

# МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

М. В. Борисова<sup>1</sup>, Р. В. Киричек<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

## Аннотация

**Предмет исследования.** Статья посвящена обзору подходов к тестированию технологий передачи данных для Интернета Вещей. **Метод.** В качестве метода исследования приводится обзор существующих технологий, используемых Интернетом Вещей для передачи данных, и их основных показатели, влияющие на работоспособность и функционирование сети. В работе предложен ряд тестов для оценки функционирования технологий передачи данных, используемых Интернет вещами, посредством снятия некоторых параметров сети, таких как коэффициент битовых ошибок, коэффициент пакетных ошибок, скорость соединения, показатель уровня сигнала и др. **Основные результаты.** В ходе предложенного в рамках статьи тестирования, возможно оценить уровень функционирования сети, работающей по некоторым технологиям передачи данных Интернета вещей, и сделать вывод о качестве предоставляемого обслуживания. **Практическая значимость.** Предложенные тесты могут быть использованы для оценки функционирования сети и обеспечения необходимого качества сетевой инфраструктуры для Интернета Вещей, что в результате может позволить не только улучшить качество предоставляемых услуг, но и произвести положительное впечатление о концепции Интернета Вещей на конечного пользователя.

## Ключевые слова

Интернет Вещь, IoT, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Z Wave, Bluetooth, CoAP, 6LoWPAN, PER, BER.

## Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 20.04.18, принята к печати 01.07.18.

**Ссылка для цитирования:** Борисова М. В., Киричек Р. В. Методы тестирования технологий передачи данных устройств Интернета Вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 2. С. 27–34.

# APPROACHES TO THE TESTING OF TECHNOLOGIES FOR THE TRANSMISSION OF DATA OF DEVICES OF INTERNET OF THINGS

M. Borisova<sup>1</sup>, R. Kirichek<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: kirichek@sut.ru

**Abstract—Research subject.** The article is devoted to the review of approaches to testing of data transmission technologies for the Internet of Things. **Method.** As a research method, an overview is given of the current technologies used by the Internet for Things to transfer data, and their key indicators affecting the operability and operation of the network. The paper proposes a series of tests to evaluate the functioning of data transmission technologies used by the Internet, by removing certain network parameters, such as the bit error rate, packet error rate, connection speed, signal strength level, etc. **Core results.** During the testing offered within the framework of the article, it is possible to assess the level of functioning of the network operating on some technologies of Internet data transmission of things, and to conclude on the quality of the provided services. **Practical relevance.** The proposed tests can be used to evaluate the functioning of the network and provide the necessary quality of the network infrastructure for the Internet Things that as a result can not only improve the quality of services provided, but also make a positive impression of the concept of the Internet Things on the end user.

**Keywords—**Internet Thing, IoT, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Z Wave, Bluetooth, CoAP, 6LoWPAN, PER, BER.

## Article info

Article in Russian.

Received 20.04.18, accepted 01.07.18.

**For citation:** Borisova M., Kirichek R.: Approaches to the Testing of Technologies for the Transmission of Data of Devices of INTERNET of Things // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 2. pp. 27–34 (in Russian).

## Введение

Интернет Вещей (*Internet of Things* – IoT) [1, 2] на сегодняшний день – одно из самых перспективных направлений в современных технологиях. Лампочка, которую можно включить с помощью приложения для смартфона, датчик движения или интеллектуальный термостат в офисе, умный тостер или фитнес-трекер – все это устройства IoT, которых с каждым годом становится все больше, этому способствует желание улучшения качества жизни и стремительные темпы автоматизации. Интернет Вещей используют как в личных целях, так и в промышленных масштабах, и не всегда внедрение новых технологий проходит успешно. Даже те, кто приобрел один из бесчисленных интеллектуальных домашних продуктов – будь то лампочка, переключатель или датчик движения, подтвердят, что IoT находится в зачаточном состоянии. Продукты

не всегда легко соединяются друг с другом, и есть серьезные проблемы с безопасностью, которые необходимо решить.

Конечным пользователям все равно, по какой причине возникают проблемы с Интернетом Вещей, они ожидают, что новые технологии будут безупречно работать с самого начала, и конечно разочаровываются, при возникновении каких-либо неполадок. Именно поэтому так важно ориентироваться на тестирование в области Интернета Вещей. Необходима комплексная стратегия подхода к тестированию IoT, чтобы обеспечить необходимую глубину исследований и обеспечить достойное качество предоставляемых конечному пользователю услуг.

