

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.75(476)

На правах рукописи

КЛИМОВ
Константин Олегович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ УСЛУГ
ИНТЕРНЕТА-ВЕЩЕЙ НА БАЗЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОПЕРАТОРОВ
СВЯЗИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии
(профилизация «Компьютерные технологии проектирования
электронных систем»)

Минск 2021

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ПИСКУН Геннадий Адамович**,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры проектирования информационно-
компьютерных систем учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ГРИГОРЬЕВА Наталья Александровна**,
кандидат экономических наук, доцент кафедры
«Строительные материалы и технология
строительства» Белорусского национального
технического университета

Защита диссертации состоится «24» июня 2021 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, E-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развивающаяся технология Интернета-вещей (англ. *Internet of Things, IoT*) нашла широкое применение в различных областях индустрии – производстве, логистике, медицине, энергетике, транспорте, городском хозяйстве, управлении чрезвычайными ситуациями и т.д. Основная идея *IoT* состоит в организации взаимодействия разнообразных предметов в окружающей человека среде, передачи информации, генерируемой этими вещами и предоставлении бесперебойного соединения. Взаимодействие вещей осуществляется посредством уже имеющихся и разрабатываемых информационно-коммуникационных технологий.

Как технологию инфокоммуникаций *IoT* можно записать в виде символической формулы: *IoT* = Сенсоры (датчики) + Данные + Сети + Услуги.

К существующим требованиям технологий инфокоммуникации и взаимодействия, таким как обеспечение связи «в любом месте» и «в любое время», в пространстве Интернета вещей появляется еще одно – «связь с любой вещью». Под этим требованием понимают, как взаимодействие между вещами, так и между вещью и человеком.

Технология *IoT* находится на стадии ранней реализации и активных исследований. На международном уровне данная концепция уже обретает черты сформировавшейся технологии – ведутся активные работы в области стандартизации архитектуры, технических компонентов, приложений, одновременно с учетом специфики информационного взаимодействия в Интернете вещей требуются новые модели и алгоритмы, способствующие проектированию оптимальных решений *IoT*.

В общем случае модель *IoT* подразумевает наличие у каждой физической вещи, как минимум, элемента оборудования для коммуникации и некоторых опциональных возможностей, например, возможности ввода, хранения, обработки данных либо измерения каких-либо параметров.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Количество устройств Интернета-вещей и данных производимых ими растёт каждый день: некоторые решения могут производить до петабайта данных и поддерживать подключение миллиона устройств одновременно. Для обработки такого объёма данных требуются огромные вычислительные ресурсы, размещение и обслуживание которых в собственном дата-центре не всегда предоставляется возможным. В таких случаях имеет смысл

воспользоваться услугами облачных провайдеров, которые предоставляют вычислительные ресурсы, берут на себя обслуживание оборудования и позволяют сэкономить значительные средства.

Рост автомобилизации и развитие промышленных предприятий пагубно сказывается на окружающей среде. Содержание вредных веществ и углекислого газа выросло на 10 % за последние 10 лет. По этой причине отслеживание и мониторинг этих показателей в реальном времени с разных локаций может существенно повлиять на экологическую обстановку в конкретной области. Для решения этой проблемы в ходе написания диссертации была разработана модель системы Интернета-вещей, которая позволяет обрабатывать данные качества воздуха в различных точках города и реагировать на их изменение.

В связи с вышесказанным актуальность диссертации заключается в востребованности использования технологий Интернета-вещей в мире, а также ухудшающейся экологической обстановки в городах.

Степень разработанности проблемы

Особенности применения технологии *IoT* были рассмотрены в исследованиях российских и зарубежных авторов Е.П. Зараменских, И.Е. Артемьев, М. Шварц, С. Грингард и других.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является неполное рассмотрение методов и алгоритмов построения инфраструктуры и реализации систем Интернета-вещей.

Также недостаточно освещен вопрос обработки данных, используя ресурсы облачных операторов связи, которые поступают с устройств Интернета-вещей.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка и систематизация методов и алгоритмов реализации систем Интернета-вещей на базе облачных операторов связи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие основные задачи:**

1. Изучить основные методы и алгоритмы построения систем Интернета-вещей.
2. Спроектировать систему Интернета-вещей на базе одного из облачных операторов.

3. Разработать программный продукт для сбора и обработки данных о качестве воздуха на базе одного из облачных операторов (например, *Amazon Web Services*).

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 80 03-2019 специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии (профилизация «Компьютерные технологии проектирования электронных систем»).

