СПЕЦИФИКА РЕАЛИЗАЦИЙ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-9-24-30

Довбня Виталий Георгиевич,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия, vit_georg@mail.ru

Фролов Сергей Николаевич,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия, snfrolov@bk.ru

Сулима Константин Павлович,
Курский государственный университет,
г. Курск, Россия, konstantin.sulima@sulimak.com

Щитов Алексей Николаевич,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия, a.n.schitov@mail.ru

Manuscript received 22 June 2020;

Accepted 26 August 2020

Ключевые слова: беспроводные сети, автоматизированная система управления технологическими процессами, аппаратно-программный комплекс телеметрии и управления, АСУНО, СМИС, технология LoRaWAN, сетевой сервер.

В условиях быстрого роста различных сферы интернета вещей в настоящее время не сформировался единый подход к построению сетей, на базе беспроводных сетей Low-power Wide-area Network (LPWAN) с учетом общих требований к ним, как к автоматизированным системам управления (АСУ). Выделяют следующие сферы использования интернета вещей: промышленность и производство; транспорт и перевозки; контроль технического состояния конструкций зданий, качества воздуха, шумового фона и потребляемой энергии; управление отходами; умные парковки и предоставление данных о дорожных пробках; умное уличное освещение и использование в быту. Сети на базе технологии Low-power Wide-area Network позволяют обеспечить недорогую энергоэффективную беспроводную связь при реализации современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в различных сферах индустрии. Это экономически выгодно и эффективно для построения аппаратно-программных комплексов (АПК) телеметрии и управления, таких как, например, для систем мониторинга инженерных систем (СМИС) и автоматизированных систем управления наружным освещением (АСУНО). В статье проведен структурный и функциональный анализ подходов к построению элементов аппаратно-программного комплекса на базе LoRaWAN с учетом специфики и логики функционирования АСУНО и СМИС, а также выполнены расчеты пропускной способности и емкости сети для одного шлюза в зависимости от режима работы АПК. Для реализации ключевого элемента сети Low-power Wide-area Network – сервера управления (СУ) выполнен параметрический анализ его существующих реализаций, результаты которого позволили получить семнадцать показателей, определяющих функционал сетевого сервера (СС). В процессе проектирования собственной реализации программного обеспечения (ПО) сетевого сервера определена его структура и механизмы взаимодействия его основных элементов.

Информация об авторах:

Довбня Виталий Георгиевич, Юго-Западный государственный университет, доцент кафедры Космического приборостроения и системы связи, д.т.н., г. Курск, Россия

Фролов Сергей Николаевич, Юго-Западный государственный университет, ведущий научный сотрудник Центра перспективных исследований и разработок, к.т.н., г. Курск, Россия

Сулима Константин Павлович, Курский государственный университет, аспирант, г. Курск, Россия

Щитов Алексей Николаевич, Юго-Западный государственный университет, инженер Центра перспективных исследований и разработок, г. Курск, Россия

Для цитирования:

Довбня В.Г., Фролов С.Н., Сулима К.П., Щитов А.Н. Специфика реализаций комплексов управления на базе технологии LoRaWAN // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №9. С. 24-30.

For citation:

Dovbnya V.G., Frolov S.N., Sulima K.P., Schitov A.N. (2020) Specifics of implementation of control systems based on LoRaWAN technology. T-Comm, vol. 14, no.9, pp. 24-30. (in Russian)

Введение и анализ специфики АПК телеметрии и управления

В рамках рассматриваемых сфер применений специфика реализации АПК телеметрии и управления в едином пространстве функций характеризуется совмещением разных подходов для СМИС и АСУНО.

СМИС является системой которая разрабатывается в соответствии с требованиями ГОСТ Р 22.1.12-2005 [1], строится по иерархической структуре и включает следующие элементы:

- сервер СМИС;
- АРМ СМИС;
- контроллеры СМИС;
- локальную вычислительную сеть СМИС;
- датчики контроля изменения состояния оснований, строительных конструкций зданий и сооружений (оборудование полевого уровня);

СМИС рекомендуется устанавливать на объектах со следующими характеристиками:

- высота более чем 100 метров;
- пролёт более чем 100 метров;
- наличие консоли более чем 20 метров;
- заглубление подземной части ниже планировочной отметки земли более чем 15 метров;
- наличие конструкций и конструктивных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета, с учетом физических или геометрических нелинейных свойств, либо разрабатываются специальные методы расчета;
- расположение в сейсмоопасной зоне.

