



## Интернет вещей: стандарты, коммуникационные и информационные технологии, сетевые приложения

## The Internet of Things: standards, communication and information technologies, network applications

УДК 004.7

DOI: 10.25559/SITITO.14.201801.149-169

### АНАЛИЗ ТРАФИКА УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

О.Н. Лоднева, Е.П. Ромасевич

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

#### Аннотация

Одной из популярных на данный момент тем в инфокоммуникационной сфере является Интернет вещей (Internet of Things, IoT). IoT не является стандартизированной концепцией. Для построения и взаимодействия таких систем предлагается несколько вариантов эталонных моделей. Кроме того, для удовлетворения основных требований к интеллектуальным системам часто модифицируются или разрабатываются новые протоколы. Для построения систем IoT и прогнозирования их поведения в условиях изменения объема передаваемой информации необходимы реалистичные компьютерные модели, для которых требуется знать основные параметры создаваемого «умными» устройствами трафика: его размер, время передачи и т. д.. Настоящее исследование нацелено на решение этой задачи, а именно на получение данных и анализ трафика устройств, применяемых в системах «умный» дом, - «умных» розеток. «Умная» розетка в общем случае представляет собой привычное устройство, интегрированное с модулем (Wi-Fi, ZigBee и т. д.) для удобства и безопасности защищенное корпусом. В этой статье будут рассмотрены розетки производителей Xiaomi и Broadlink. Исследование проводится в разных режимах работы. Для получения более точных данных о трафике рассматриваются как генерируемые, так и получаемые розетками данные. В перспективе, полученные сведения о работе представленных устройств могут быть использованы для

#### Об авторах:

**Лоднева Ольга Николаевна**, студент, кафедра телекоммуникационных систем, Волгоградский государственный университет (400062, Россия, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 100); ORCID <http://orcid.org/0000-0003-1362-9054>, [olodneva@yandex.ru](mailto:olodneva@yandex.ru)

**Ромасевич Егор Павлович**, аспирант, кафедра телекоммуникационных систем, Волгоградский государственный университет (400062, Россия, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 100); ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6511-0778>, [eromasevich2@mail.ru](mailto:eromasevich2@mail.ru)

© Лоднева О.Н., Ромасевич Е.П., 2018



более глубокого изучения с целью прогнозирования скачков объема трафика и поведения при этом системы в целом, а также для непосредственно компьютерных моделей сетей интеллектуальных устройств. Оценка характеристик трафика «умных» розеток также дает представление о принципе работы каждого устройства и целесообразности применения его в той или иной системе.

#### Ключевые слова

Интернет вещей; Wi-Fi; «умные» розетки.

## ANALYSIS OF DEVICES TRAFFIC OF THE INTERNET OF THINGS

Ol'ga N. Lodneva, Egor P. Romasevich

Volgograd State University, Volgograd, Russia

#### Abstract

*One of the most popular topics in the field of infocommunication is the Internet of things (IoT). IoT is not a standardized concept. Several models of reference models are proposed for the construction and interaction of such systems. Also, to meet basic requirements for intelligent systems, new protocols are often modified or developed. To build IoT systems and predict their behavior in the conditions of changing the amount of transmitted information, realistic computer models are needed, for which you need to know the basic parameters of the traffic created by "smart" devices: its size, transmission time and so on. This study is aimed at solving this problem, namely to obtain and analyze the traffic of devices used in systems "smart" home - "smart" sockets. "Smart" socket in General is a familiar device that is integrated with a module (Wi-Fi, ZigBee, etc.) for the convenience and security of secure housing. In this article, we will discuss sockets manufacturers Xiaomi and Broadlink. The study is carried out in different operating modes. To obtain more accurate data on traffic, both the data generated and the data received by the outlets are considered. In the future, the obtained information about the operation of the presented devices can be used for a more in-depth study in order to predict the jumps in traffic and the behavior of the system as a whole, as well as for directly computer models of networks of intelligent devices. Evaluation of the characteristics of the traffic "smart" sockets also gives an idea of the principle of operation of each device and the feasibility of its application in a particular system.*

#### Keywords

*Internet of Things; IoT; Wi-Fi; "smart" socket.*

#### Введение

Идея Интернета вещей возникла в конце двадцатого века. На первый взгляд замысел кажется простым: неограниченное количество всевозможных вещей, принимающих активное участие в нашей повседневной жизни, способных создавать сети для упрощения и автоматизации процессов в промышленности, бизнесе, социальной жизни. [4]

По сути, Интернет вещей – это сеть устройств-вещей, которые под влиянием

некоторой заданной программы принимают решения о том или ином действии без участия человека. [5] Помимо простых устройств (пылесос, кондиционер, конвейерная лента), в такой сети должны присутствовать разнообразные датчики (движения, освещенности, веса и т. д.), собирающие информацию, устройства, хранящие собранную информацию, и устройства, управляющие процессом (анализирующие собранную информацию и принимающие решения о



действию). Такая система может иметь различные конфигурацию и масштаб в зависимости от ее назначения. [15]

Принципиальные отличия концепции Интернета вещей от классических сетей связи заключаются в следующем: чрезвычайно большое число подключаемых устройств, требования по низкому энергопотреблению и ограниченные вычислительные ресурсы этих устройств. [11] По данным Cisco к 2020 году к глобальной сети будет подключено порядка 50 миллиардов устройств, что приведёт к лавинообразному увеличению трафика. [9] Ввиду неограниченного числа подключаемых к интеллектуальным сетям устройств преимущественно используются беспроводные технологии, такие как Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11), ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4), Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1), 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) и прочие. Последние версии данных стандартов были ориентированы на Интернет вещей, а именно на снижение энергопотребления в сенсорных сетях и удешевления сети в целом за счет отказа от проводных сред передачи. [16, 18] Разработчики некоторых из выше перечисленных технологий модифицировали данные стандарты для удовлетворения требований при построении сетей IoT.