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы российских и зарубежных ученых в области Интернета-вещей, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике. В магистерской диссертации используются следующие общенаучные методы: структурный и сравнительный анализ, метод формализации. В диссертации используется системный подход к разработке системы контроля и управления доступом. В основу изложения научных результатов положена гипотетико-дедуктивная схема научного исследования.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна исследования заключается в разработке эффективной и надежной системы для сбора, передачи и анализа данных о качестве воздуха в разных частях города с учетом наличия и концентрации загрязнения.

Теоретическая значимость работы заключается в разработанных методиках и алгоритмах использования преимуществ технологии Интернета-вещей для обработки большого объема данных, получаемых с различных сенсоров.

Практическая значимость состоит в возможности использования разработанной в процессе исследований системы для мониторинга состояния окружающей среды в разных участках города.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Систематизация методов и алгоритмов построения систем Интернета-вещей, основанная на анализе используемых типовых решений, позволившая выявить основные критерии к разработке систем данного типа.

2. Спроектирована система Интернета-вещей для мониторинга состояния окружающей среды в различных участках города, основанная на анализе потока данных с сенсоров, позволяющая своевременно реагировать на изменение уровня загазованности воздуха.

3. Программный продукт для сбора и статистического анализа данных о качестве воздуха, основанный на обработке потока информации с сенсоров, позволяющий с задержкой в 10-20 секунд реагировать на изменение экологической обстановки в городе.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции «Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества» (г. Уфа, Российская Федерация, 2020 год), на международной научно-практической конференции «Внедрение передового опыта и практическое применение результатов инновационных исследований» (г. Волгоград, Российская Федерация, 2020 год), 56-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2020 год), 57-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2021 год), 7-й международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» (г. Минск, Беларусь, 2021 год).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при разработке любого проекта или системы, что позволит увеличить эффективность и надежность системы Интернета-вещей.

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 8 печатных работах.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 33 страницы.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе приведен анализ предметной области, функциональных возможностей систем Интернета-вещей и облачных операторов связи.

Во второй главе выполнено проектирование архитектуры и процессов системы Интернета-вещей для мониторинга состояния окружающей среды в городе.

В третьей главе был разработан программный продукт для агрегирования и обработки данных о загрязнении воздуха, на базе данных с сенсоров.

Общий объем диссертационной работы составляет 108 страниц. Из них 55 страниц основного текста, 30 иллюстраций на 10 страницах, библиографический список из 72 наименований на 5 страницах, список собственных публикаций соискателя из 8 наименований на 2 страницах, 4 приложения на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы развития систем Интернета-вещей, методов и алгоритмов, используемых при проектировании таких систем, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** приведен анализ предметной области, функциональных возможностей систем Интернета-вещей и облачных операторов связи.

Из анализа следует, что проблема реализации систем Интернета-вещей заключается в отсутствии систематизации основных методов и алгоритмов для построения таких систем.

Другая сложная задача заключается в анализе и обработке большого объема данных, генерируемого устройствами Интернета-вещей. Для эффективной обработки требуются огромные вычислительные ресурсы, которые не всегда доступны в локальных датацентрах.

В главе были проанализированы услуги и сервисы трех основных облачных провайдеров. Согласно аналитике *Gartner* ими являются: *Amazon(AWS)*, *Microsoft(Azure)* и *Google(GCP)*. Проведено сравнение основных *IoT*-сервисов облачных провайдеров, которые используются при создании систем Интернета-вещей. На рисунке 1 представлена аналитика основных операторов.



Рисунок 1 – Основные облачные операторы

Проанализированы основные компоненты и технологии современных *IoT*-систем, а также основные облачные операторы. Было выявлено, что одной из наиболее важных и сложных задач в реализации систем Интернета-вещей является создание, обновление и управление большим количеством устройств, а также обеспечение их безопасного функционирования.

Во второй главе выполнено проектирование системы Интернета-вещей для мониторинга состояния окружающей среды в городе на базе облачного оператора *AWS*. Спроектированная архитектура представлена на рисунке 2.

