN.

Уровень 2. Обработка данных. Выбор микропроцессора (таблица 3)

Raspberry Pi® слишком сложен для тестируемого случая. Поэтому лучше отдать предпочтение Arduino®, в основном, благодаря наличию API-интерфейсов Xbee®. Также целесообразно использовать модуль NodeMCU, построенный на базе ESP-12E, оснащенный процессором L106 с частотой 80 МГц и 224 КБАЙТ оперативной памяти.

Уровень 3. Выбор облачной среды или статического сервера

В связи с относительно простыми требованиями в данном случае Data.SparkFun® был выбран за его простоту и широкий спектр обучающих ресурсов. В то же время в сложных приложениях WSN с большими объемами данных такие сервисы, как машинное обучение и искусственный интеллект, могут принести значительную пользу.

Таблица 2

Выбор радиочастотных модулей

Критерии оценки	Ciseco® и XRF RF	Digi Xbee®	Радиомодуль CC1101
Поддержка АЦП	До 4 входов	До 6 входов	МГц с SMA антенной. Реально до 180 м
Возможность работы с несколькими топологиями	Необходимо программировать вручную	С помощью встроенного ПО можно построить любую топологию	Приемопередатчик для Arduino/ESP32-/STV32. Частота 433 МГц
Программирование	Удобного программного обеспечения не существует	С помощью программного обеспечения X-CTU	
Шифрование	128-разрядный стандарт AES		

Таблица 3

Выбор микропроцессора

Критерии	Arduino®	Raspberry Pi®	NodeMCU ESP8266
Описание	маленький микропроцессор с открытым исходным кодом	миниатюрный компьютер типа «Система на кристалле» (SoC)	Система на кристалле (SoC), подключенная к Wi-Fi
Сложность программирования	Программируется через последовательный интерфейс на ПК; использует язык программирования на основе C; доступны учебные ресурсы в Интернете	Способен работать с полноценной операционной системой, такой как Windows 10; но имеются сложности с дизайном	Работает под управлением полноценной операционной системы, такой как Windows 10, 11
Возможность взаимодействия с модулями Xbee	Устройства для сопряжения и API-интерфейсы существуют	Устройства для сопряжения есть, но не существует конкретных API-интерфейсов	Устройства для сопряжения и API-интерфейсы имеются
Подключение к Интернету	Необходимо использовать внешний адаптер	Встроенный Ethernet и Wi-Fi	Встроенный Ethernet и Wi-Fi

Уровень 4. Визуализация

В данном случае визуализация может быть упрощена за счет последовательного подключения к компьютеру, где есть возможность сохранять и просматривать данные, и это естественно для аналоговых компонентов с переходными процессами в компонентах схемы. Мгновенные значения могут меняться, поэтому лучше использовать среднее значение из нескольких отчетов, а для сглаживания данных целесообразно применить различные фильтры, например, фильтр скользящего среднего.

Заключение

В данной статье предложена обобщенная методика проектирования системы обнаружения активности в умном доме, использующая интеграцию WSN и Интернета вещей. Следуя трехэтапной схеме, пользователь может создавать решения, соответствующие его потребностям.

Таблица 4

Выбор облачных систем

Критерии	BM BlueMix	SparkFun®	Веб-сервер
Простота использования	Требуется опыт разработчика	Простой в использовании	Промежуточный уровень с несколькими руководствами
API (интерфейс прикладного программирования)	Представлены API-интерфейсы, но ограничена пользовательская документация	API-интерфейсы с функциями для начинающих и учебные пособия для получения доступа к Ардуино	Широкий спектр API-интерфейсов
Вычисления на стороне сервера	Обширный выбор серверных возможностей	На базовом уровне можно просматривать только конвейеры передачи данных	Обширный выбор серверных возможностей, включая машинное обучение и аналитику

Использование WSN и Интернета вещей позволяет создать совершенно новую среду с расширенным функциональными возможностями и преодолеть трудности с физическими и логическими подключениями. Преимущества этого заключаются не только в обеспечении качества жизни в умном доме и в снижении затрат с экономической точки зрения, но и в сокращении энергопотребления и связанного с этим воздействия на окружающую среду. Чтобы реализовать эти преимущества, Интернет вещей потребует дальнейших исследований для решения проблем больших данных, безопасности данных и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ronao C. A., Cho S.-B. Human Activity Recognition Using Smartphone Sensors with Two-Stage Continuous Hidden Markov Models. *Proceedings of the 10th International Conference on Natural Computation (ICNC)*. Xiamen, China; 2014:681–686.
2. Ye J., Dobson S., McKeever S. Situation Identification Techniques in Pervasive Computing: A Review. *Pervasive and Mobile Computing*. 2012;8(1):36–66.
3. Najmeddine H., El Khamlichi Drissi K., Pasquier M. et al. State of Art on Load Monitoring Methods. *IEEE 2nd International Power and Energy Conference (PECon 2008)*. Johor Bahru, Malaysia; 2008:1256–1258.
4. Buratti C., Conti A., Dardari D., Verdone R. An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution. *Sensors*. 2009;9(9):6869–6896. DOI: 10.3390/s90906869.
5. Fortin-Simard D., Bilodeau J.-S., Bouchard K., Gaboury S., Bouchard B., Bouzouane A. Exploiting Passive RFID Technology for Activity Recognition in Smart Homes. *IEEE Intelligent Systems*. 2015;30(4):7–15. DOI: 10.1109/MIS.2014.74.
6. Liu L., Stroulia E., Nikolaidis I., Miguel-Cruz A., Rios Rincon A. Smart Homes and Home Health Monitoring Technologies for Older Adults: A Systematic Review. *International Journal of Medical Informatics*. 2016;91:44–59. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2016.04.007.
7. Wilson J. S. *Sensor Technology Handbook*. Amsterdam: Elsevier; 2004. 704 p. ISBN: 9780750677295.
8. Wicaksono M. F., Rahmatya M. D. IoT for Residential Monitoring Using ESP8266 and ESP-NOW Protocol. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*. 2022;8(1):93–106.
9. Zhang Q., Wang Y., Cheng G., Wang Z., Shi D. Research on Warehouse Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. *9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2014)*. Hangzhou, China; 2014:1639–1644. DOI: 10.1109/ICIEA.2014.6931385.

10. Yashiro T., Kobayashi S., Koshizuka N., Sakamura K. An Internet of Things (IoT) Architecture for Embedded Appliances. *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. Sendai, Japan; 2013:314–319. DOI: 10.1109/R10-HTC.2013.6669068.