

ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ГОРОДА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ IoTaaS

В.А. Десницкий, кандидат технических наук.

**Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук;**

**Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;**

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики**

Предложен подход к проектированию программного обеспечения систем Цифрового города на основе концепции IoTaaS. Подход базируется на предложенной модели знаний распределенных систем проектирования и тестирования устройств Цифрового города, сервис-ориентированной архитектуре и программных прототипах средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города. Подход позволит повысить показатели автоматизации процесса разработки таких систем, будет способствовать сокращению времени процесса разработки и снижению операционных расходов разработчиков таких систем на приобретение компонентов аппаратного обеспечения. К особенностям подхода можно отнести использование правил взаимосвязи аппаратных элементов и микроконтроллеров с элементами и способами программного моделирования аппаратной и программной частей устройств, а также конкретными сервисами Цифрового города с применением средств виртуализации.

Ключевые слова: системы Интернета вещей, проектирование, программное обеспечение, IoTaaS

AN IoTaaS-BASED APPROACH TO DESIGN DIGITAL CITY SOFTWARE

V.A. Desnitsky.

Saint-Petersburg institute of informatics and automation Russian academy of sciences;

Saint-Petersburg state university of telecommunications. prof. M.A. Bonch-Bruevich;

Saint-Petersburg national research university information technologies, mechanics and optics

An approach to design software for digital city systems based on the IoTaaS concept is proposed in the paper. The approach is based on the proposed model of knowledge of distributed systems for designing and testing Digital City devices, service-oriented architecture and software prototypes for designing and testing Digital City devices. The approach will improve automation of the development of such systems, reduce time of the development process and reduce operating costs of such systems developers to purchase hardware. The peculiarities of the approach comprise the use of interconnecting rules of hardware elements and microcontrollers with elements and methods of software modeling of hardware and software parts of devices as well as specific services of the Digital City with the use of virtualization means.

Keywords: Internet of Things systems, design, software, IoTaaS

Системы интернета получают все большее распространение в различных областях приложения, в промышленности, электроэнергетике, в системах имплантируемых медицинских устройств контроля жизненно важных характеристик организма человека, в транспортных системах, в мобильных системах оперативного управления в чрезвычайных

ситуациях и др. Системы Интернета вещей традиционно включают в свой состав вычислительные устройства общего назначения, такие как персональные компьютеры, серверные станции, связующее коммуникационное сетевое оборудование, узкоспециализированные встраиваемые системы и сенсоры. Примерами таких систем являются мобильные электронные измерительные приборы, сканеры штрих-кодов, устройства распознавания аудиоинформации, устройства ввода и защищенного хранения данных, ГЛОНАСС/GPS-ресиверы, цифровые ресиверы потокового видео, устанавливаемые в помещениях электронные датчики движения, влажности, давления и др. К особенностям таких устройств можно отнести наличие значительных ограничений на объемы доступных аппаратных ресурсов, а также вытекающая из этого их более низкая производительность по сравнению с другими видами программно-технических систем, что, в свою очередь, обуславливает повышенные требования к надежности и отказоустойчивости таких устройств.

Особенностью систем Интернета вещей является также то, что помимо информационных атак в чистом виде, особое значение получают кибер-физические атаки, которые реализует нарушитель путем комбинирования физических воздействий на объекты системы со злонамеренными воздействиями на программно-аппаратное обеспечение системы и механизмы защиты. В подобных системах особое значение приобретает задача непрерывного во времени мониторинга устройств таких систем, который включает функции проверки корректности критически важных структур данных устройства, целостности его программно-аппаратной платформы, бинарного кода, используемых в работе библиотек, выявления атакующих воздействий на основе паттернов цепочек событий и инцидентов безопасности, фиксируемых в процессе мониторинга.

Управление в системах Интернета вещей включает как программно-информационные, так и физические аспекты взаимодействия устройств и пользователей, что наряду с критически важным характером таких систем и возможностью удаленного доступа к ним через сеть Интернет обуславливает важность решения вопросов корректности работы и защищенности входящих в состав системы устройств, пользовательских данных и организационно-технической инфраструктуры таких систем.

Проблема проектирования программного обеспечения и целевых процессов комплексных крупномасштабных систем управления и автоматизации киберфизических устройств – система Интернета вещей – обуславливается сложностью построения и развертывания полнофункциональной инфраструктуры целевой системы с множеством взаимосвязанных встроенных устройств, физических сенсоров, актуаторов, устройств ввода/вывода данных, учитывающей совокупность требуемых программно-аппаратных связей между отдельными ее элементами [1–3].

Предлагаемый подход нацелен на исследование и разработку программно-технических решений по проектированию и верификации систем Интернета вещей в части, во-первых, программной виртуализации устройств таких систем и, во-вторых, построения программных интерфейсов и прототипов по созданию, настройке, управлению и тестированию виртуализированной инфраструктуры в виде набора web-сервисов для устройств Цифрового города с использованием разнообразных программно-аппаратных платформ [4].