Например, Комитет LAN/MAN Standard Committee (LMSC) создал группу IEEE 802.11ah, целью которой является расширение области применения сетей IEEE 802.11 путем разработки энергоэффективного протокола, позволяющего тысячам станций, расположенным как в помещении, так и вне его, работать в одной и той же частотно-пространственной области. [25]

Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) ориентирован, главным образом, на использование в качестве средства связи между автономными приборами и оборудованием. В корпоративном секторе это могут быть, например, складские системы, системы автоматизации производства, различные датчики, сенсоры, сервоприводы, электронные метки, а в домашних условиях – персональные компьютеры, игровые приставки, системы безопасности, освещения, кондиционирования, радиофицированные игрушки. [19]

Bluetooth Low Energy (BLE) (модификация

классического Bluetooth) ориентирован на применение в системах сбора данных и мониторинга с автономным питанием. BLE, как и обычный Bluetooth, работает в нелицензируемом диапазоне 2.4 – 2.483 ГГц. Выходная мощность передатчиков BLE составляет 0 дБ (1 мВт), при этом типичная максимальная дальность связи равна 50 м. использует наиболее распространенные топологии «точка-точка» и «звезда» [17].

Для решения проблемы уменьшения энергопотребления, а также проблемы конвергенции сенсорных сетей с сетями IP, был создан и активно развивается стандарт 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks). Он описывает сжатый формат IPv6 для передачи его по сетям на основе IEEE 802.15.4. [22] Аналогичное решение существует для передачи пакета IPv6 через BLE [23].

По принципу кому предоставляются услуги Интернет вещей можно условно разделить на промышленный, социальный и бытовой. [24] Каждый раздел включает в себя подраздел в виде общих систем, применяемых на том или ином уровне: «умное» предприятие, «умный» город, «умный» дом и т. д. Системы, в свою очередь, состоят из более мелких частей, каждая из которых выполняет конкретную функцию (электроснабжение, безопасность, контроль качества продукции и прочее) [2].

Осуществить подобную систему на практике можно в рамках одного дома, квартала, предприятия, но ввиду отсутствия стандартов и имеющихся на сегодняшний день соответствующих технологий, построение глобальных сетей невозможно. Иными словами, сейчас Интернет вещей – это не стандартизованная концепция, какой некогда была и глобальная сеть сетей. [3]

Тем не менее, международными телекоммуникационными организациями и объединениями уже сейчас предлагаются модели построения и взаимодействия систем IoT. Например, МСЭ (международный союз электросвязи) для решения проблемы стандартизации систем IoT МСЭ-Т разработал IoT-GSI (Global Standards Initiative on Internet of Things) – глобальная инициатива по стандартизации Интернета вещей, которая помимо прочего предлагает иерархическую модель построения интеллектуальных систем. [4] Последняя имеет 4 уровня:



- уровень приложений IoT. Данный уровень состоит из приложений, взаимодействующих с IoT устройствами. В Рекомендации Y.2060 он детально не рассматривается.
- уровень поддержки приложений и услуг включает общие возможности для различных объектов IoT по обработке и хранению данных, а также возможности, индивидуальные для некоторых приложений IoT или групп таких приложений.
- сетевой уровень выполняет две базовых функции: взаимодействие устройств и шлюзов и транспорт информации служб и приложений IoT, а также информации управления и контроля IoT. Если сравнить данную модель с эталонной, то можно сказать, что эти возможности соответствуют сетевому и транспортному уровням OSI.
- уровень устройств включает возможности устройства и возможности шлюза. Возможности устройства предполагают прямой обмен с сетью связи, обмен через шлюз, а также временные остановки и возобновление работы устройства для энергосбережения. Возможности шлюза предполагают поддержку множества интерфейсов для устройств и для сетей доступа/транспортных сетей. Другой возможностью шлюза является поддержка конверсии протоколов, в случае если протоколы интерфейсов устройств и сетей отличаются друг от друга.

Также существуют два дополнительных (вертикальных) уровня – управление и безопасность.