С точки зрения ифраструктурно-логической организации СМИС – это классическая сенсорная сеть, достаточно хорошо подходящая под архитектуру сети LoRaWAN. В радиосети LoRa используется метод случайного доступа типа ALOHA, который допускает вероятность пропуска сообщений от конечного устройства (КУ) на уровне 3-5%. Это вызывает необходимость построения для СМИС устойчивой сети телеметрии с резервирования датчиков. Основное требование СМИС к инфраструктуре LoRaWAN – это надежность функционирования сетевых компонентов (в том числе шлюзов и СУ), которые должны обеспечить своевременность оповещения оператора о критических изменениях в инженерных конструкциях.

Особенность такого подхода позволяет гарантированно зарегистрировать и довести до требуемого уровня управления АСУ ТП, сообщения от датчиков контроля о значимом изменении параметров конструкции или аварийной ситуации. При разработке структурных компонентов АПК как системы мониторинга, описанная специфика СМИС, требует определения трафиковой модели и оптимального варианта построения ПО СУ.

Основные вопросы организации, цели и задачи, стандарты АСУНО достаточно полно освещены в тематическом выпуске журнала Автоматизация в промышленности за 2011 г. [2]. Средства АСУНО включают: АРМ, серверы, сетевую инфраструктуру, конечные устройства управления светильниками, оборудование автоматизированных пунктов включения линий уличного освещения и т.д.

Функции АСУНО:

- 1) Автоматическое управление включением/отключением электропитания линий уличного освещения.
- 2) Местная индикация режима работы, наличия питающего напряжения, состояния и сигналов управления.
- 3) Автоматизированный диспетчерский контроль технологических параметров различных типов.
- 4) Запись и хранение значений технологических параметров.
- 5) Отображение текущих и архивных значений технологических параметров, событий.
- 6) Протоколирование событий, включающих отклонения технологических параметров за установленные пределы.
- 7) Формирование визуальных и звуковых сообщений диспетчеру в случае критических событий.

АСУНО – классическая система автоматизации нижнего уровня АСУ ТП, где значимо надежное функционирование каждого отдельного светильника для освещения конкретного участка в заданном режиме. При этом, для пользователя, в конечном итоге, не важно функционирует ли при этом вся система управления и её сетевая инфраструктура. Система управления наружным освещением должна обеспечить возможность организации автономной автоматической работы КУ светильников: обновление системного времени, расписания, режимов работы и т.п., а сами устройства управления светильниками обладать большой степенью автоматизации.

Из этого следует, что при проектировании АСУНО (как системы управления), в первую очередь, выдвигаются требования к сети LoRaWAN с точки зрения организации гарантированных и синхронных нисходящих соединений от сервера к КУ. Во вторую очередь (как системы телеметрии) требуется обеспечение устойчивого и своевременного мониторинга устройств управления светильниками. Рассмотренная специфика АСУНО требует поиска рациональных сетевых решений с точки зрения выбора адекватной трафиковой модели сети и рациональных алгоритмов функционирования ПО СУ.

Таким образом, из-за разницы в логике функционирования АСУ ТП СМИС и АСУНО как комплексов телеметрии и управления на базе беспроводной сети LoRaWAN, при реализации её структурных элементов, таких как конечные устройства в виде датчиков и актюаторов, шлюз сетевой сервер и сервер приложений необходимо совмещение отчасти разноплановых подходов.

Расчёт пропускной способности и ёмкости сети LoRaWAN для различных режимов работы

При исследовании пропускной способности и емкости обмена данными в сети LoRaWAN следует исходить из понимания, что она основана на асинхронном протоколе ALOHA [3].

Оценка пропускной способности системы ALOHA [4] определяется при следующих допущениях:

- передаваемые пользовательские данные образуют пуассоновский поток, (поступают на терминалы по случайному закону);
- переданные пакеты, отбракованные из-за ошибок и переповторяются, образуя тот же пуассоновский поток;

- все пакеты данных передаются одинаковое время и имеют одинаковую длину;
- в сети находится бесконечное число КУ (при этом если одно КУ уже передаёт данные, это не влияет на вероятность передачи данных другим).