Предоставление таких сервисов разработчикам киберфизических систем (реализация концепции IoTaaS – Internet of Things as a Service – «Интернет вещей как сервис») позволяет повысить показатели автоматизации процесса разработки таких систем и будет способствовать сокращению времени процесса разработки и снижению операционных расходов разработчиков таких систем на приобретение аппаратного обеспечения, вовлекаемого в процесс разработки. Возможность замены компонентов физической инфраструктуры целевой системы на ранних стадиях процесса разработки позволит также сократить время получения тестовых образцов программного обеспечения для дальнейшего

их тестирования и интеграции между собой еще до фактического развертывания всей системы на физическом оборудовании.

В рамках предлагаемого подхода предполагается решение следующих задач:

- формальная постановка задачи исследования;
- анализ существующих работ и технологий в предметной области проектирования и тестирования программно-аппаратного обеспечения устройств Цифрового города;
- разработка модели знаний распределенных систем проектирования и тестирования устройств Цифрового города;
- разработка сервис-ориентированной архитектуры распределенной системы проектирования и тестирования устройств Цифрового города;
- разработка архитектуры и программных интерфейсов прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города;
- разработка и реализация программных прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города;
- разработка и реализация web-сервисов по управлению и виртуализации устройств целевой системы;
- разработка программы и методики испытаний программно-аппаратных прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города;
- проведение испытаний реализованных программных прототипов согласно разработанной программе и методике;
- анализ полученных результатов, в том числе анализ применимости разработанных программных решений и получение их экспериментальных оценок.

В контексте решения поставленных задач виртуализация представляет программно-технические средства для программной эмуляции разнообразия устройств Интернета вещей с подсоединением к ним различных сенсоров, актуаторов, модулей пользовательского ввода/вывода и других без вовлечения физических реализаций микроконтроллеров и электронных компонентов к ним. Такая виртуализация позволяет проводить процессы проектирования, настройки, тестирования, отладки программного обеспечения целевой системы с развертыванием ее компонентов на физической реализации устройств на финальных стадиях процесса разработки [5].

Помимо этого зачастую сложность одновременного и непрерывного в течение всего процесса разработки вовлечения всего многообразия коммуникационно-вычислительных ресурсов проектируемой системы на стадии ее разработки с сотнями и даже тысячами электронных компонентов с необходимостью индивидуального управления и программно-физическими манипуляциями каждым из них обуславливает значительный выигрыш в значениях показателей сложности процесса разработки и уровня автоматизации в результате применения подобной виртуализации.

Используемая в рамках подхода концепция IoTaaS определяет как физическое, так и логическое разделение уровня управления устройствами и компонентами Интернета вещей с возможностью делегирования базовых операций по работе с ними специализированным компонентам-адаптерам [6–8]. Поэтому IoTaaS, предоставляя разработчикам обобщенные программные сервисы по управлению инфраструктурой целевой системы, способен агрегировать сложность и гетерогенность программно-аппаратных интерфейсов компонентов Интернета вещей и способов взаимодействия [9]. Таким образом, использование концепции IoTaaS и принципов виртуализации применительно к устройствам системы Цифрового города позволяет улучшить значения показателей автоматизации процессов ее разработки и будет способствовать сокращению сложности процесса разработки, временных издержек и финансовых затрат разработчиков таких систем.

Произведен анализ публично доступных программно-технических решений по виртуализации устройств Интернета вещей. Результаты сравнения основных средств эмуляции для устройств платформы Arduino с указанием их базовых характеристик [10] приведены в табл. 1.

Так, к основным недостаткам существующих средств виртуализации, таких как SimDuino, EasyEDA, Proteus и др. [10], можно отнести их ориентированность в основном на моделирование отдельных устройств Интернета вещей без соединения их в единую систему с использованием одно- и многоадресных проводных и беспроводных коммуникационных протоколов с моделированием лишь ограниченного набора базовых сенсоров и актуаторов, а также отсутствие программных сервисов и средств гипервизора, позволяющих унифицированно создавать неограниченное число экземпляров устройств, перепрошивать их, настраивать и запускать процессы выполнения в зависимости от действий и предпочтений разработчиков [11–13].

Таблица 1. Средства эмуляции устройств платформы Arduino

Программное средство / сервис	Открытая платформа (OpenSource)	Поддержка семейств операционных систем	Условия использования
PaulWare's Arduino Simulator	+	Windows	Бесплатное использование
Simduino	–	iOS	Платное использование
ArduinoSim	–	Windows & Linux	Бесплатное использование
Arduino Simulator for PC	–	Windows & Linux	Платное использование
Yenka for Arduino	–	Windows & Linux	Наличие бесплатной лицензии для домашнего использования
LTSpice Arduino Simulator	–	Windows & iOS	Бесплатное использование
EasyEDA	–	Windows & Linux & iOS, Android и др.	Ограниченное бесплатное использование
Proteus	–	Windows & Linux	Платное использование
PSpice	–	Windows & Linux	Ограниченное бесплатное использование

Разработанная модель знаний проектирования и тестирования устройств систем относится к классу аналитических моделей и задается на основе правил следующего вида:

$$H \rightarrow (R, A),$$

где H задает некоторый элемент физического уровня системы, такой как микроконтроллер, плата расширения, сенсор, актуатор, аппаратный элемент ввода/вывода и пр., которому ставится в соответствие пара, где R – определяет основные характеристики данного элемента, A – действия, которые может выполнять разработчик.

Фрагмент модели знаний на примере физического элемента системы Цифрового города – одноплатного компьютера Arduino Mega 2560, используемого при разработке программного прототипа средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города, представлен в табл. 2.

Используемые правила парного связывания элементов физического уровня, транслируемые на уровень представления, имеют вид $(pE1, pE2) \rightarrow RE$, где $pE1, pE2$ – это программно-аппаратные элементы устройств, связываемые согласно отношению RE , задающему разновидность конкретного протокола их взаимодействия и характеристики физического и логического соединений.

Верхнеуровневое представление построенной сервис-ориентированной архитектуры для распределенной системы проектирования и тестирования приведено на рис. 1, где при помощи правил связывания, а также программной виртуализации устройств и их окружения предоставляются целевые сервисы в виде набора библиотечных функций, которые могут использоваться разработчиком в процессе написания и тестирования программного функционала системы.

Таблица 2. **Фрагмент модели знаний для системы Цифрового города**

Физический уровень	Уровень представления	Действия на уровне представления
Arduino Mega 2560	– основные аппаратные характеристики; – имеющиеся коммуникационные интерфейсы, в том числе аналоговые/цифровые пины (ШИМ), UART (Rx, Tx), SPI, I2C, XBee и др.; – системные команды (RESET, system LED, джаммеры и др.); – устройства ввода/вывода пользовательских данных (touchpad-манипуляторы, LED-экраны, RFID, QR-сканеры и др.)	добавление/изменение типа/удаление/включение/выключение экземпляра, загрузка скетча и др.
		получение данных об основных характеристиках
		подключение внешнего элемента к коммуникационному интерфейсу
		моделирование воздействие на подключенный аналоговый/цифровой сенсор с заданными параметрами

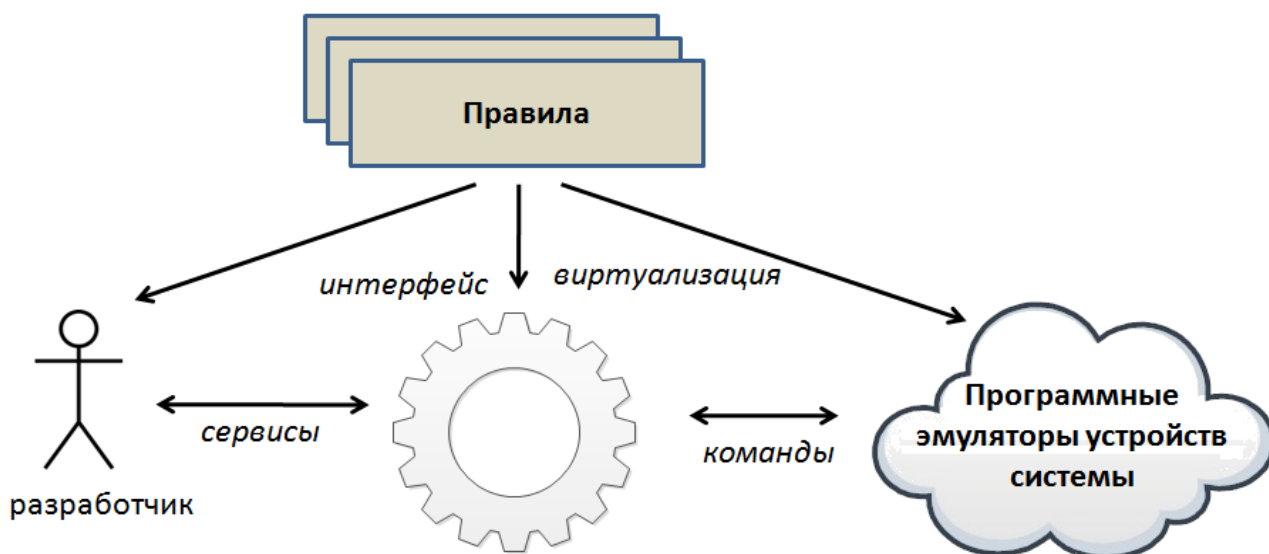


Рис. 1. **Сервис-ориентированная архитектура распределенной системы проектирования и тестирования устройств Цифрового города**

Фрагмент программного кода разрабатываемых прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города в рамках платформы Java 2 с использованием среды IntelliJ Idea приведен на рис. 2.

В качестве используемых методов тестирования реализуются:

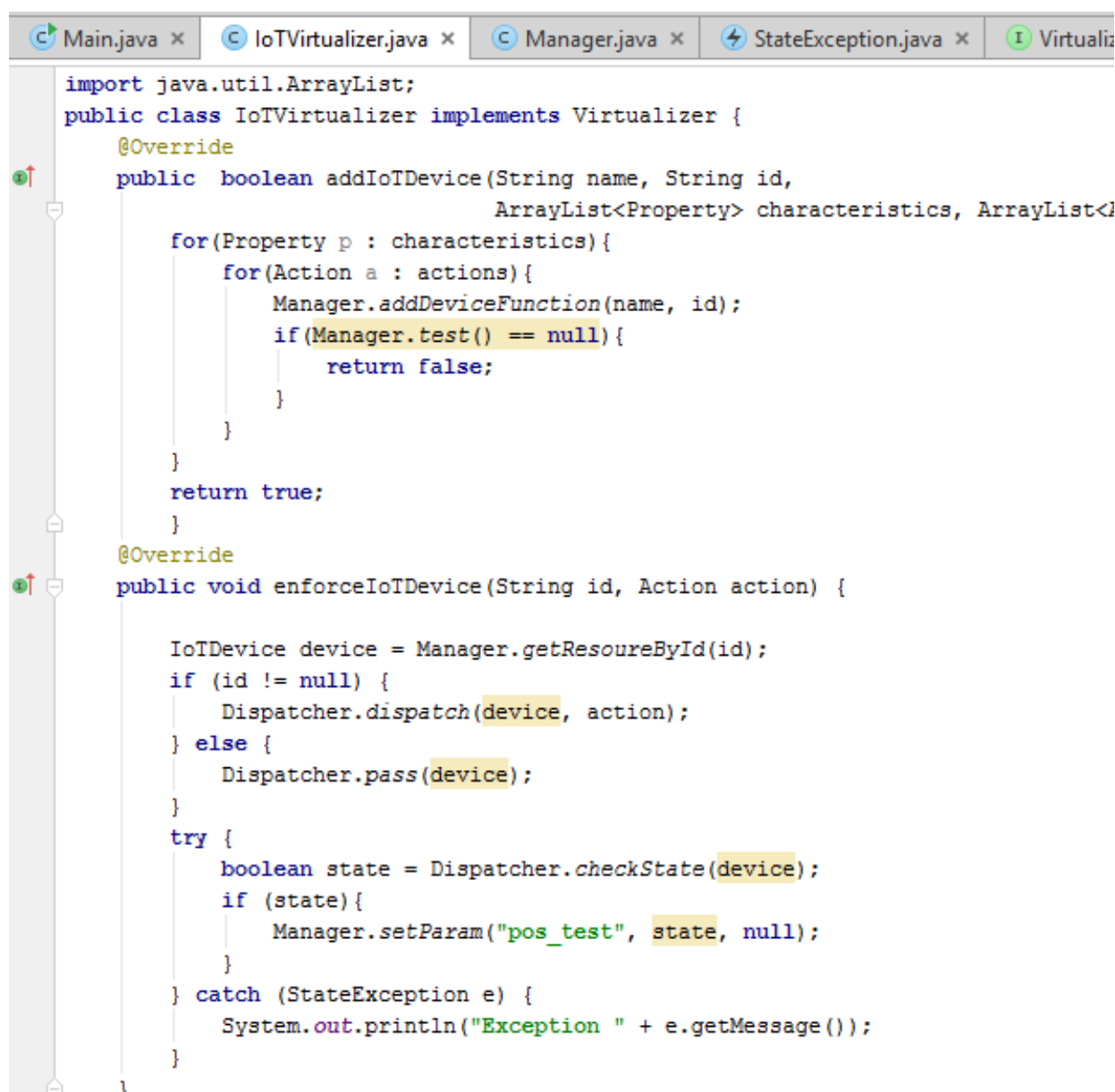
- метод Unit-тестирования, обеспечивающий локальные проверки корректности программного кода на протяжении всех основных циклов его разработки;
- fuzzy-тестирование на основе проверки граничных и псевдослучайных значений;

– элементы нагрузочного тестирования путем параллельного запуска серий высоконагрузочных тестовых сценариев по созданию и модификации на уровне представления экземпляров устройств Интернета вещей с возможностью задания широкого диапазона входных характеристик.

Важнейшим элементом исследования является проверка корректности полученных результатов, в том числе анализ применимости разработанных программных решений и получение их теоретических и экспериментальных оценок.

Проводится сравнительный анализ работ в предметной области, являющийся основой для анализа полученных результатов. При проведении исследования в качестве актуальных источников литературы используется ряд работ в области проектирования и тестирования программного обеспечения систем интернета [1–13] и др.

Планируется также проведение испытаний разработанных программных прототипов согласно построенным программе и методике испытаний с заданием целей по проверке работоспособности, корректности прохождения заданных тестовых сценариев и вычислению показателей оперативности и ресурсопотребления [14–16].



```
import java.util.ArrayList;
public class IoTVirtualizer implements Virtualizer {
    @Override
    public boolean addIoTDevice(String name, String id,
                               ArrayList<Property> characteristics, ArrayList<Action> actions) {
        for(Property p : characteristics){
            for(Action a : actions){
                Manager.addDeviceFunction(name, id);
                if(Manager.test() == null){
                    return false;
                }
            }
        }
        return true;
    }
    @Override
    public void enforceIoTDevice(String id, Action action) {
        IoTDevice device = Manager.getResoureById(id);
        if (id != null) {
            Dispatcher.dispatch(device, action);
        } else {
            Dispatcher.pass(device);
        }
        try {
            boolean state = Dispatcher.checkState(device);
            if (state){
                Manager.setParam("pos_test", state, null);
            }
        } catch (StateException e) {
            System.out.println("Exception " + e.getMessage());
        }
    }
}
```

Рис. 2. Фрагмент программного кода прототипа средств проектирования и тестирования

Методика проводится на базе разработанного программно-аппаратного прототипа системы Цифрового города – фрагмента системы мониторинга самоорганизующейся коммуникационной сенсорной сети, основывающейся на беспроводных устройствах самоорганизующейся XBee-сети, включающей в свой состав устройства Arduino Mega 2506, Arduino Wireless SD Shield, модули Digi XBee v.2 с ролями координатора, роутеров и конечных устройств и др. (рис. 3). Работая без прямой связи с внешним микроконтроллером, таким как Arduino Mega 2560, модуль XBee тем не менее обладает возможностями по подключению сенсоров, элементов ввода/вывода пользовательских данных и актуаторов.

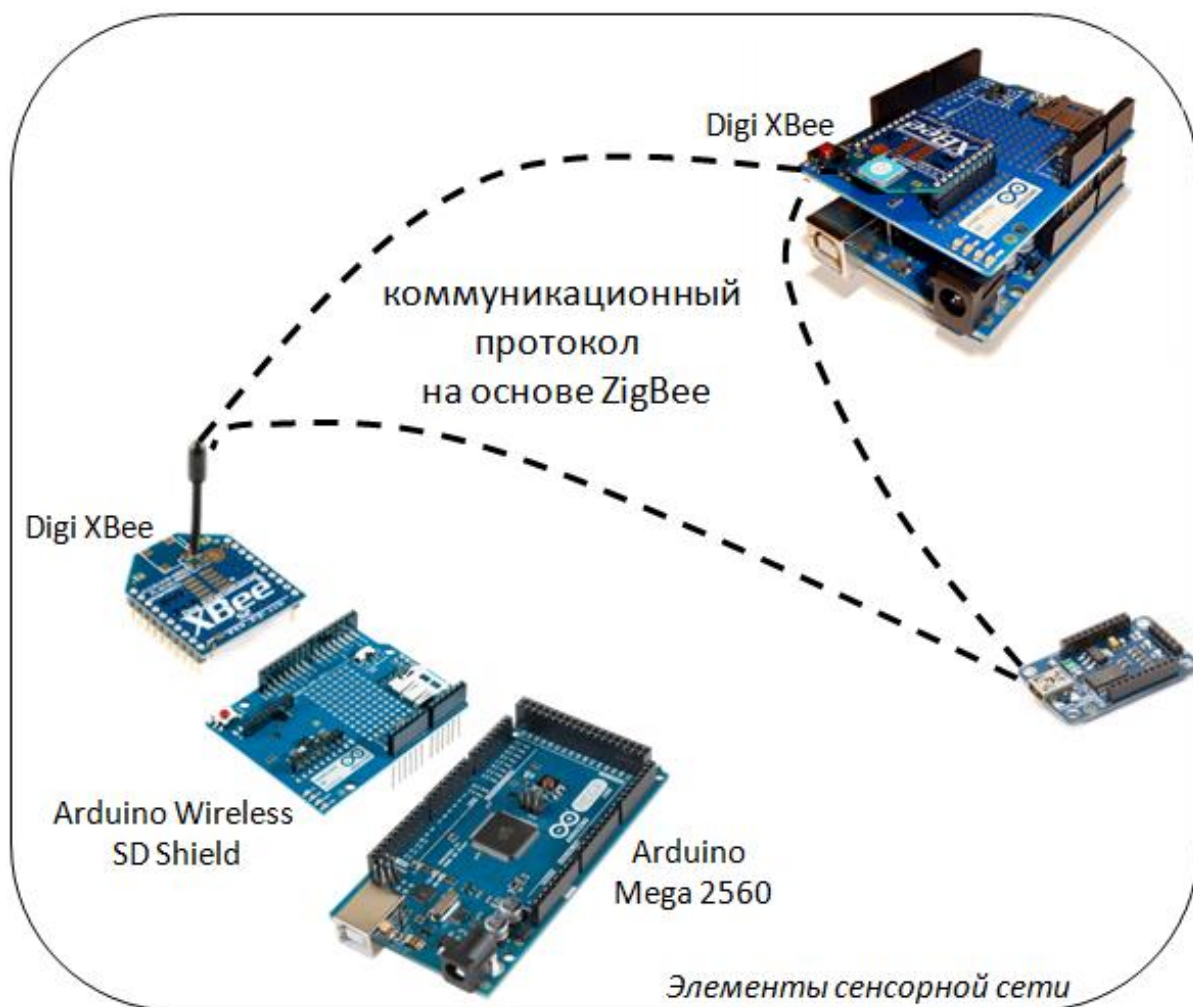


Рис. 3. Программно-аппаратный прототип для проведения методики испытаний средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города

В результате узел сети оказывается способным к работе в режиме питания от батареи, не требующем затрат на работу дополнительного микроконтроллера, и ключевые конфигурационные настройки XBee хранятся в его энергонезависимой памяти. XBee настраивается на автоматическое измерение аналоговых сигналов или снятие уровня сигнала на своих цифровых входах с последующей их периодической отправкой на некоторый узел сети с использованием протокола ZigBee. Интервал отсылки данных настраивается в диапазоне от десятых долей секунды до нескольких дней. Помимо этого отсылка бизнес-данных с модуля XBee может инициироваться изменением уровня сигнала на цифровых входных пинах.

Планируется также проведение анализа практической применимости разрабатываемых прототипов с учетом возможных областей их приложения – в транспортных, логистических системах, в электроэнергетике, в системах мониторинга физических характеристик окружающей среды и прочих с учетом доступных программно-аппаратных платформ, таких как Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo 2 и других и различных серверных решений [17].

Корректность построенных программных прототипов проверяется также на уровне спецификаций целевой системы с использованием инструментария формальной верификации на базе верификатора AVISPA и основанного на логике предикатов первого порядка средства Isabelle.

Корректность построенных прототипов, в том числе байт-кода платформы Java 2 и скетчей для одноплатных компьютеров Arduino, обуславливается использованием принципов аналитического и имитационного моделирования, а также средств системного анализа для формирования формальной постановки задачи, разработки модели знаний и сервис-ориентированной архитектуры, а также следованием принципам объектно-ориентированного проектирования [18–21].

К отличительным особенностям предложенного подхода можно отнести следующие факторы:

- наличие правил взаимосвязи используемых в процессе проектирования аппаратных элементов и микроконтроллеров с элементами и способами программного моделирования аппаратной и программной частей устройств и конкретными сервисами Цифрового города на базе используемых средств виртуализации;

- возможность использования унифицированного интерфейса и группового управления экземплярами устройств Интернета вещей на уровне их представления посредством программного гипервизора.

Отличительными особенностями разрабатываемых программных прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города являются:

- программно-аппаратная реализация с использованием платформы Java 2 для виртуализации и эмуляции целевых устройств, а также использованием платформы Arduino в качестве основы для построения компонентов проектирования и тестирования;

- проведение испытаний прототипов средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города на основе программируемых микроконтроллеров Arduino, работающих в связке с проводными (RS232) и беспроводными (Wi-Fi и XBee) аппаратными интерфейсами путем моделирования тестовых сценариев работы системы, нагрузочного и fuzzy-тестирования.

Практическим результатом работы будут программные прототипы средств проектирования и тестирования устройств Цифрового города с использованием программно-аппаратной платформы Arduino и web-сервисов на базе протокола SOAP [22–23]. При этом полученные теоретические результаты и разработанные программно-технические решения могут использоваться для:

- повышения уровня автоматизации процессов разработки сложных киберфизических систем управления объектами физических инфраструктур производственных предприятий, транспортных путей, офисов, домовладений за счет применения средств виртуализации и унифицированного управления целевыми устройствами системы;

- снижения расходов разработчиков систем Интернета вещей на приобретение физического оборудования;

- сокращения времени и снижения стоимости построения программного обеспечения для них путем использования готовых web-сервисов, предоставляющих удаленно функционал взаимосвязанных устройств платформ Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo 2 и др.;

- выработки рекомендаций по проектированию устройств конкретной информационно-телекоммуникационной системы Интернета вещей, их настройке

и управлению с использованием единого программного интерфейса и единой ресурсной базы;

– повышения уровня автоматизации процессов тестирования киберфизических систем на основе единых тестовых шаблонов и сценариев.

Ожидается, что результаты работы будут востребованы как государственными и муниципальными учреждениями, так и коммерческими компаниями для решения задач, связанных с разработкой, тестированием и развертыванием различных специализированных информационно-телекоммуникационных систем Цифрового города. Разрабатываемые модель, архитектуры, программные интерфейсы и прототипы могут быть применены при разработке средств для организации новых и совершенствования существующих систем транспортных, производственных, складских, медицинских и других информационно-телекоммуникационных систем со встроенными и мобильными устройствами и улучшения их целевых показателей.

Отметим также, что подход может применяться для:

– создания и внедрения в существующие технологические процессы перспективных средств разработки программного обеспечения встроенных устройств, мобильных систем, сенсорных сетей в различных областях приложения; в частности, систем управления водоснабжением, систем имплантируемых медицинских устройств и сенсоров для контроля жизненно важных характеристик организма человека, систем автоматизированного контроля химического состава атмосферного воздуха и почвенного покрова, систем управления на транспортных предприятиях и др.;

– совершенствования существующих мобильных средств и сервисов, выработки рекомендаций по осуществлению доступа потребителя к электронным государственным и муниципальным услугам посредством сети Интернет с использованием устройств узкоспециализированного назначения и современных коммуникационных технологий;

– моделирования и исследования новых прикладных информационно-телекоммуникационных систем;

– разработки технических заданий для создания и модернизации существующих информационно-телекоммуникационных систем и сенсорных сетей;

– совершенствования средств трассировки и отладки программных компонентов с учетом групповой семантики взаимосвязанных наборов устройств систем Интернета вещей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 15-07-07451, 16-29-09482 оф_и_м) и бюджетных тем № 0073-2015-0004.

Литература

1. Dhanalaxmi B., Naidu G.A. A survey on design and analysis of robust IoT architecture. 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). Bengaluru, India, 2017. pp. 375–378.'

2. Gusev M. A dew computing solution for IoT streaming devices // 2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). Opatija, Croatia, 2017. pp. 387–392.

3. Giménez P., Molina B., Palau C.E., Esteve M. SWE Simulation and Testing for the IoT // 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Manchester, 2013. pp. 356–361.

4. De Sarkar N.R., Kundu A., Bera A., De M. Design of IOT based Architecture Using Real Time Data. In: Information Systems Design and Intelligent Applications // Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 434. Springer, New Delhi, 2016.

5. Joglekar P., Kulkarni V. Data oriented view of a smart city: A big data approach // 2017 International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT (ICEI). Pune, India, 2017. pp. 51–55.

6. Gaowa N., Liu Y., Li M. Design and Implementation of a Remote Equipment Monitoring and Management System Based on IOT // The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
7. Islam M.M., Razzaque M.A., Hassan M.M., Ismail W.N., Song B. Mobile Cloud-Based Big Healthcare Data Processing in Smart Cities // IEEE Access, 2017. vol. 5. pp. 11 887–11 899.
8. Abed A.A. Internet of Things (IoT): Architecture and design // 2016 Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA), Baghdad, 2016. pp. 1–3.
9. IoT design space challenges: Circuits and systems / D. Blaauw [et al.] // 2014 Symposium on VLSI Technology (VLSI-Technology): Digest of Technical Papers, Honolulu, HI, 2014. pp. 1–2.
10. A Selection of the Best Arduino Simulators. Tutorial45 – Arduino Projects. URL: <http://tutorial45.com/arduino-simulator-emulator> (дата обращения: 17.10.2017).
11. Javed B., Iqbal M. W., Abbas H. Internet of things (IoT) design considerations for developers and manufacturers // 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). Paris, France, 2017. pp. 834–839.
12. Dameri R.P. Defining an evaluation framework for digital cities implementation // International Conference on Information Society (i-Society 2012), London, 2012. pp. 466–470.
13. Zhang Z., Xiong X., Chen X., Huang S. Building of information interactive platform in digital ecology city // 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Yichang, 2012. pp. 3 128–3 131.
14. Moyers B.R., Dunning J.P., Marchany R.C., Tront J.G. Effects of Wi-Fi and Bluetooth Battery Exhaustion Attacks on Mobile Devices // Proc. of 43rd Hawaii International Conference on System Sciences. 2010. P. 1–9.
15. Buennemeyer T.K., Gora M., Marchany R.C., Tront J.G. Battery Exhaustion Attack Detection with Small Handheld Mobile Computers // Proc. of IEEE International Conference on Portable Information Devices. 2007. P. 1–5.
16. Boubiche D.E., Bilami A. A Defense Strategy against Energy Exhausting Attacks in Wireless Sensor Networks // Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence. 2013. Vol. 5. №. 1.
17. Racic R., Chen D.M., Chen H. Exploiting MMS Vulnerabilities to Stealthily Exhaust Mobile Phone's Battery // Proc. of 2006 Securecomm and Workshops. 2006. P. 1–10.
18. Abraham D.G., Dolan G.M., Double G.P., Stevens J.V. Transaction security system // IBM Systems Journal. 1991. Vol. 30 (2). P. 206–228.
19. Karpagam R., Archana P. Prevention of Selective Jamming Attacks Using Swarm intelligence Packet-Hiding Methods // International Journal Of Engineering and Computer Science. 2013. Vol. 2. P. 2 774–2 778.
20. Desnitsky V., Kotenko I., Chechulin A. An abstract model for embedded systems and intruders: Proceedings of 19th International Euromicro Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP 2011). Ayia Napa, 2011. pp. 25–26.
21. Desnitsky V., Chechulin A., Kotenko I., Levshun D., Kolomeec M. Application of a technique for secure embedded device design based on combining security components for creation of a perimeter protection system: Proceedings of 24th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP 2016). 2016. pp. 609–616.
22. Десницкий В.А., Котенко И.В., Чечулин А.А. Проектирование безопасных встроенных систем в проекте Европейского Сообщества SecFutur // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2012): сб. V Рос. мультikonф. по проблемам управления. 2012. С. 699–708.
23. Ruiz J.F., Harjani R., Maña A., Desnitsky V., Kotenko I., Chechulin A. A methodology for the analysis and modeling of security threats and attacks for systems of embedded components //

References

1. Dhanalaxmi B., Naidu G.A. A survey on design and analysis of robust IoT architecture. 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). Bengaluru, India, 2017. pp. 375–378.
2. Gusev M. A dew computing solution for IoT streaming devices // 2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). Opatija, Croatia, 2017. pp. 387–392.
3. Giménez P., Molina B., Palau C.E., Esteve M. SWE Simulation and Testing for the IoT // 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Manchester, 2013. pp. 356–361.
4. De Sarkar N.R., Kundu A., Bera A., De M. Design of IOT based Architecture Using Real Time Data. In: Information Systems Design and Intelligent Applications // Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 434. Springer, New Delhi, 2016.
5. Joglekar P., Kulkarni V. Data oriented view of a smart city: A big data approach // 2017 International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT (ICEI). Pune, India, 2017. pp. 51–55.
6. Gaowa N., Liu Y., Li M. Design and Implementation of a Remote Equipment Monitoring and Management System Based on IOT // The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
7. Islam M.M., Razzaque M.A., Hassan M.M., Ismail W.N., Song B. Mobile Cloud-Based Big Healthcare Data Processing in Smart Cities // IEEE Access, 2017. vol. 5. pp. 11 887–11 899.
8. Abed A.A. Internet of Things (IoT): Architecture and design // 2016 Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA), Baghdad, 2016. pp. 1–3.
9. IoT design space challenges: Circuits and systems / D. Blaauw [et al.] // 2014 Symposium on VLSI Technology (VLSI-Technology): Digest of Technical Papers, Honolulu, HI, 2014. pp. 1–2.
10. A Selection of the Best Arduino Simulators. Tutorial45 – Arduino Projects // web site: <http://tutorial45.com/arduino-simulator-emulator>.
11. Javed B., Iqbal M. W., Abbas H. Internet of things (IoT) design considerations for developers and manufacturers // 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). Paris, France, 2017. pp. 834–839.
12. Dameri R.P. Defining an evaluation framework for digital cities implementation // International Conference on Information Society (i-Society 2012), London, 2012. pp. 466–470.
13. Zhang Z., Xiong X., Chen X., Huang S. Building of information interactive platform in digital ecology city // 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Yichang, 2012. pp. 3 128–3 131.
14. Moyers B.R., Dunning J.P., Marchany R.C., Tront J.G. Effects of Wi-Fi and Bluetooth Battery Exhaustion Attacks on Mobile Devices // Proc. of 43rd Hawaii International Conference on System Sciences. 2010. P. 1–9.
15. Buennemeyer T.K., Gora M., Marchany R.C., Tront J.G. Battery Exhaustion Attack Detection with Small Handheld Mobile Computers // Proc. of IEEE International Conference on Portable Information Devices. 2007. P. 1–5.
16. Boubiche D.E., Bilami A. A Defense Strategy against Energy Exhausting Attacks in Wireless Sensor Networks // Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence. 2013. Vol. 5. №. 1.
17. Racic R., Chen D.M., Chen H. Exploiting MMS Vulnerabilities to Stealthily Exhaust Mobile Phone's Battery // Proc. of 2006 Securecomm and Workshops. 2006. P. 1–10.

18. Abraham D.G., Dolan G.M., Double G.P., Stevens J.V. Transaction security system // IBM Systems Journal. 1991. Vol. 30 (2). P. 206–228.
19. Karpagam R., Archana P. Prevention of Selective Jamming Attacks Using Swarm intelligence Packet-Hiding Methods // International Journal of Engineering and Computer Science. 2013. Vol. 2. P. 2 774–2 778.
20. Desnitsky V., Kotenko I., Chechulin A. An abstract model for embedded systems and intruders: Proceedings of 19th International Euromicro Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP 2011). Ayia Napa, 2011. pp. 25–26.
21. Desnitsky V., Chechulin A., Kotenko I., Levshun D., Kolomeec M. Application of a technique for secure embedded device design based on combining security components for creation of a perimeter protection system: Proceedings of 24th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP 2016). 2016. pp. 609–616.
22. Desnickij V.A., Kotenko I.V., CHEchulin A.A. Proektirovanie bezopasnyh vstroennyh sistem v proekte Evropejskogo Soobshchestva SecFutur // Informacionnye tekhnologii v upravlenii (ITU-2012): sb. V Ros. mul'tikonf. po problemam upravleniya. 2012. S. 699–708.
23. Ruiz J.F., Harjani R., Maña A., Desnitsky V., Kotenko I., Chechulin A. A methodology for the analysis and modeling of security threats and attacks for systems of embedded components // Proceedings of 20-th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP 2012). Garching, 2012. pp. 261–268.