Возможности вертикального уровня управления предусматривают управление последствиями отказов, возможностями сети, конфигурацией, безопасностью и данными для биллинга. Возможности вертикального уровня безопасности зависят от горизонтального уровня. Для уровня поддержки приложений и услуг определены функции AAA (Authentication, Authorization and Accounting), антивирусная защита, тесты целостности данных. Для сетевого уровня – возможности авторизации, аутентификации, защиты информации

протоколов сигнализации. На уровне устройств – возможности авторизации, аутентификации, контроль доступа и конфиденциальность данных. [2]

Ввиду специфических требований к интеллектуальным сетям, были разработаны новые или модифицированы уже существующие протоколы. [14] Среди наиболее известных, протоколы HTTP/HTTPS (RESTful), MQTT, CoAP, QUIC. [6]

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) – протокол обмена сообщениями между устройствами по принципу издатель-подписчик, работающий поверх протокола TCP. Данный протокол был создан для использования в сетях с низкой полосой пропускания, сетях с высокой задержкой или ненадёжных сетях. [7]

CoAP (Constrained Application Protocol) – протокол прикладного уровня, работающий на основе REST (Representational State Transfer) шаблонов. Протокол CoAP является бинарным и работает поверх UDP, в отличие от HTTP. Данный протокол используется устройствами и сетями с ограниченными ресурсами. [8]

QUIC работает над протоколом UDP, заменяя классический механизм восстановления пакетов. Данный протокол может открыть соединение и согласовать все параметры за 1 или 2 пакета (1 или 2 — зависит от того, открывается соединение к новому серверу или к уже знакомому). Проблему блокировки очереди протокол QUIC решает подобно протоколу UDP, т. е. не требует соблюдения порядка обработки пакетов. Вследствие этого есть риск возникновения ошибок из-за потерянных пакетов, но эти ошибки влияют только на обработку тех ресурсов, к которым относится потерянный пакет. Для снижения числа пересылаемых пакетов-дубликатов протокол QUIC реализует превентивную коррекцию ошибок (Forward Error Correction, FEC). Каждый пересылаемый пакет содержит в себе некоторое количество данных других пакетов, что позволяет реконструировать любой потерянный пакет по данным в его соседях, без необходимости запрашивать переотправку потерянного пакета и дожидаться его содержимого. [13] Протокол QUIC можно считать пилотным проектом компании Google. Несмотря на это, данный протокол уже поддерживается некоторыми устройствами по умолчанию, например, «умной» розеткой



Broadlink. Помимо этого, один из популярных браузеров – Chrome, имеет экспериментальную поддержку QUIC. [13]

Тем не менее нынешний Интернет вещей использует стек протоколов TCP/IP, в том числе и протокол IPv4. Главной проблемой протокола IPv4 на сегодняшний день является длина поля адреса всего в 32 бита, и как следствие, истощение его адресного пространства. [20]

На смену используемому протоколу был создан новый – IPv6. Протокол использует 128 бит для поля адреса, и позволяет назначить собственные сетевые адреса всем устройствам, которым это необходимо сейчас и в обозримом будущем. Однако заголовок пакета IPv6 не менее чем в два раза превышает размер заголовка пакета IPv4 [21].

### **Построение имитационной модели интеллектуальной сети**

При проектировке любой системы IoT необходимо знать основные параметры применяемых устройств. При выполнении данного условия будет возможно построить правдоподобную имитационную модель заданной системы. Имитационная модель – совокупность описания системы и внешних воздействий, алгоритмов функционирования системы или правил изменения состояния системы под влиянием внутренних и внешних возмущений. [10] Так как устройства не являются типовыми, то и имитационную модель, соответствующую реальной системе, можно будет создать, только заранее изучив генерируемый отдельным «умным» устройством трафик. Для этого следует проанализировать важные для сети характеристики трафика конкретных устройств: нагрузка на сеть, временные задержки, количество и размер пакетов. [9] Также для выбора наиболее подходящего для некоторых требований устройства, важно знать какие протоколы оно поддерживает.

Требования к устройству определяются системой, в которой оно будет применено. Ввиду доступности и актуальности для проведения исследования и анализа были выбраны устройства, часто используемые в системах контроля электроснабжения, а именно – «умные» розетки производителей Xiaomi и Broadlink.

Само исследование заключается в

проведении опыта, а именно «перехвате» трафика, передаваемого «умным» устройством в разных режимах работы. Затем полученные данные анализируются относительно тех параметров, которые, как правило, характеризуют нагрузки на сеть и возможность прогноза ее поведения в условиях увеличения трафика.

### **Анализ трафика «умных» вещей**

Перед началом работы, оба устройства подлежат начальной конфигурации. Для обеих розеток настройка производится посредством конфигурационного гаджета (смартфона), который связывается непосредственно с розеткой по Bluetooth. Настройка производится в специальных приложениях (MiHome для розетки Xiaomi и E-Control для розетки Broadlink), которые в последствии используются и для управления устройством.

Исследования проводятся для двух режимов работы «умных» розеток: фоновый и активный. В фоновом режиме, после настройки необходимых параметров исследуемые устройства не получают сторонних запросов от конфигурационного устройства (смартфона). В активном режиме каждая розетка через произвольный промежуток времени получает ряд запросов на включение/отключение, затем снова переходит в фоновый режим.

### **Фоновый режим**

В фоновом режиме исследуемое устройство генерирует некоторое число служебных пакетов, передавая их серверу, через который, в перспективе, с ним может связаться гаджет.

В случае с розеткой Xiaomi количество отправляемых пакетов и временные интервалы между ними не являются однородными. Зависимость числа отправленных пакетов от времени представлена на рисунке 1.