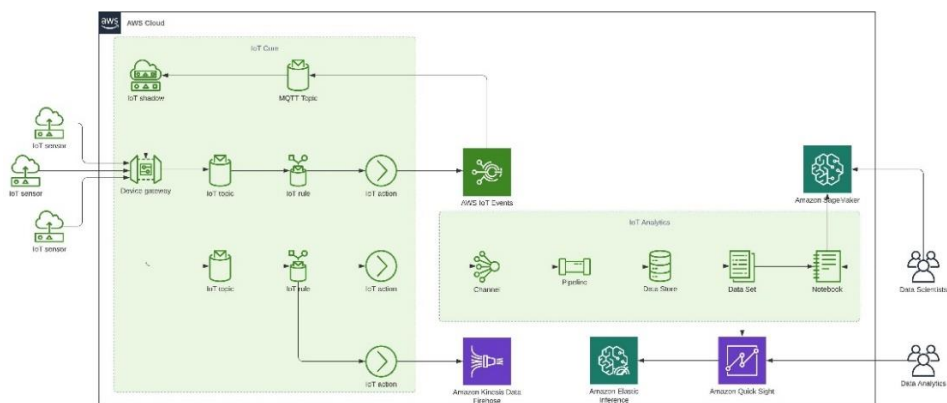


Рисунок 2 – Архитектура проектируемой системы

На базе сервиса *AWS IoT Core* была спроектирована архитектура для обработки данных (рисунок 3). После получение *MQTT* сообщения от

устройства Интернета-вещей сервис перенаправляет его на один из настроенных каналов *AWS IoT Analytics Channel*. Каналы *AWS IoT Analytics* – это логическое представление потока обработки данных, который позволяет отследить объём данных, переданных ему, передать их другому сервису аналитики или архивировать.

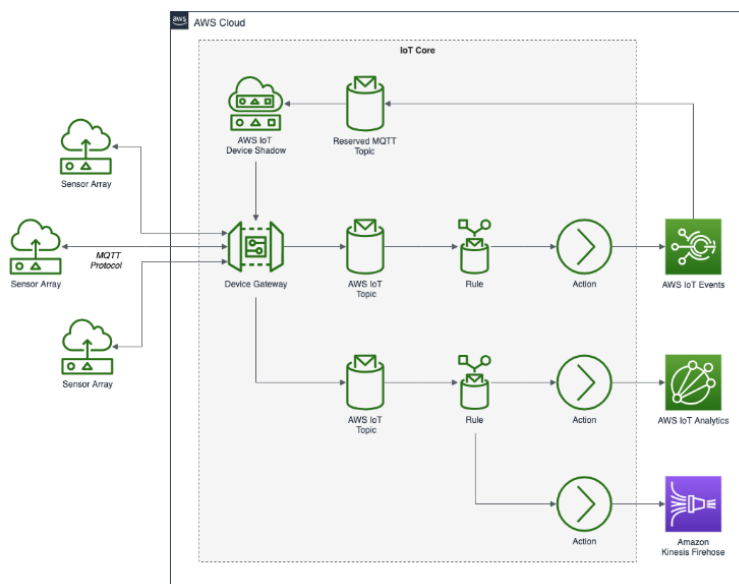


Рисунок 3 – Архитектура *AWS IoT Core* для обработки данных с устройств

Далее сообщения фильтруются с помощью языка *SQL* и пересылаются на другие сервисы *AWS* или используются *AWS IoT Analytics* для последующей аналитики. На рисунке 4 представлена архитектура *AWS IoT Analytics*.

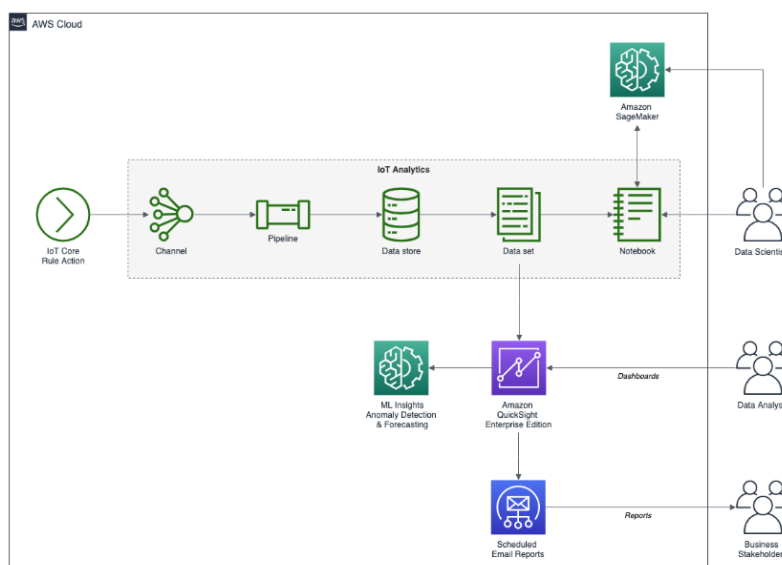


Рисунок 4 – Архитектура *AWS IoT Analytics*

AWS IoT Analytics Pipeline использует сообщения от одного или нескольких каналов, а затем преобразует, фильтрует и обогащает сообщения перед их хранением в *IoT Analytics Data stores*. Сервис позволяет производить до 23 различных действий над сообщениями.

После первичной обработки сообщений в *Analytics Pipeline* данные загружаются в *AWS IoT Analytics Data Set* для хранения и последующей обработки в других сервисах *AWS*. Просмотреть данные можно с помощью выполнения запросов на языке *SQL*.

Для выполнения статистического анализа полученных данных может использоваться сервис *AWS IoT Analytics Notebook*, который использует *Jupyter Notebooks* и язык *Python* для обработки и представления данных. Сервис *IoT Analytics Notebook* включает набор шаблонов, которые содержат разработанные *AWS* модели машинного обучения и визуализации. Шаблоны могут храниться в хранилище исходного кода.

В третьей главе было разработано программное средство для сбора и обработки данных качества окружающей среды в различных точках города.

В качестве данных для обработки были использованы данные датчиков окружающей среды, собранные практически в реальном времени с ряда устройств Интернета-вещей. Сенсоры подключаются к одноплатному компьютеру *Raspberry Pi*, для наглядности, устройства были специально размещены в физических местах, которые различаются по температуре, влажности и другим условиям окружающей среды.

Каждое устройство включает в себя следующие датчики: датчик качества воздуха, датчик обнаружения опасных газов, цифровой датчик температуры и влажности. Устройство вместе с датчиками представлено на рисунке 5.

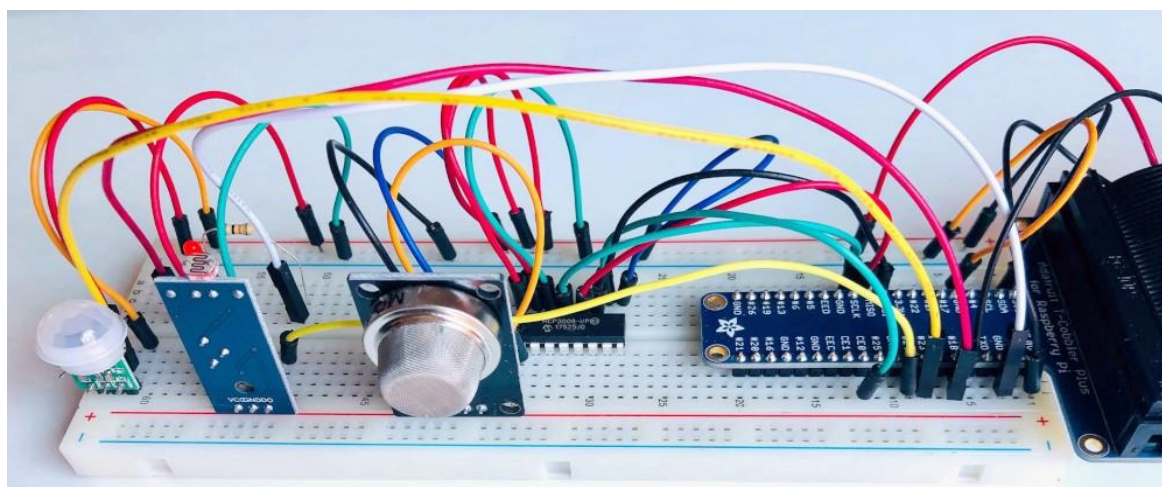


Рисунок 5 – Устройство для сбора и обработки данных

На каждом устройстве *Raspberry Pi* запущен *Python* скрипт, который использует пакет разработки *AWS SDK* для Интернета-вещей. Скрипт собирает в общей сложности семь различных показаний от трёх датчиков с регулярным интервалом, далее скрипт отправляет показания датчиков вместе с идентификатором устройства и меткой времени в виде единого сообщения в *AWS*, используя стандартный сетевой протокол Интернета-вещей *MQTT*.

Каждое *MQTT* сообщение содержит данные о содержании углекислого газа в воздухе, влажности и температуры окружающей среды (Листинг 1). Устройства *Raspberry Pi* заранее зарегистрированы в сервисе *AWS IoT Core*.