Подключение устройств IoT осуществляется по сети, следовательно, ее состояние может существенно повлиять на производительность и качество работы устройств и инфраструктуры Интернета Вещей в целом. Наиболее заметными и критичными нюансами можно назвать перегруженные каналы связи, ненадежное сетевое оборудование и медленное подключение к Интернету, не говоря уже о вопросах информационной и сетевой безопасности. Поэтому IoT-устройства и приложения должны быть протестированы, чтобы гарантировать безопасную и бесперебойную работу, без потери данных.

Опуская вопросы безопасности, удобства использования и технологические требования, отдельно стоит поговорить о качестве функционирования сети Интернета Вещей. В основе всей концепции лежит соединение устройств между собой, поэтому основополагающим фактором для успешной работы Интернета Вещей можно считать достаточный уровень функционирования сети [3, 4]. Именно поэтому важно тестировать различные среды передачи данных, для выявления слабых мест в сети конкретно для Интернета Вещей. Устройства IoT используют множество различных протоколов связи для взаимодействия: Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, CoAP, 6LoWPAN [5]. Ниже будет рассмотрено тестирование уровня сети некоторых из них.

### **Тестирование технологии Ethernet (стандарты 10Base-T, 100Base-T, 1000Base-T, 10GBase-T)**

Тестирование конфигурации сети, работающее на базе технологии Ethernet (стандарты *10Base-T, 100Base-T, 1000Base-T, 10GBase-T*).

Данная проверка включает в себя тестирование сервисов на соответствие параметрам соглашения об уровне предоставления услуги (SLA).

Данная проверка проводится в лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ, в условиях по ГОСТ 22261-94.

Для проведения испытаний необходимо использовать оконечное устройство, являющееся Интернет Вещью и подключенное к сети посредством технологии Ethernet, и устройство тестирования, которое будет получать от него данные и измерять необходимые характеристики. В качестве устройства тестирования может быть использовано специальное оборудование для генерации и исследования трафика, которое перед проведением тестов необходимо установить и настроить в соответствии с его эксплуатационной документацией.

Тестирование проводится следующим образом:

- Установить соединение между Интернет Вещью и устройством тестирования. При помощи устройства тестирования создать нагрузку на оконечное

устройство в 4 этапа: в объёме 25, 50, 75 и 100 % от гарантируемой полосы пропускания.

- При помощи устройства тестирования увеличить нагрузку на оконечное устройство от гарантируемой полосы пропускания до максимальной негарантированной.

- При помощи устройства тестирования увеличить нагрузку на оконечное устройство до превышения максимальной негарантированной полосы пропускания, до ограничения сетью полосы пропускания и наблюдения скачкообразного трафика.

Тестирование считается пройденным успешно, если

- Скорость соединения при нагрузке оконечного устройства до 100 % от гарантируемой полосы пропускания соответствует заявленному уровню предоставления услуги (SLA).

- Скорость соединения при загрузке до значения негарантируемой полосы пропускания и сверх нее соответствует фиксированному значению скорости передачи данных (CIR), в соответствии с заявленным уровнем предоставления услуги (SLA), либо не превышает значение избыточной информационной скорости (EIR).

### **Тестирование стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi)**

Комплексная проверка БЛВС при помощи имитации работы реальных сетей, посредством высокоточного измерительного оборудования.

Данная проверка включает в себя определение показателя уровня сигнала (RSSI), значений рабочей частоты, типа шифрования, значений коэффициента пакетных ошибок (PER).

Данная проверка проводится в лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ, в условиях по ГОСТ 22261-94.

Для проведения испытаний необходимо использовать оконечное Wi-Fi-устройство, являющееся Интернет Вещью, и устройство тестирования, которое будет получать от него данные и измерять необходимые характеристики. В качестве устройства тестирования может быть использовано как специальное оборудование, которое перед проведением тестов необходимо установить и настроить в соответствии с его эксплуатационной документацией, так и просто устройство поддерживающее работу по технологии Wi-Fi с установленным программным обеспечением, позволяющим проводить тесты.