Зависимость объема пакетов от времени представлена на рис. 2. Из графика видно, что резкое увеличение размера передаваемых пакетов не аппроксимируется временной функцией. Также, при сопоставлении графиков рис.1 и рис.2 можно заметить, что увеличение размера пакета имеет место при резком уменьшении временных интервалов между отправляемыми пакетами. Следовательно, необходимо детально рассмотреть временные интервалы между отправляемыми пакетами.

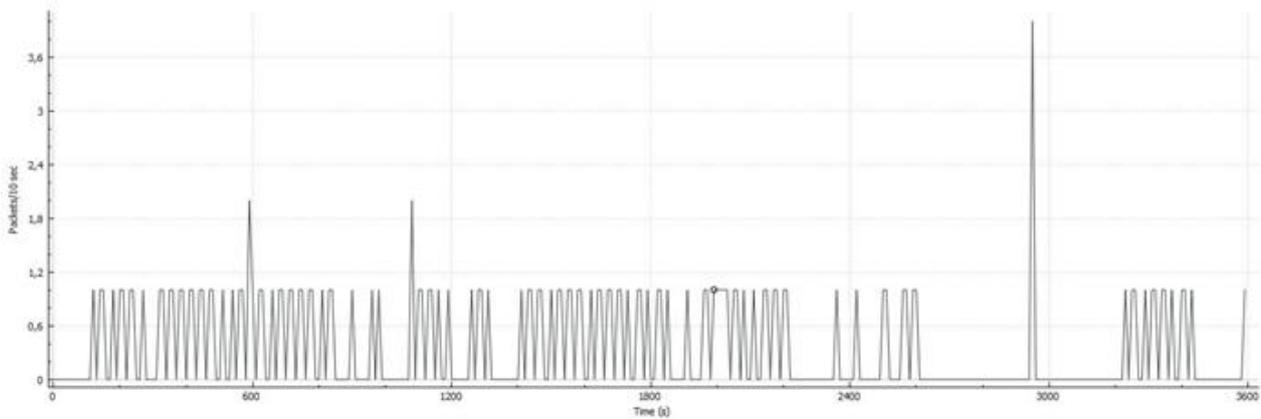


Рис. 1. График зависимости числа отправляемых пакетов от времени (Xiaomi)

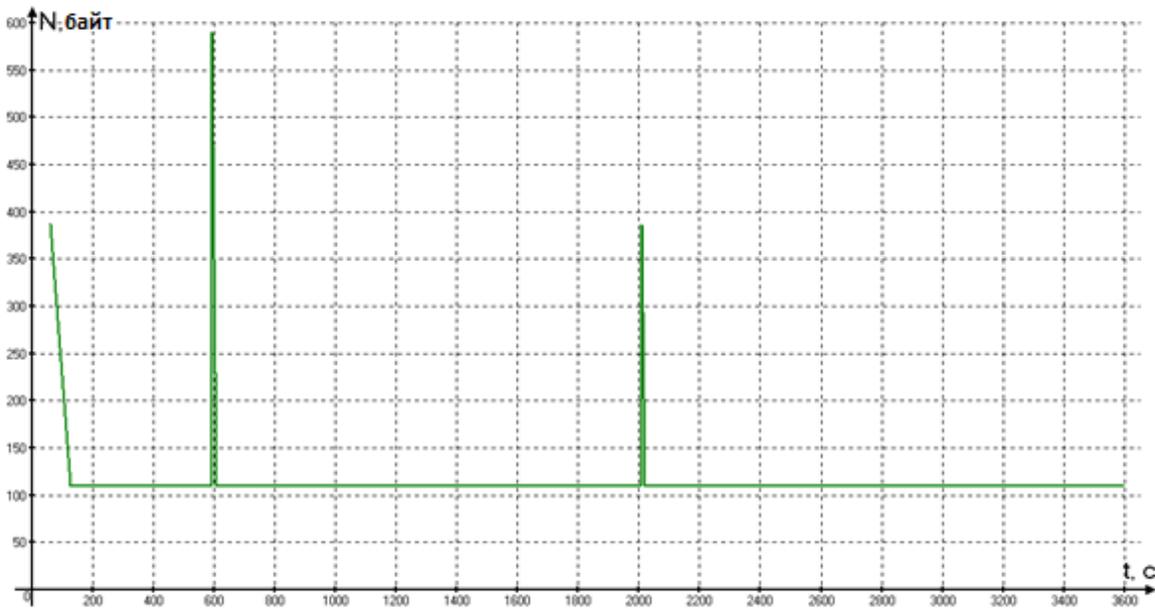


Рис. 2. График зависимости размера пакетов от времени (Xiaomi)

Плотность распределения вероятностей временных задержек является важным параметром в построении компьютерной модели интеллектуальной системы. С помощью нее генератор трафика в модели имитирует нагрузки на сеть максимально приближенные к реальным. Для отправляемых розеткой Xiaomi пакетов данная величина приблизительно аппроксимируется функцией логистического распределения (рис. 3). Функция имеет вид:

$$F(x; \alpha; \beta) = \frac{x^\beta}{\alpha^\beta + x^\beta},$$

где  $\alpha = 8,4; \beta = 21; \gamma = -2,5041$  ( $\gamma$  аргумент,

который отвечает за положение графика относительно оси X).