Листинг 1 – Содержание *MQTT* сообщения

```
1  {
2    "data": {
3      "co": 0.006104480269226063,
4      "humidity": 55.099998474121094,
5      "light": true,
6      "lpg": 0.008895956948783413,
7      "motion": false,
8      "smoke": 0.023978358312270912,
9      "temp": 31.799999237060547
10   },
11   "device_id": "6e:81:c9:d4:9e:58",
12   "ts": 1594419195.292461
13 }
```

Для визуализации полученных данных был использован сервис *Amazon QuickSight*. Данный сервис интегрируется и позволяет загружать данные в режиме реального времени напрямую из *Analytics Data Set*. Данные были визуализированы с помощью встроенных средств визуализации (рисунок 6).

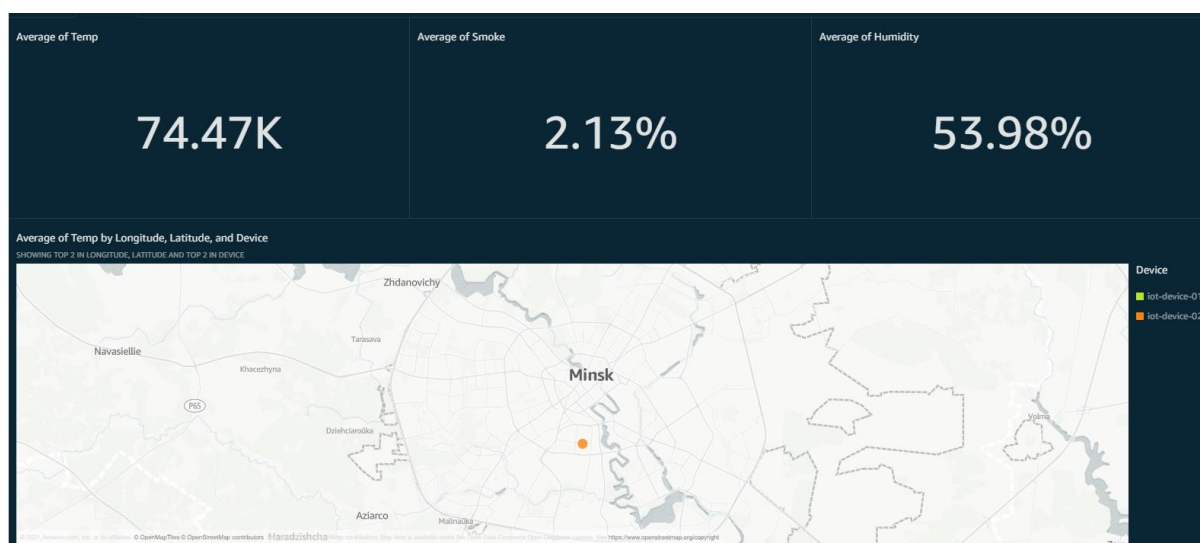


Рисунок 6 – Дашборд в *Amazon QuickSight*

Для отслеживания полученных данных можно создать дэшборд, с различными визуализациями данных, которые будут поступать в режиме реального времени к пользователю.

Для обработки аномальных событий был использован *QuickSight ML Anomaly Detection*, который непрерывно анализирует данные для обнаружения аномалий в поступающих данных. *ML*-прогнозирование на базе технологии *QuickSight* может использоваться для точного прогнозирования ситуации состояния окружающей среды в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате анализа существующих методов и алгоритмов построения систем Интернета-вещей выявлены основные критерии к разработке и построению таких систем.

2. Спроектирована архитектура системы Интернета-вещей для мониторинга состояния окружающей среды в разных частях города, на основании данных с сенсоров. Данная система позволяет одновременно обрабатывать данные с миллиона устройств Интернета-вещей и может автоматически масштабироваться в зависимости от нагрузки.

3. Разработан программный продукт для сбора и статистического анализа данных о состоянии воздуха в режиме реального времени с задержкой реагирования в 10-20 секунд. Программный продукт создан с применением принципов инфраструктуры как код, который позволяет развертывать систему в течении 30 минут на базе облачного оператора связи *Amazon Web Services*. С помощью *ML*-прогнозирования разработанный программный продукт позволяет обрабатывать аномальные события и прогнозировать изменения в состоянии среды в будущем.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Распределенные информационные системы и сети».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Климов, К. О. Классификация *IoT*-платформ / К. О. Климов //

Научные исследования XXI века. – 2020. – № 2. – С. 55-57.

[2] Климов, К. О. Использование сервисов *Google Cloud* для непрерывной интеграции и *OTA* обновлений устройств Интернета-вещей / К. О. Климов // Научные исследования XXI века. – 2020. – № 2. – С. 52-54.

[3] Климов, К. О. Использование сервисов *Microsoft Azure* для обработки данных Интернета-вещей / К.О. Климов // Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества: материалы Международной научно-практической конференции / Уфа: Аэтерна, 2020. – С. 21-23.

[4] Климов, К. О. Построение систем интернета вещей на базе облачной платформы *AWS* / К. О. Климов // Электронные системы и технологии: сборник тезисов докладов 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18 – 20 мая 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2020. – С. 602-603.

[5] Климов, К. О. Использование протокола *MQTT* в системах Интернета-вещей / К.О. Климов // Внедрение передового опыта и практическое применение результатов инновационных исследований: материалы Международной научно-практической конференции, (Волгоград, 20.05.2020 г.) / Уфа: Аэтерна, 2020. – С. 24-27.

[6] Климов, К. О. Аналитика *IoT* данных с использованием сервиса *AWS IoT Analytics* при исследовании загазованности окружающей среды / К. О. Климов [и др.] // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA* и анализ высокого уровня : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 мая 2021 года / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2021. – С. 131-137.

[7] Климов, К. О. Особенности обработки больших данных в реальном времени в облаке *AWS* с использованием сервиса *AWS Kinesis* / К. О. Климов [и др.] // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA* и анализ высокого уровня : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 мая 2021 года / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2021. – С. 322-327.

[8] Климов, К. О. Приложение на *ReactJs* для обработки данных интернета вещей с использованием сервиса *AWS* / К. О. Климов, М. А. Толстых // Электронные системы и технологии : сборник материалов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 19-23 апреля 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2021. – С. 610-611.

РЭЗІЮМЭ

Клімов Канстанцін Алегавіч

Метады і алгарытмы рэалізацыі паслуг Інтэрнэту-рэчаў на базе існуючых апэратараў сувязі ў Рэспубліцы Беларусь

Ключавыя словы: Інтэрнэт-рэчаў, IoT.

Мэта працы: распрацоўка і сістэматызацыя метадаў і алгарытмаў рэалізацыі сістэм Інтэрнэту-рэчаў на базе хмарных апэратараў сувязі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: у выніку аналізу існуючых метадаў і алгарытмаў пабудовы сістэм Інтэрнэту-рэчаў выяўлены асноўныя крытэрыі да праектавання такіх сістэм; спраектаваная архітэктара сістэмы Інтэрнэту-рэчаў для маніторынгу стану навакольнага асяроддзя ў гарадах; распрацаваны праграмны прадукт для збору і статыстычнага аналізу дадзеных аб стане паветра ў рэжыме рэальнага часу.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальны курс «Арганізацыя інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм і сетак».

Вобласць ужывання: інфармацыйныя тэхналогіі, хмарныя тэхналогіі.

РЕЗЮМЕ

Климов Константин Олегович

Методы и алгоритмы реализации услуг Интернета-вещей на базе существующих операторов связи в Республике Беларусь

Ключевые слова: Интернет-вещей, IoT.

Цель работы: разработка и систематизация методов и алгоритмов реализации систем Интернета-вещей на базе облачных операторов связи.

Полученные результаты и их новизна: в результате анализа существующих методов и алгоритмов построения систем Интернета-вещей выявлены основные критерии к проектированию таких систем; спроектирована архитектура системы Интернета-вещей для мониторинга состояния окружающей среды в городах; разработан программный продукт для сбора и статистического анализа данных о состоянии воздуха в режиме реального времени.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Организация информационно-компьютерных систем и сетей».

Область применения: информационные технологии, облачные технологии.

SUMMARY

Klimov Konstantin Olegovich

Methods and algorithms for the implementation of Internet of Things services based on existing telecom operators in the Republic of Belarus

Keywords: Internet of Things, IoT.

The object of study: development and systematization of methods and algorithms for the implementation of Internet of Things systems based on cloud telecom operators.

The results and novelty: as a result of the analysis of existing methods and algorithms for constructing IoT systems, the main criteria for the design of such systems were identified; the architecture of the Internet of Things system was designed for monitoring the state of the environment in cities; a software product has been developed for the collection and statistical analysis of data on the state of air in real time.

Degree of use: the results were introduced into the educational process at the department of design of information and computer systems of the educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics" in the training course "Organization of information and computer systems and networks".

Sphere of application: information technology, cloud technology.