Тестирование проводится следующим образом:

- установить Wi-Fi-соединение между устройством тестирования и Интернет Вещью, оба устройства должны быть в одной и той же зоне покрытия;

- при помощи устройства тестирования определить показатель уровня сигнала (RSSI), измеряемый в dBm, значение рабочей частоты, которое может быть равно 2,4 ГГц или 5 ГГц, и тип шифрования (WEP, WPS, WPA/WPA2);

- передать некоторый поток данных от Интернет Вещей к устройству тестирования;

- на устройстве тестирования проанализировать полученный трафик, определить общее количество полученных пакетов ( $M_{\text{получ.}}$ ) и количество полученных пакетов с ошибкой CRC ( $N_{\text{CRC}}$ );

- проанализировав количество отправленных ( $N_{\text{отпр.}}$ ) и количество полученных ( $N_{\text{получ.}}$ ) пакетов получить число потерянных пакетов ( $N_{\text{потер.}}$ ):

$$N_{\text{отпр.}} - N_{\text{получ.}} = N_{\text{потер.}};$$

- посчитать отношение пакетов с ошибкой *CRC* и потерянных пакетов к общему числу принятых пакетов, получив тем самым значение *PER*:

$$\frac{N_{\text{CRC}} + N_{\text{потер.}}}{N_{\text{получ.}}} = \text{PER}.$$

Тестирование считается пройденным успешно, если:

- показатель уровня сигнала (RSSI) больше  $-80\text{dBm}$  (чем менее отрицательным будет значение, тем лучше уровень сигнала);
- значение рабочей частоты равно 2,4 ГГц или 5 ГГц, однако в различных условиях предпочтительнее будет разный выбор частоты. Для обеспечения большей зоны покрытия, лучше, если частота 2,4 ГГц, а для наиболее устойчивого соединения без помех – 5 ГГц;
- тип шифрования WPS, либо WPA/WPA2 (WEP шифрование может быть допустимо, однако небезопасно, поэтому выявление такого типа шифрования не считается успешным проведением тестирования);
- значение  $\text{PER} < 1\%$ , причем, чем дольше длилось тестирование, тем достовернее полученное значение *PER*.

Тестирование может быть расширено, за счет различных параметров, которые подлежат измерению, в зависимости от сценария тестирования.

### **Тестирование стандарта IEEE 802.15.1 (Bluetooth, Bluetooth LE)**

Проверка коэффициента битовых ошибок (*BER*) на соответствии со стандартом IEEE 802.15.1.

Данная проверка включает в себя оценку коэффициента битовых ошибок при работе Интернет Вещи по Bluetooth-интерфейсу.

Данная проверка проводится в лаборатории Интернет Вещей СПбГУТ, в условиях по ГОСТ 22261-94.

Для проведения испытаний необходимо использовать оконечное Bluetooth-устройство, являющееся Интернет Вещью, и устройство тестирования, которое будет получать от него данные. В качестве устройства тестирования может быть использовано любое устройство, поддерживающее работу по технологии Bluetooth той же версии, что и Интернет Вещь, или совместимой с ней.

Тестирование проводится следующим образом:

- установить Bluetooth-соединение между устройством тестирования и Интернет Вещью, расстояние между которыми составляет 10–20 м;
- сгенерировать псевдослучайную последовательность бит, с помощью которой будут формироваться пакеты данных;
- передать поток данных от Интернет Вещи к устройству тестирования;

- на устройстве тестирования побитово проанализировать полученный трафик, определить общее количество полученных бит ( $L_{\text{получ.}}$ ) и количество полученных бит с ошибкой  $CRC$  ( $L_{CRC}$ );
- проанализировав количество отправленных ( $L_{\text{отпр.}}$ ) и количество полученных ( $L_{\text{получ.}}$ ) бит получить число потерянных бит ( $L_{\text{потер.}}$ ):

$$L_{\text{отпр.}} - L_{\text{получ.}} = L_{\text{потер.}}$$

- посчитать отношение бит с ошибкой  $CRC$  ( $L_{CRC}$ ) и потерянных бит к общему числу принятых бит ( $L_{\text{получ.}}$ ), получив тем самым значение  $BER$ :

$$\frac{L_{CRC} + L_{\text{потер.}}}{L_{\text{получ.}}} = BER.$$

Тестирование считается пройденным успешно, если значение  $BER < 0,1 \%$ , причем, чем дольше длилось тестирование, тем достовернее полученное значение  $BER$ .

Примечание: результаты тестирования должны быть представлены в виде таблицы (см. табл. 1).

Таблица 1.

Результаты тестирования стандарта IEEE 802.15.1

№ п/п	$L_{\text{отпр.}}$ , бит	$L_{\text{получ.}}$ , бит	$L_{\text{потер.}}$ , бит	$L_{CRC}$ , бит	$BER$ , %	Длительность тестирования, сек
1						
2						
...						
$n$						

Тестирование может быть расширено, за счет различных параметров, которые подлежат измерению, в зависимости от сценария тестирования.