Из рисунка видно, что значения временных задержек лежат в диапазоне от 0 до 340 секунд. Причем, 80% временных задержек не превышают 20 секунд.

За все время измерений розетка Xiaomi получала данные только от Wi-Fi маршрутизатора по протоколу DHCP (протокол динамического распределения IP-адресов).

В фоновом режиме работы устройство передает в основном служебные пакеты по протоколу UDP. Пакеты размером 110 бит составляют 97,6%



от общего числа отправленных и полученных устройством пакетов, пакеты размером 386 бит

– 1,6% и пакеты размером 590 бит – 0,8%.

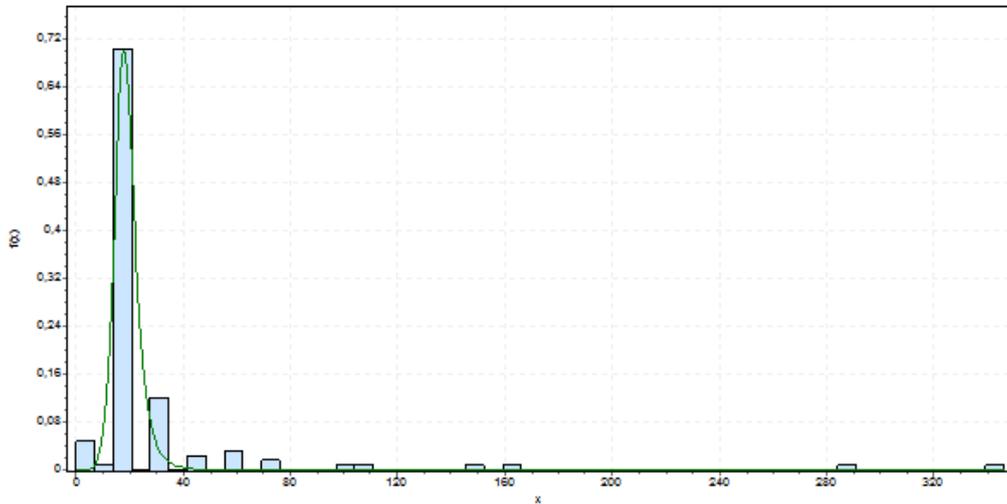


Рис. 3. Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов розеткой Xiaomi

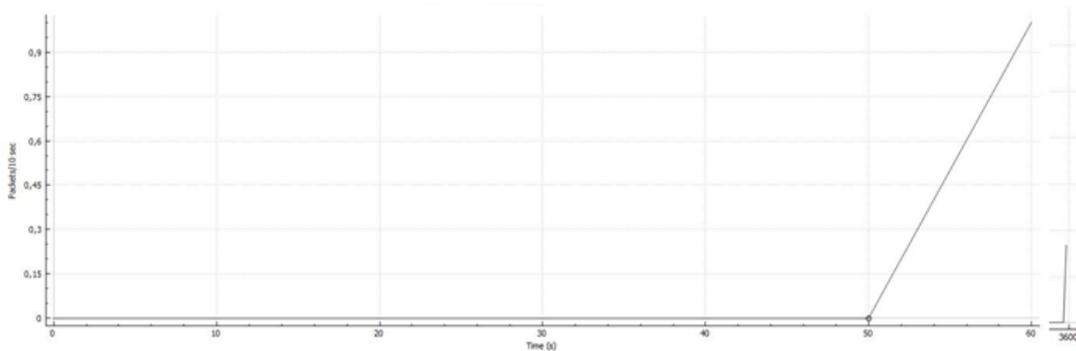


Рис. 4. График зависимости количества принимаемых пакетов от времени (Xiaomi)