Вероятность того, что в этом случае за время передачи одного пакета T поступит еще k пакетов от всех терминалов сети рассчитывается по формуле Пуассона (1):

$$\Pr(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!} \quad (1)$$

где G – интенсивность поступления пакетов.

Коллизия не возникнет, если на интервале передачи сообщения, а также на одном предшествующем интервале не появятся еще пакеты для передачи от других КУ сети ($k=0$) и вероятность успешной передачи составляет $P=e^{-2G}$.

Среднее число успешно переданных за время T пакетов, т.е. пропускная способность сети, составляет $S=G \cdot P=P=e^{-2G}$. График пропускной способности приведен на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость пропускной способности от интенсивности поступления пакетов в ALOHA

Таким образом, что максимальное значение пропускной способности достигается при интенсивности поступления пакетов около 0,5 и составляет 0,18 (при вероятности потери пакетов из-за коллизии около 60%). При $G=0,025$ вероятность потери пакетов из-за коллизии составляет 5%.

Емкость, которую может обеспечить один шлюз, является следствием числа пакетов, которые могут быть получены в данный момент времени. Он способен в идеальных условиях получить до 1,5 млн пакетов за сутки. В случае если КУ шлёт один пакет в час, то один шлюз LoRa теоретически способен обслуживать около 62-500 устройств [5].

Проведенное оценочное моделирование пропускной способности в сети LoRaWAN показало, что поскольку она основан на базе протокола ALOHA и в ней достаточно сложно интегрированы механизмы проверки и подтверждение передачи сообщений, то такая структура способствует появлению коллизий и повышению вероятности потери пакетов более чем на 50% при непропорциональном повышении интенсивности поступления пакетов.

Для дальнейшего проектирования и определения тех параметров, которые обеспечит шлюз в соответствии с оце-

ночной моделью пропускной способности LoRaWAN целесообразно провести выбор трафиковой модели и рассчитать емкость сети для одного шлюза, исходя из специфики работы АПК как для средства телеметрии и как системы управления.

В качестве трафиковой модели шлюза LoRa, исходя из анализа функциональности КУ СМИС и АСУНО, возможно считать систему со следующими свойствами:

- количество радиочастотных каналов (N_f) – 8;
- средняя частота передачи пакетов одним ОУ – 1 пакет/час;
- средний размер данных, передаваемых в поле FRMPayload – 10 байт;
- пакеты от ОУ передаются с подтверждением доставки от СС в RX1;
- скорость кодирования (CR) – 4/5;
- передача заголовка включена (*explicit mode* – $H=0$), передача CRC включена ($CRC=1$), оптимизация скоростей включена ($DE=0$);
- допустимая вероятность коллизии ($PLOSS$) – 5%;
- совмещение по времени в одном радиоканале двух пакетов от различных источников считается коллизией только при совпадении коэффициентов расширения спектра (SF).

С точки зрения системы массового обслуживания данная (СМО) модель состоит из восьми групп (число каналов демодуляции модуля на базе SX1301 от Semtech) по шесть трактов в каждой группе (число коэффициентов расширения спектра), т.е. в общей сложности 48 каналов, каждый из которых эквивалентен СМО с отказами.

Расчет пропускной способности такой СМО производится на основании исходных данных по времени передачи одного пакета ($T_{SF} = T_{SF} ULpacket + T_{SF} DLpacket$), для разных коэффициентов расширения спектра (SF) определяется данными по временным параметрам, указанным в спецификации LoRaWAN. При проведении расчётов коэффициент расширения спектра LoRa-сигнала, в большей степени, чем все остальные параметры определяет время передачи пакетов, качество работы оконечных устройств и в конечном итоге емкость самой сети LoRa.

При вероятности использования, соответствующего SF для передачи пакета (P_{SF}), которая определяется моделью с равномерным распределением КУ по территории радиопокрытия, допустимое кол-во пакетов на LoRa GW в сутки составляет (1):

$$Throughput = N_f \cdot \sum_{SF} P_{SF} \cdot \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{5\%}}{T_{SF}} \quad (2)$$

где $G_{5\%} = 0,0256$ – интенсивности поступления пакетов при $PLOSS=5\%$.

Для равномерного распределения число сообщений в сутки для восьмиканальной системы равно 64 349 шт., а количество КУ при этом составит 2 681 шт. Для распределения по площади зон радиопокрытия, число сообщений в сутки для восьмиканальной системы равно 30672 шт., а количество ОУ соответственно 1278 шт.

Проведенные расчёты показали, что для выбранной трафиковой модели с подтверждением, как наиболее адекватной для АПК управления (АСУНО), количество КУ, обслуживаемых одним шлюзом LoRaWAN при их равномерном

распределении устройств, в среднем может составить до 2681 шт. При трафиковой модели без подтверждения, которая лучше подходит для АПК телеметрии (СМИС) количество КУ, обслуживаемых одним шлюзом LoRaWAN при их равномерном распределении, в среднем может быть равно 4435 шт. В случае распределения по площади зон радиопокрытия количество КУ, обслуживаемых одним шлюзом, уменьшается примерно в два раза.

При практическом построении больших сетей LoRaWAN необходимо учитывать прежде всего эффект множественного приема сообщений от одного КУ несколькими шлюзами, приводящий к необходимости уменьшения количества устройств на один шлюз, а также повторители сообщений, связанные с ошибками из-за помех или коллизий. В этих случаях использование второго окна приема (RX2) дает дополнительные ресурсы по обеспечению требуемой емкости сети [6].

Таким образом, главным в ряд общих показателей при проектировании СУ для АПК телеметрии и управления становится оптимальный выбор трафиковых моделей и расчёты емкости сети исходя из специфики функционирования его как АСУ ТП. При проектировании ПО СС сервера важно реализовать эффективные алгоритмы разрешения коллизий радиосети, связанных с повторами сообщений, потерянных из-за ошибок и эффектов множественного приема при нахождении КУ в зоне действия нескольких шлюзов.

Параметрический анализ существующих реализаций СУ LoRaWAN

В настоящее время существует ряд реализаций СУ LoRaWAN, как коммерческих, так и свободных с открытым кодом. Некоторые из последних варианты стали фактически субстандартом, а отдельные производители указывают совместимость своего оборудования, например, с такими сборками как: LoRaServer (The Things Network), LoRa Server (Brocaar), Lorawan-server (gotthardp).

Однако на практике существуют веские причины, по которым проектирование и разработка собственного ПО СУ целесообразнее и рациональнее, чем использование готовых реализаций:

- под конкретный тип комплекса телеметрии и управления собственная реализация всегда оптимальнее и учитывает именно те цели и особенности под которые планируется АПК;
- открытый проект обычно ведется одним или небольшой группой разработчиков без гарантий, что он будет завершен и не перестанет поддерживаться;
- многими разработчиками отмечено, что при полноценности работоспособности собранной версии проекта, самостоятельная компиляция открытого кода зачастую не приводит к аналогичному результату и ряд функций серверного ПО может работать с ошибками или по декларированным алгоритмам.

Учитывая изложенные аргументы в защиту собственной разработки СУ LoRaWAN, целесообразно предварительно провести исследование его функциональности его элементов и их взаимосвязей.

СС LoRaWAN является центральным узлом всей сети. Он выполняет все базовые технологии операции технологии по взаимодействию с оконечными устройствами и обмени-

вается данными с верхними уровнями серверной архитектуры. Информационный обмен СС с КУ (регистрация, приём данных, передача команд) происходит через шлюз посредством ретрансляции полученных данных LoRaWAN на сервер MQTT и конвертации принятых рассылок MQTT в команды для КУ. Для понимания процессов обмена между структурными элементами сети LoRaWAN желательно определить структуру серверного ПО в целом и уровни взаимодействия его элементов. Наиболее типовой вариант серверной архитектуры показан на схеме LoRaWAN Server I/Q [7], представленной на рис. 2.

Рис. 2. Схема взаимодействия элементов СУ LoRaWAN

В рамках такой модели возможно рассмотреть и сформулировать функциональность основных элементов СС.

LoRa Network Server отвечает за управление инфраструктурой сети:

- контролирует сессии активных устройств в сети;
- активирует устройства, отправляющие запрос на подключение;
- авторизует пакеты с данными;
- фильтрует дубликаты пакетов от шлюза;
- маршрутизирует данные на сервер приложений;
- управляет очередью сообщений на отправку на устройства.

Gw bridge осуществляет преобразование UDP потока со шлюза в MQTT сообщения для сервера и наоборот. Учитывая, что протокол UDP не контролирует доставку сообщений, то передача их по MQTT протоколу, в JSON формате позволяет:

- защитить передачу данных между шлюзом и сервером используя MQTT с TLS;
- гарантировать доставку сообщений (QoS 1/2);
- реализовать логирование сообщений для отладки.

LoRa Application Server осуществляет управление приложениями и конечными устройствами, взаимодействие с внешними серверами (через MQTT и RESTful JSON-API интерфейсы), авторизует и управляет пользователями сети.

LoRa Data Parser – отвечает за преобразование форматов данных от устройств различных производителей в единый формат JSON и производит синтаксический разбор сообщений.

Кроме того, сетевой сервер решает ряд важных функций в рамках внутренней логики протокола LoRaWAN, таких как:

- разрешает проблему возможных коллизий при одновременной передаче данных несколькими ОУ;
- адресно отправляет КУ управляющие команды через шлюз, выделяя тайм-слоты для передачи и приема индивидуально для каждого;
- принимает решения о необходимости изменения скорости передачи данных точками (end-node), мощности передатчика, выбора канала передачи, ее начале и продолжительности по времени, контролирует заряд батарей КУ.

Полное актуальное описание функциональности, которая ложится на сетевой сервер детально регламентировано в документе LoRaWAN™ 1.1 Specification LoRa Alliance [5]. Их рассмотрение даёт возможность формулирования главных требований для этапа проектирования СС исходя из критериев к АСУ ТП – гибкость, надежность, совместимость.

Таблица 2
Показатели функциональности ПО сетевого сервера LoRaWAN

Показатель функциональности	Обозначение
Поддержка спецификации LoRaWAN 1.1	R ₁
Поддержка БС с ПО Packet Forwarder 1.4	R ₂
Наличие встроенной БД	R ₃
Поддержка настройки местоположения	R ₄
Удаленная настройка адрес сервера и портов	R ₅
Поддержка протокола NTP (синхронизация времени для БС)	R ₆
Поддержка DHCP сервер/клиент	R ₇
Поддержка NAT (модули других роутеров)	R ₈
Поддержка Firewall	R ₉
Поддержка SSL/TLS v1.2 (уровни безопасности)	R ₁₁
Автоматическое резервирование канала между основной WAN и резервной (Plug и Play)	R ₁₂
Поддержка WEB управления	R ₁₃
Поддержка SSH	R ₁₄
Поддержка обновления встроенного ПО	R ₁₅
Встроенное накопление статистических данные (использование CPU и RAM, контроль статуса сетевого соединения)	R ₁₆
Сигнализация событий от БС (отключение, переключение на резервный канал)	R ₁₇

В качестве коммерческого варианта исследовался СУ IoT Vega Server, как инструмент для организации сетей стандарта LoRaWAN любого масштаба [8]. Он позволяет управлять опорной сетью приема данных с оконечных устройств и передачи их внешним приложениям, а также передачи данных от внешних приложений на LoRaWAN устройства.

В качестве варианта открытой реализации был рассмотрен LoRa Server (Brocaar) – это сетевой сервер LoRaWAN с открытым исходным кодом (с 2020 г. название проекта ChirpStack Network Server [9]). Он реализует обработку (и дублирование) данных восходящей линии связи, принятых LoRa-шлюзом, и планирование передач данных нисходящей линии связи.

По результатам проведенных исследований и параметрического анализа сформированы показатели функциональности ПО сетевого сервера LoRaWAN (табл. 2).

Представленные результаты параметрического анализа позволили получить 17 показателей функциональности, которые имеют значение в процессе проектирования ПО СС LoRaWAN.

Реализация структуры и механизмов обмена СС LoRaWAN для АПК телеметрии и управления

Функционал серверного программного обеспечения LoRaWAN Network Server в полной мере определяется требованиями LoRa Alliance [5]. На этапе исследований было проведено изучение механизмов работы описанных в спецификации и реализованных проектов LoRaWAN Network Server. Полученные в результате параметрического анализа показатели использовались при проектировании структуры ПО сетевого сервера и принципов его взаимодействия с элементами сети LoRaWAN.

При разработке программного кода самыми важными аспектами являются определение общей структуры ПО, а также схемы взаимодействия и сопряжения её компонентов (программ, модулей, библиотек). Для разработки ПО СС была разработана структура взаимодействия компонентов ПО СУ и элементов сети LoRaWAN, представленная на рис. 3.

Рис. 3. Схема взаимодействия компонентов ПО CYLoRaWAN

На первом этапе разработки программного обеспечения был введен и реализован ряд дополнительных элементов для упрощения процесса первичной отладки и тестирования в условиях отсутствия других базовых компонентов сервера LoRaWAN. Для представленной схемы взаимодействия определены элементы и их функциональное назначение:

- приложение – реализует пользовательский функциональный UI;
- AP – реализует команды управления, получение сообщений, аутентификации;
- identity server – обеспечивает хранение пользователей, организаций, права доступа;
- frame encryption – реализует шифрование/дешифрование пользовательской части сообщений;
- U – простой пользовательский интерфейс администратора;
- orawan protocol – полная реализация всех функций протокола (заголовки, мак команды и тд.);
- w manager – обеспечивает хранение данных БС, маршрутизацию трафика между ними, дублирование сообщений и тп;
- join server – реализует механизмы регистрации устройств (ABP, OTAA), и хранение ключей;
- message queue – очереди сообщений для каждого устройства;
- postgresql – база данных для хранения всех сущностей (пользователей, организации, устройства и тд.), при этом для обеспечения безопасности данных БД для каждого приложения своя и хранит разные данные;
- redis – обеспечивает хранение очереди сообщений;
- updmqtt converter – реализует конвертирование udp сообщений в mqtt.

Разработанная схема взаимодействия – это основа для разработки программных компонентов сетевого сервера LoRaWAN. Она учитывает все возможные механизмы для реализации и с учетом специфики АПК телеметрии и управления. В тоже время внутреннее содержание механизмов спроектировано в строгом соответствии со спецификацией LoRaWAN® Specification v1.1 [5].

Результаты

В статье проведен структурный и функциональный анализ подходов к построению комплексов телеметрии и управления на базе сетей LoRaWAN и параметрический анализ их структурных элементов. Важным аспектом при проведении исследований была ориентация на обеспечение последующего процесса проектирования сетевого сервера АПК обширной базой формализованных знаний с акцентированием на тех моментах и особенностях, которые в явном виде не изложены в спецификациях и стандартах.

Проведенные расчёты определили ёмкости сети одного шлюза для трафиковой модели с подтверждением, как наиболее адекватной при реализации АПК управления (АСУ-НО), и трафиковой модели без подтверждения, которая лучше подходит для АПК телеметрии (СМИС)

Исследование вариантов реализации серверных компонентов LoRaWAN, на базе существующих решений опреде-

лило важные показатели, на которые следует обратить пристальное внимание при разработке ПО СС:

- выбор эффективных алгоритмов разрешения коллизий радиосети;
- обеспечение высокой производительности алгоритмов обработки данных;
- выбор современных сред и инструментальных средств разработки, тестирования и обеспечения контроля функционирования.

Результаты параметрического анализа реализаций ПО СУ LoRaWAN аналогов трансформированы в 17 показателей функциональности, которые использованы при реализации структуры ПО сетевого сервера. Разработана схема взаимодействия, как основа для проектирования программных компонентов сетевого сервера LoRaWAN.

Выводы

В статье проведен:

- структурный и функциональный анализ подходов к построению элементов АПК на базе LoRaWAN с учетом специфики и логики функционирования АСУНО и СМИС;
- расчеты пропускной способности и емкости сети для одного шлюза в зависимости от режима работы АПК.

Для реализации ключевого элемента сети LoRaWAN – сервера управления выполнен параметрический анализ существующих реализаций, результаты которого позволили получить 17 показателей, определяющих функционал сетевого сервера.

В процессе проектирования собственной реализации программного обеспечения сетевого сервера LoRaWAN определена его структура и механизмы взаимодействия элементов.

Литература

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования (с Изменением N 1). М.: 2005. 29 с.
2. Аристова Н.И. Автоматизированные системы управления освещением // Автоматизация в промышленности. №9. 2011. С. 34-42.
3. Ли. П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М.А. Райтмана. М.: ДМК Пресс, 2019. 454 с. С. 251.
4. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е издание: Издательский Дом ПИТЕР 2015. 960 с.
5. Верхулевский К. Технология LoRa в вопросах и ответах // Технологии и стандарты. Беспроводные технологии №1 (16). С. 18-21.
6. LoRaWAN® Specification v1.1 – URL: <https://loralliance.org/resource-hub/lorawanr-specification-v11> (дата обращения 15.05.2020).
7. LoRaWAN. Server – URL: <http://www.lo-ra.net> (дата обращения 20.05.2020).
8. IOT Vega Server – URL: <https://iotvega.com/soft/server> (дата обращения 22.05.2020).
9. ChirpStack с открытым исходным кодом LoRaWAN® стек сетевого сервера. – URL: <https://www.chirpstack.io> (дата обращения 03.06.2020).

SPECIFICS OF IMPLEMENTATION OF CONTROL SYSTEMS BASED ON LORAWAN TECHNOLOGY

Vitaly G. Dovbnya, The Southwest State University, Kursk, Russia, vit_georg@mail.ru

Sergey N. Frolov, The Southwest State University, Kursk, Russia, snfrolov@bk.ru

Konstantin P. Sulima, Kursk State University, Kursk, Russia, konstanin.sulima@sulimak.com

Alexey N. Schitov, The Southwest State University, Kursk, Russia, a.n.schitov@mail.ru

Abstract

In the context of the rapid growth of various areas of the Internet of things, there is currently no unified approach to building networks based on low-power Wide-area Network (LPWAN) wireless networks, taking into account the general requirements for them as automated control systems (ACS). There are the following areas of use of the Internet of things: industry and production; transport and transportation; control of the technical condition of building structures, air quality, background noise and energy consumption; waste management; smart Parking and providing data on traffic jams; smart street lighting and use in everyday life. Networks based on LoRaWAN technology provide low-cost energy-efficient wireless communications for modern ACS in a variety of industries. It is cost-effective for designing hardware and software for telemetry and controlling, such as a system of control and monitoring engineering systems of buildings and facilities (SMES) and automated outdoor lighting control systems. The article presents a structural and functional analysis of approaches to the construction of hardware and software complex elements based on LoRaWAN, taking into account the specifics and logic of the SMES and ASUS. It also provides calculations of network bandwidth and capacity for a single LoRaWAN gateway in a different mode of operation of ACS. A parametric analysis of existing implementations was carried out to design the management server (SU), which is the main element of the LoRaWAN network. The results allowed to obtain seventeen indicators that determine the functionality of a network server (NS). Network server software development. Major structures and the mechanisms of interaction of its elements are determined during the process of designing the original implementation of NS software.

Keywords: wireless network, a computerized system for managing technological processes, hardware and software for telemetry and controlling, SMES, lighting control, LoRaWAN, network server.

References

1. Safety in emergencies. A structured system for monitoring and managing engineering systems of buildings and structures. General requirements (with Amendment No. 1). Moscow, 2005. 29 p.
2. Aristova N.I. (2011). Automated lighting control systems. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*. No. 9. P. 34-42.
3. Li. P. (2019). The architecture of the Internet of things / per. from English. M.A. Reitman. Moscow: DMK Press. 454 p. P. 251.
4. Tanenbaum E., Weatherall D. (2015). Computer networks. 5th edition. Publishing House PETER. 960 p.
5. Verhulevsky K. LoRa technology in questions and answers. Technologies and standards. *Wireless technologies I* (16) P. 18-21.
6. LoRaWAN® Specification v1.1 URL: <https://loro-alliance.org/resource-hub/lorawanr-specification-v11> (date of access 15.05.2020).
7. LoRaWAN. Server. URL: <http://www.lo-ra.net> (date of access 20.05.2020).
8. IOT Vega Server URL: <https://iotvega.com/soft/server> (date of access 22.05.2020).
9. ChirpStack open source LoRaWAN® network server stack. URL: <https://www.chirpstack.io> (date of access 03.06.2020).

Information about authors:

Vitaly G. Dovbnya, The Southwest State University, associate Professor of the Department of Space instrumentation and communication systems, doctor of technical Sciences, Kursk, Russia

Sergey N. Frolov, The Southwest State University, leading researcher Of the center for advanced research and development, candidate of technical Sciences, Kursk, Russia

Konstantin P. Sulima, Kursk State University, postgraduate student, Kursk, Russia

Alexey N. Schitov, The Southwest State University, engineer Of the center for advanced research and development, Kursk, Russia