#### **Тестирование стандарта IEEE 802.15.4 (ZigBee, 6LoWPAN)**

Проверка коэффициента пакетных ошибок ( $PER$ ) на соответствии со стандартом IEEE 802.15.4.

Данная проверка включает в себя оценку коэффициента пакетных ошибок при работе Интернет Вещи по ZigBee-интерфейсу.

Данная проверка проводится в лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ, в условиях по ГОСТ 22261-94.

Для проведения испытаний необходимо использовать ZigBee-сеть, оконечное устройство, являющееся Интернет Вещью, и ZigBee-шлюз, который будет получать от него данные. Устройства должны использовать один и тот же канал передачи данных. Кроме того, необходимо устройство, при помощи которого можно будет исследовать трафик в ZigBee-сети.

Тестирование проводится следующим образом:

- установить соединение между ZigBee-шлюзом и оконечным ZigBee-устройством, расстояние между которыми составляет не более 10 м;
- с микроконтроллера ZigBee снять значение уровня сигнала ( $RSSI$ );
- на оконечном ZigBee-устройстве сгенерировать некоторое количество пакетов данных и передать их к ZigBee-шлюзу;
- на ZigBee-шлюзе проанализировать полученный трафик, определить общее количество полученных пакетов и количество полученных пакетов с ошибкой  $CRC$ ;
- проанализировав количество отправленных ( $N_{отпр.}$ ) и количество полученных ( $N_{получ.}$ ) пакетов получить число потерянных пакетов ( $N_{потер.}$ ):

$$N_{отпр.} - N_{получ.} = N_{потер.};$$

- посчитать отношение пакетов с ошибкой  $CRC$  ( $N_{CRC}$ ) и потерянных пакетов ( $N_{потер.}$ ) к общему числу принятых пакетов ( $N_{получ.}$ ), получив тем самым значение  $PER$ :

$$\frac{N_{CRC} + N_{потер.}}{N_{получ.}} = PER.$$

Тестирование считается пройденным успешно, если:

- показатель уровня сигнала ( $RSSI$ ) больше  $-80$  dBm (чем менее отрицательным будет значение, тем лучше уровень сигнала);
- значение  $PER < 1\%$  (согласно стандарту IEEE 802.15.4), причем, чем дольше длилось тестирование, тем достовернее полученное значение  $PER$ .

Результаты тестирования должны быть представлены в виде таблицы (см. табл. 2).

Таблица 2.

Результаты тестирования стандарта IEEE 802.15.4

№ п/п	$RSSI$	$N_{отпр.}$ пак.	$N_{получ.}$ пак.	$N_{потер.}$ пак.	$N_{CRC}$ пак.	$PER, \%$	Длительность тестирования, сек
1							
2							
...							
$n$							

Тестирование может быть расширено, за счет различных параметров, которые подлежат измерению, в зависимости от сценария тестирования.

### Заключение

В основном тестирование сети заключается в измерении параметров  $CIR$ ,  $PER$ ,  $BER$  и некоторых других показателей, по которым возможно определить насколько сеть функционирует исправно и насколько успешным будет взаимодействие устройств, как между собой, так и с конечным пользователем. Если



значения этих показателей лежат в допустимых пределах, то можно говорить о качественной работе в структуре сети Интернета Вещей.

### Литература

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявые Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 312 с.
2. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Васильев А. Б., Тарасов Д. В., Андреев Д. В., Кучерявый А. Е. Тестирование сетей связи следующего поколения. М.: ФГУП ЦНИИС. 2008. 144 с.
4. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
5. Долгушев Р. А., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Обзор возможных видов и методов тестирования Интернет Вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 2. С. 1–11.

### References

1. Koucheryavy A., Prokopiev A., Koucheryavy E. Self-Organizing Networks. SPb.: Lyubavich. 2011. 312 p.
2. Koucheryavy A. Internet of Things // Elektrosvyaz'. 2013. No. 1. pp. 21–24.
3. Vasiliev A., Tarasov D., Andreev D., Koucheryavy A. Testing of Next Generation Networks. M.: FGUP ZNIIS. 2008. 144 p.
4. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
5. Dolgushev R., Kirichek R., Koucheryavy A.: An Overview of Possible Testing Types and Methods for the Internet of Things // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 2. pp. 1–11 (in Russian).

***Борисова Марина Вадимовна***

– магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vadalla@yandex.ru

***Киричек Руслан Валентинович***

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

***Borisova Marina***

– Undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vadalla@yandex.ru

***Kirichek Ruslan***

– Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru