

УДК 004.031. 004.45

## Средства и примеры разработки систем «интернета вещей»

Для разработки проектов интернет вещей (ИВ – IoT) используются различные стратегии, инструментарии, платформы и технологии. Представлен анализ двух основных стратегий: гибридной и модельной. Рассмотрен инструментарий Mashup, которые позволяют выполнять прототипирование IoT-разработки. Описаны три фазы разработки проекта на основе Mashup. Приведен состав и назначение компонент в пятиуровневой архитектуре разработки IoT. Даны элементы разработки IoT-прототипов с использованием плат: Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 и Spark Core. Приведены критерии выбора подходящей платформы «интернета вещей» для разработки проекта IoT. Обсуждены примеры проектов ИВ и средства их разработки на российском рынке.

**В. А. ВИШНЯКОВ,**  
д. т. н., профессор, профессор  
кафедры ИКТ

Белорусский государственный  
университет  
информатики  
и радиоэлектроники

**Ключевые слова:**  
*сети IoT, стратегии,  
инструментарии,  
платформы, технологии,  
примеры IoT-проектов,  
качества обслуживания,  
алгоритм обработки  
очередей, класс трафика.*

**Введение.** Процесс разработки и внедрения систем Интернет вещей (IoT) представляет собой последовательность взаимосвязанных мероприятий, начиная с этапа планирования проекта и заканчивая использованием системы. Структура программы по разработке IoT включает: определение цели; предварительные обследования и оценка ресурсов; стратегия решения IoT; выбор эталонной архитектуры IoT; дизайнерское решение; разработка мониторинга; внедрение системы; процедуры обеспечения качества; управление данными [1].

Процесс планирования можно разделить на три основных этапа. Первый этап включает в себя определение потребностей и определение целей IoT. После определения целей можно решить, какие данные необходимы и как они будут использоваться. Затем определяются стратегия решения, эталонная архитектура IoT и технологические платформы. Второй этап включает разработку проекта IoT. Третий этап включает в себя фактическую реализацию IoT проекта.

**Стратегии проектирования «интернета вещей».** При разработке систем «интернета вещей» используются две основные стратегии: гибридная и модельная [2]. Гибридная предполагает, что система IoT разрабатывается путем объединения существующих сервисов и основана на известных инструментах и подходах веб-разработки (прототипировании), используется для некритичных приложений.

Подход, основанный на моделях, для проектирования и разработки систем на основе IoT вещей был предложен в работе [2]. Также используется

инструментарий, например, язык моделирования «интернета вещей» (ThingML) [3], который предоставляет настраиваемую структуру генерации кода. Ее можно настроить для конкретных языков, промежуточного программного обеспечения, операционных систем, библиотек и систем [4].

В работе [5] определили два основных этапа методологии, основанной на модели: (1) идентификация требований и (2) формализация требований. Первый этап основан на консультациях и обсуждениях с экспертами предметной области для сбора информации о функциональности системы и идентификации требований. Функциональные требования могут быть представлены с помощью UML-диаграмм, описывающих функции системы IoT.

Второй этап направлен на структурирование требований и разработку моделей для описания взаимосвязи системных процессов. На этом этапе можно выделить подуровни с конкретными задачами, связанными с проектированием систем «интернета вещей», такими как координация, интеграция, управление большими данными и т. д. Основным преимуществом модельно-ориентированного подхода является платформенно-независимое моделирование, которое позволяет генерировать код для конкретных IoT-платформ.

**Инструментарий проектирования.** Инструменты мешапа (Mashup) позволяют выполнять очень быстрое прототипирование и использовать преобразование, преобразование и объединение данных из одной или нескольких служб для достижения

целей проекта. Они также позволяют подключать различные службы для создания новых процессов. Кроме того, некоторые инструменты мэшапа, такие как Clickscript [6], WotKit [7], Paraimpu [8], могут обеспечить средства моделирования и поддерживать взаимодействие между различными платформами. Инструменты могут быть эффективны при описании архитектуры системы, потока сообщений (диаграмм активности) и развертывания. Разработка на базе Mashup включает три фазы.

*Фаза 1:* Изучение среды развития для определения наиболее подходящих инструментов, доступных в настоящее время для достижения целей проекта IoT.

*Фаза 2:* Выбор платформы для интеграции между сервисами и удаленными платформами. Например, эта фаза может быть выполнена с помощью вычислительного ноутбука с открытым исходным кодом (Jupyter Notebook) [9].

*Фаза 3:* обработка данных и манипулирование ими. Сбор данных IoT может включать пять альтернативных протоколов сеансового уровня IoT: AMQP, CoAP, DDS, MQTT и XMPP.

Простейшая эталонная архитектура IoT включает в себя три уровня: датчик, сеть и приложение. Более сложная архитектура может содержать от пяти до семи уровней: устройство, сеть, обработка, приложение, бизнес, управление и безопасность.

Устройства IoT могут быть подключены либо непосредственно к сети, либо через шлюз, что позволяет устройствам взаимодействовать друг с другом, а также с облачными сервисами и приложениями [10]. Двигаясь вверх, компоненты становятся более сложными, а их связность увеличивается [11]. Рассмотрим состав и назначение компонент в пяти уровневой архитектуре IoT.

1. Датчики, исполнительные механизмы, интеллектуальные устройства и встроенные системы являются компонентами сенсорного слоя. Они собирают данные из различных физических, человеческих и природных сред и обеспечивают временное хранение этих данных. Они обеспечивают две основные возможности: сбор и анализ данных из окружающей среды.

2. Шлюзы IoT (концентраторы) – это устройства, которые соединяют компоненты первого слоя с сетями. Интегрированные в автомобильные двигатели, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, используя полученные данные и их предварительную обработку, встроенные в концентраторы, позволяют конечным IoT проектам адаптироваться к поведению среды и оптимизировать эффективность функционирования.

3. Сетевые и облачные сервисы обеспечивают инфраструктуру для функционирования IoT. Они могут

быть либо общедоступными (для населения), либо частично доступными (защищенными брендом организации). Эти сетевые сервисы обеспечивают подключение к интернету концентраторов, а также предоставляют облачные вычислительные мощности, необходимые для сбора, хранения и анализа больших объемов данных с многих конечных устройств.

4. Центры обработки данных (облачные платформы) включает в себя наиболее технологически сложные компоненты «интернета вещей». Там выполняется интеллектуальная обработка полученных данных и принимаются соответствующие решения.

5. Расширенные сервисы (приложения) позволяют собирать и анализировать данные с различных платформ и предоставлять широкие интерактивные функции для конечных пользователей.

Сенсорные сети являются важным компонентом систем на основе Интернета вещей. Системы Интернет вещей с обратной связью состоит из датчиков, центров обработки и исполнительных механизмов. Данные собираются с помощью датчиков. Затем эти данные через концентраторы, сенсорные сети передаются на облачные платформы, где обрабатываются, по результатам обработки принимаются соответствующие решения. Исполнительные механизмы выполняют системные операции на основе принятых решений.

**Платы разработки и платформы «интернета вещей» для прототипирования.** Во многих случаях процесс разработки IoT включает создание прототипов с использованием одной платы или их комбинаций, которые максимально соответствуют желаемой цели. Платы разработки IoT содержат стандартные средства связи, интерфейсы датчиков и соединения ввода-вывода общего назначения, так что разработчик может интегрировать датчики, исполнительные механизмы, средства связи и микроэлектромеханическую систему для создания прототипа своей сети IoT.

Самыми популярными платформами IoT для прототипирования являются Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 и Spark Core [12]. Raspberry Pi идеально подходит для изучения серверных проектов Интернет вещей, может подключаться как к локальной сети, так и к сетям Wi-Fi. Однако не рекомендуется использовать Raspberry Pi для проектов, где есть изготовленная на заказ печатная плата, или для интеграции Raspberry Pi в готовый продукт.

Arduino идеально подходит для регистрации данных датчиков и управления исполнительными механизмами с помощью команд, отправленных на сервер другим клиентом.

ESP8266 лучше всего использовать в клиентских приложениях, таких как регистрация данных и управление исполнительными механизмами из онлайн-серверных приложений.

Платформа Spark Core идеально подходит как для серверных, так и для клиентских функций. Ее можно использовать для записи данных датчиков в облако Spark.io или для получения команд из облака.

Существуют основные критерии выбора подходящей платформы «интернета вещей» для проекта IoT [13]:

- тип подключения (Wi-Fi или сотовая связь) для системы IoT;
- тип услуги: некоторые услуги являются чисто платформами для подключения, а другие представляют собой комплексные решения, предлагающие оборудование, программное обеспечение и возможности подключения;
- срок службы проекта: как долго система «интернета вещей» будет работать;
- тарифный план: предлагает ли поставщик эффективный тарифный план;
- безопасность/конфиденциальность: как платформа IoT решает проблемы безопасности. Шлюзы облачной платформы должны предлагать шифрование SSL или DTLS;
- управляемая интеграция / доступ к API: как поставщик интегрирует сотовые модемы, сим-карты, диагностику устройств, обновления прошивки, облачные соединения, безопасность, уровень приложений и т. д.;
- избыточность и аварийное восстановление: есть ли у поставщика облачной платформы выделенная инфраструктура для обработки данных и выполняется ли резервное их копирование?
- экосистема IoT: отношения между сервисами платформы IoT;
- доступ к данным: соответствует ли услуга потребностям в интеграции данных, полученных через платформу IoT, с текущим облачным сервисом;
- аппаратное обеспечение: предлагает ли поставщик какие-либо готовые приложения, комплекты разработчика или стартовые пакеты для вашего варианта использования;
- управление устройствами: как поставщик позволяет отслеживать, сегментировать и управлять устройствами IoT;
- пограничный интеллект: платформа IoT должна иметь возможность расширяться от облака до тумана и поддерживать новые топологии для децентрализованных вычислений;
- обновления: как поставщик позволяет удаленно отправлять обновления и исправлять ошибки на устройствах.

Particle.io – это платформа, которая предлагает решения для разработки оборудования ИВ, возможности подключения, облако устройств и приложения. Particle.io производит широкую линейку

продуктов для разработки оборудования IoT как для прототипов, так и для производства на уровне DFM (design for manufacturing). Создание продукта ИВ в ней начинается с подключения устройств к интернету, и все платы микроконтроллеров Particle поддерживают связь по Wi-Fi, сотовой связи (2G/3G/LTE) или mesh-сети [14].

Средства разработки проектов ИВ на российском рынке [14]. Надо разделить два больших направления: ИВ-связь и ИВ-сервисы. ИВ-связь – это связь и сервисы, позволяющие этой связью управлять. Например, приобрели у оператора нужное количество SIM-карт, вставили их в M2M-устройства (счетчики, банкоматы или кассы) – и можно контролировать расходы и доступность устройств с помощью платформы M2M-мониторинга.

На этом сегменте рынка самыми емкими отраслями являются транспорт и логистика, хотя уровень проникновения довольно высокий. Также к ним можно отнести финансы и ЖКХ, развитие которого во многом стимулируется государством.

Рынок ИВ-сервисов реализуется иначе. Разрабатываются бизнес-приложения, которые работают с данными, собираемыми «вещами». Корректно собирать, обрабатывать, анализировать, визуализировать и, помогать автоматизировать процессы, настраивая логику работы «вещей» с участием или без участия человека. В каждой отрасли свои счетчики и датчики, свои «вещи», свои протоколы сбора и обмена данными, а главное – своя бизнес-логика работы.

Проект «Умное ЖКХ» собирает данные со счетчиков электричества, тепла, газа, воды, продукт предназначен для управляющих компаний и застройщиков. Решение «Онлайн-мониторинг воды» предназначено исключительно для водоканалов. И в отрасль логистики решения для ЖКХ не масштабируются – там другие датчики и другая бизнес-логика работы приложений.

Другой пример: у продукта «ВидеоАналитика» разработано более 20 сценариев работы компьютерного зрения: например, распознавать посетителей, считывать номер машины, чтобы открыть шлагбаум и т.д.

Самая емкая с точки зрения выручки и достаточно сложная для цифровизации с помощью ИВ-технологий – «Индустрия 4.0». Здесь требуется глубокая отраслевая экспертиза, знание производственных процессов, умение посчитать возврат инвестиций лучше, ведь ее проекты индивидуальные и дорогие.

С точки зрения развертывания технологии на инфраструктуре оператора связи, NB-IoT является привлекательной и перспективной технологией, так как использует инфраструктуру и оборудование уже существующей сети. Технология энергоэффективна

и работает в лицензируемом спектре, что гарантирует защиту от помех. Для ее развертывания требуются незначительные изменения в ядре сети и в ее радиочасти. Поскольку технология NB-IoT работает в LTE-стандарте, то для запуска потребовалось лишь обновить программное обеспечение и активировать технологию на сетевой инфраструктуре базовых станциях и опорной сети.

**Заключение.** Представлен анализ разработки проектов «интернета вещей». Для этого используются различные стратегии, инструментарии, платформы и технологии. Рассмотрены две основные стратегии разработки IoT-проектов: гибридная и модельная.

Проанализирован инструментарий Mashup, позволяющий выполнять прототипирование IoT-разработки, в котором используются три фазы проектирования на основе этих инструментов. Обсужден состав и назначение компонент в пяти уровневой архитектуре разработки проектов IoT.

Процесс разработки IoT-прототипов с выполняется с использованием плат Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 и Spark Core. Приведены также критерии выбора подходящей облачной платформы «интернета вещей» для разработки проектов IoT. Рассмотрены примеры проектов ИВ и средства их разработки на российском рынке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Zhang, Y.**, Study on the Fire IOT Development Strategy / Y. Zhang, J. Yu // *Procedia Engineering*. - 2013. Vol. 52. - P. 314-319.
2. **Prehoferand, C.** From Internet of things mashups to model-based development / C. Prehoferand, L. Chiarabini // *IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*. - September 2015. - P. 499-504.
3. **Fleurey, F.** ThingML: A Generative Approach to Engineer Heterogeneous and Distributed Systems / F. Fleurey // *IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW)*. - April 2017. - Pp. 185-188.
4. **Dias, J.** State of the Software Development Life-Cycle for the Internet-of-Things / J. Dias, H. Ferreira // 2019. [Electronic resource]. - Access mode: <https://arxiv.org/pdf/1811.04159>. - Access date: 25.12. 2021.
5. **Mezghani, E.** A Model-Driven Methodology for the Design of Autonomic and Cognitive IoT-Based Systems: Application to Healthcare / E. Mezghani, E. Expósito, K. Drira // *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*. - June 2017. Vol. 1 (3). -P. 224-234.
6. **Guinard, D.** A resource oriented architecture for the web of things / D. Guinard, V. Trifa, E. Wilde // *Internet of Things (IOT)*. - November-December 2010. - P. 1-8.
7. **Blackstock, M.** IoT mashups with the WoTKit / M. Blackstock, R. Lea // *3rd International Conference on the Internet of Things (IOT)*. - October 2012. - P. 159-166.
8. **Pintus, A.** Paraimpu: a platform for a social web of things / A. Pintus, D. Carboni, A. Piras // *21st International conference companion on World Wide Web. ACM*. - April 2012. - P. 401-404.
9. **Rule, A.** Exploration and Explanation in Computational Notebooks / A. Rule, A. Tabard, J. Hollan // *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*. - April 2018. - P. 1-12.
10. **Geber, A.** Simplify the development of your IoT solutions with IoT architectures / A. Geber, S. Cansal // *IBM Developer*. - August 2017. - P. 3-8.
11. **Burkit, F.** A Strategist's Guide to the Internet of Things / F. Burkit // 2014. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.strategy-business.com/article/00294?gko=a9303>. - Access date: 27.12. 2021.
12. **Lee, J.** How to Choose the Right IoT Platform: The Ultimate Checklist / J. Lee // Apr., 2018. [Electronic resource]. - Access mode: <https://hackernoon.com/how-to-choose-the-right-iot-platform-the-ultimate-checklist-47b5575d4e20>. - Access date: 30.12. 2021.
13. Top 10 selection criteria to choose your IoT platform. [Electronic resource]. - Access mode: <https://iotify.io/top-10-selection-criteria-for-your-iot-cloud-platform/>. Access date: 29.12. 2021.
14. Топ аппаратных платформ для проектов интернета вещей (IoT) 2021. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mikrocontroller.ru/esp8266-projects/top-apparatnyh-platform-dlya-proektov-interneta-veshhej-IOT/> - Дата доступа: 15.09.2022.
15. «Интернет вещей» в России 2021. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://www.cnews.ru/projects/2021/internet\\_of\\_things](https://www.cnews.ru/projects/2021/internet_of_things). - Дата доступа: 15.01.2022.

*Various strategies, tools, platforms and technologies are used to develop Internet of Things projects (and in Ios). The analysis of two main strategies is presented: hybrid and model. The Mashup toolkit, which allow prototyping Ios development, is considered. Three phases of Mashup-based project development are described. The composition and purpose of components in the five-level architecture of IoT development is given. The process of developing IoT prototypes using boards: Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 and Spark Core is given. The criteria for choosing a suitable Internet of Things platform for the development of an IoT project are given. Examples of S projects and means of their development on the Russian market were discussed.*

**Keywords:** IT networks, strategies, tools, platforms, technologies, examples of IoT projects.

Получено 17.01.2022.