### Розетка Xiaomi

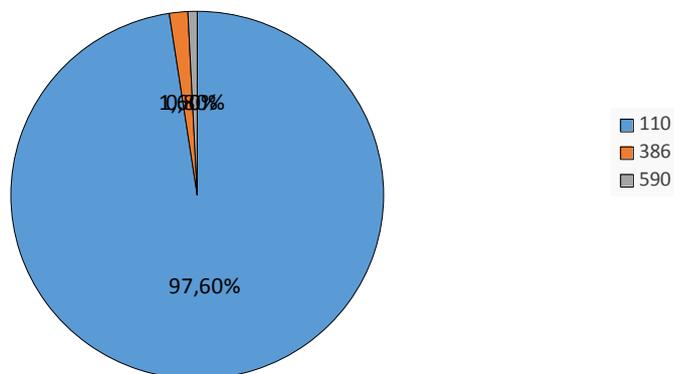


Рис. 5. Диаграмма процентного соотношения длин пакетов розетки Xiaomi

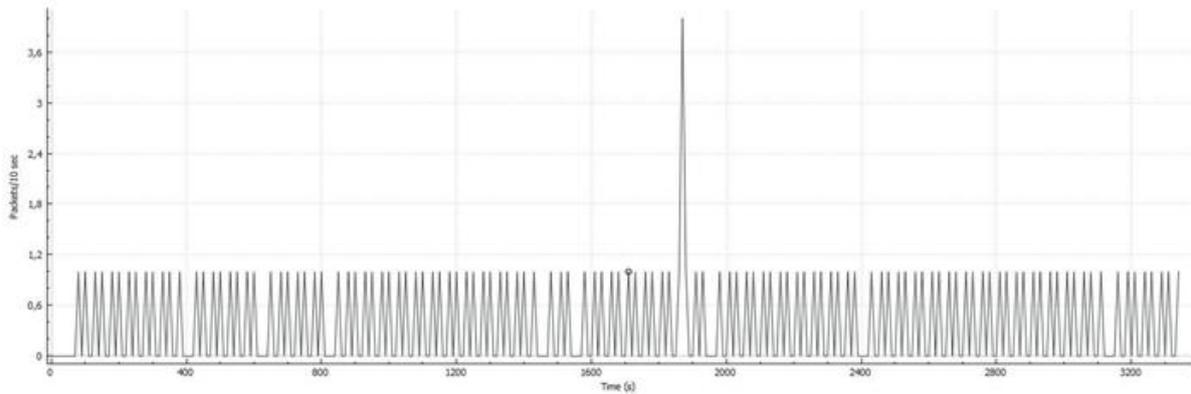


Рис. 6. График зависимости количества отправляемых пакетов от времени (Broadlink)

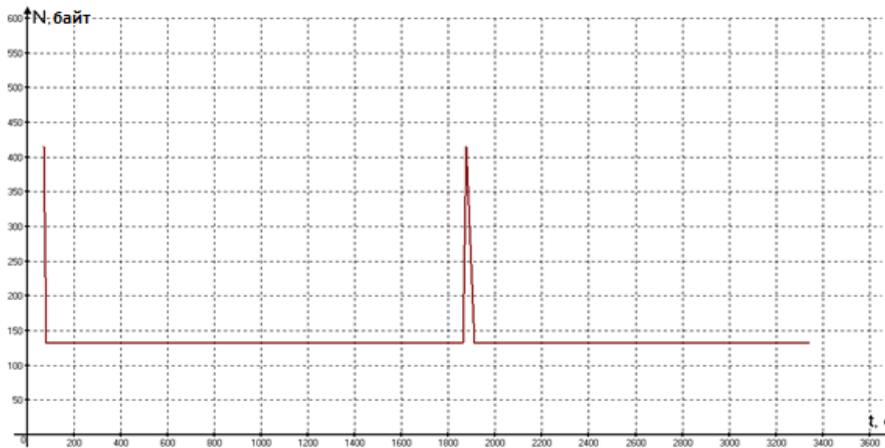


Рис. 7. График зависимости объема пакетов от времени (Broadlink)

Аналогичный опыт с розеткой Broadlink выявил минимальные, относительно розетки Xiaomi, задержки отправки пакетов, и более однородный вид зависимости количества отправляемых пакетов от времени. Данная зависимость для розетки Broadlink показана на рисунке 6. В этом случае отклонение также вызвано уменьшением временной задержки отправки (получения) пакетов. Размер отправляемых пакетов в данный момент времени так же увеличивается (рис. 7).

Временные задержки генерации пакетов розеткой Broadlink имеют вид более однообразный, чем у розетки Xiaomi при тех же условиях, и лежат в диапазоне от 0 до 50 сек. Плотность распределения их вероятностей

наиболее точно аппроксимируется функцией распределения Коши (рис. 8), которая имеет вид:

$$F_x(x) = \frac{1}{\pi} \arctg\left(\frac{x - x_0}{\mu}\right) + \frac{1}{2};$$

где  $\sigma=0,0068$  (задает форму графика);  $\mu=25,076$ ; 90% этих задержек лежат в диапазоне от 24 до 25,5 секунд.

За время исследования розетка Broadlink получала пакеты от облачного сервера с определенной периодичностью (рис. 9). На данном графике пик числа полученных пакетов по времени не совпадает с тем же значением отправляемых пакетов.

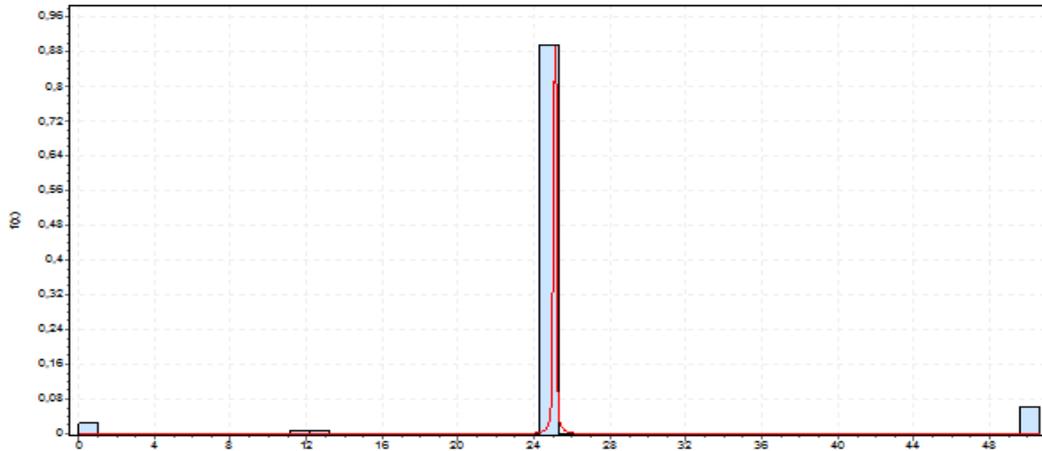


Рис. 8. Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов для розетки Broadlink

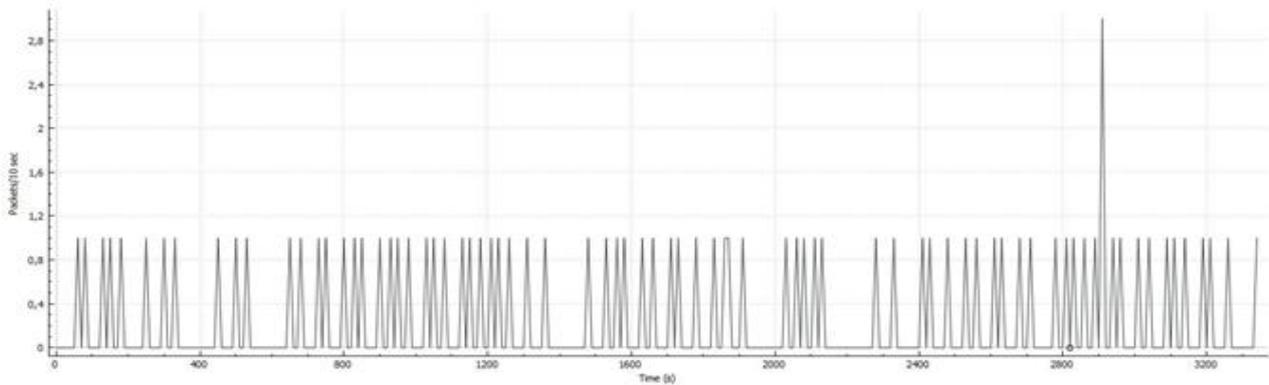


Рис. 9. График зависимости числа получаемых пакетов от времени (Broadlink)

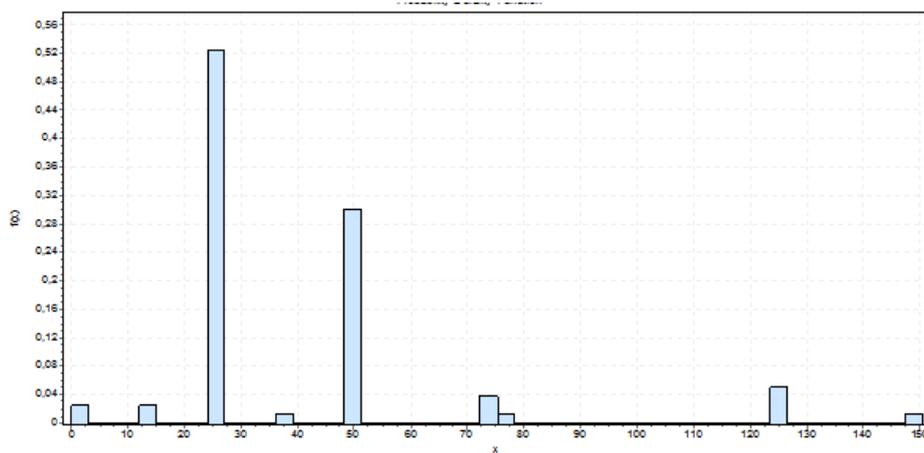


Рис. 10. Плотность распределения вероятностей временных задержек получения пакетов (Broadlink)



## Розетка Broadlink

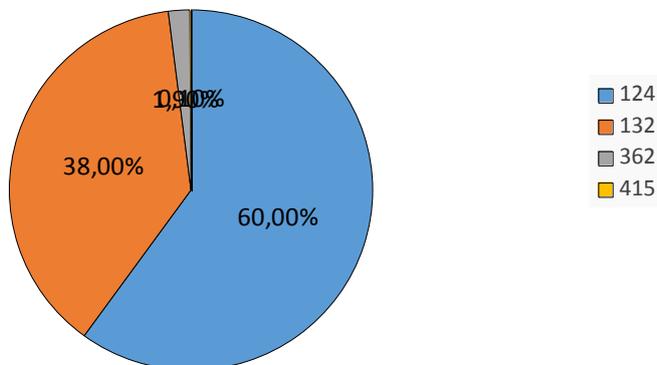


Рис. 11. Диаграмма процентного соотношения длин пакетов розетки Broadlink

Плотность распределения вероятностей временных задержек получения пакетов розеткой Broadlink невозможно однозначно аппроксимировать (рис. 10).

Из рисунка видно, что значения временных задержек лежат в диапазоне от 0 до 150 сек. Причем, 52% временных задержек составляют от 24 до 26,5 секунд, еще 30% это задержки от 48 до 52 секунд.

Также как устройство производителя Xiaomi, розетка Broadlink генерирует и получает от сервера служебные пакеты в основном по протоколу UDP. Пакеты размером 124 бита составляют примерно 60%, 38% пакеты длиной 132 бита, 1,9% пакеты длиной 362 бита, и пакеты длиной 415 бит составляют 0,1% от общего числа отправленных и полученных устройством пакетов.

Данные исследования фоновой работы «умных» устройств представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные исследования фоновой работы «умных» розеток

Пассивный режим	Xiaomi	Broadlink
Минимальный размер пакета, байт	110	124
Максимальный размер пакета	590	415
Количество пакетов	112030	31392

Измерения для обеих розеток проводились на протяжении 3400 секунд или 57 минут.

Из приведенных диаграмм плотности распределения вероятностей видно, что диапазон временных задержек передачи

пакетов розетки Xiaomi в 6 раз шире того же значения для розетки Broadlink. Также, количество передаваемых пакетов розеткой Xiaomi в фоновом режиме в 3,569 раза больше количества передаваемых пакетов в том же режиме розеткой Broadlink. Следовательно, быстродействие розетки Broadlink в фоновом режиме выше, а нагрузка на сеть меньше, чем у розетки Xiaomi, несмотря на незначительную (14 бит) разницу в размере пакетов.

В фоновом режиме работы умных устройств хаотичные всплески, в представленных графических зависимостях объема пакетов от времени и количества передаваемых пакетов от времени объясняются либо динамическим распределением адресов (применение протокола DHCP), либо уменьшением временных задержек, плотности распределения вероятностей которых аппроксимируются функциями Лог-Логистик (ЗР) и Коши. Таким образом, можно сказать, что резкое увеличение нагрузки на сеть, создаваемое розеткой Broadlink, работающей в фоновом режиме, является прогнозируемым.

### Активный режим

В активном режиме работы через произвольный интервал времени отправляется запрос на включение/отключение розетки. В промежутке между запросами «умное» устройство работает в фоновом режиме.

Для розетки Xiaomi на рисунке 12 приведена зависимость числа отправляемых пакетов от времени.

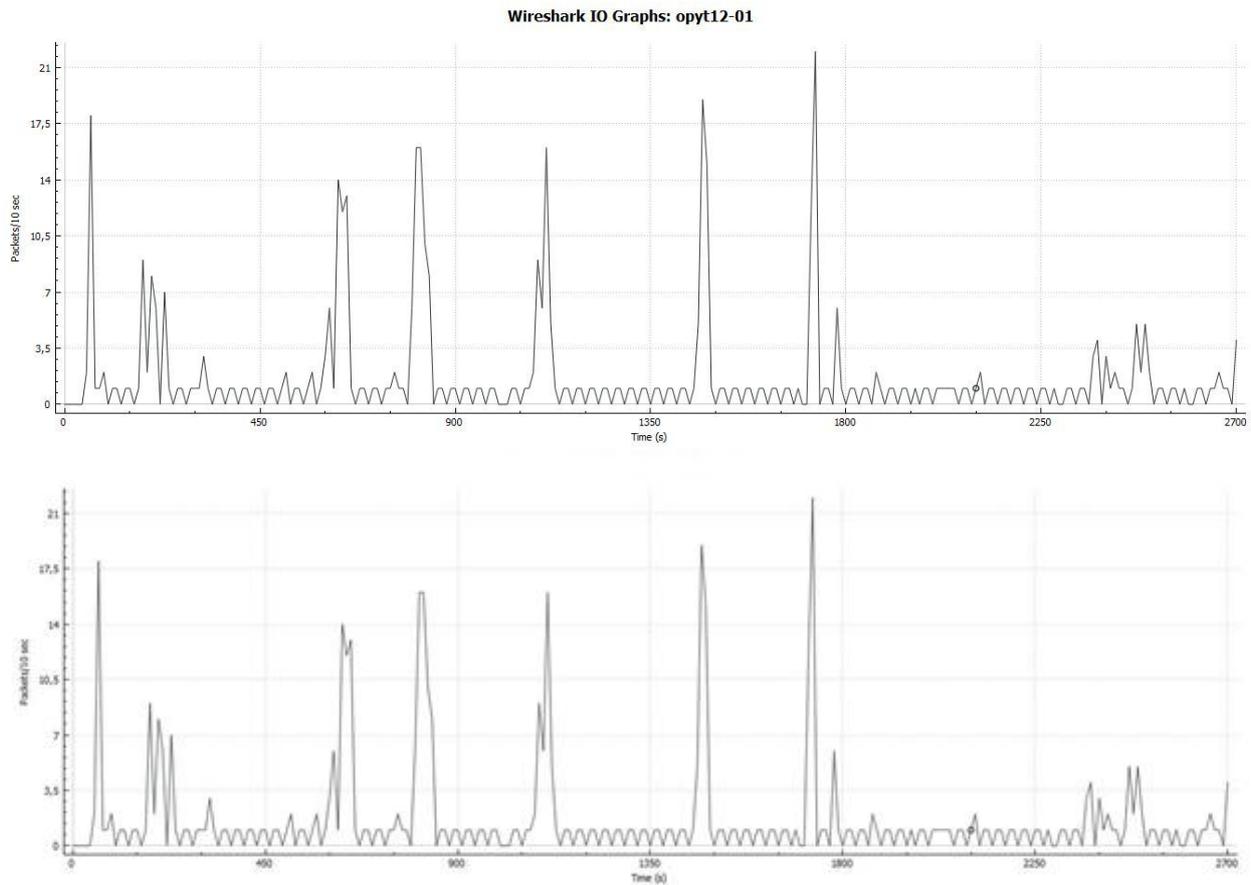
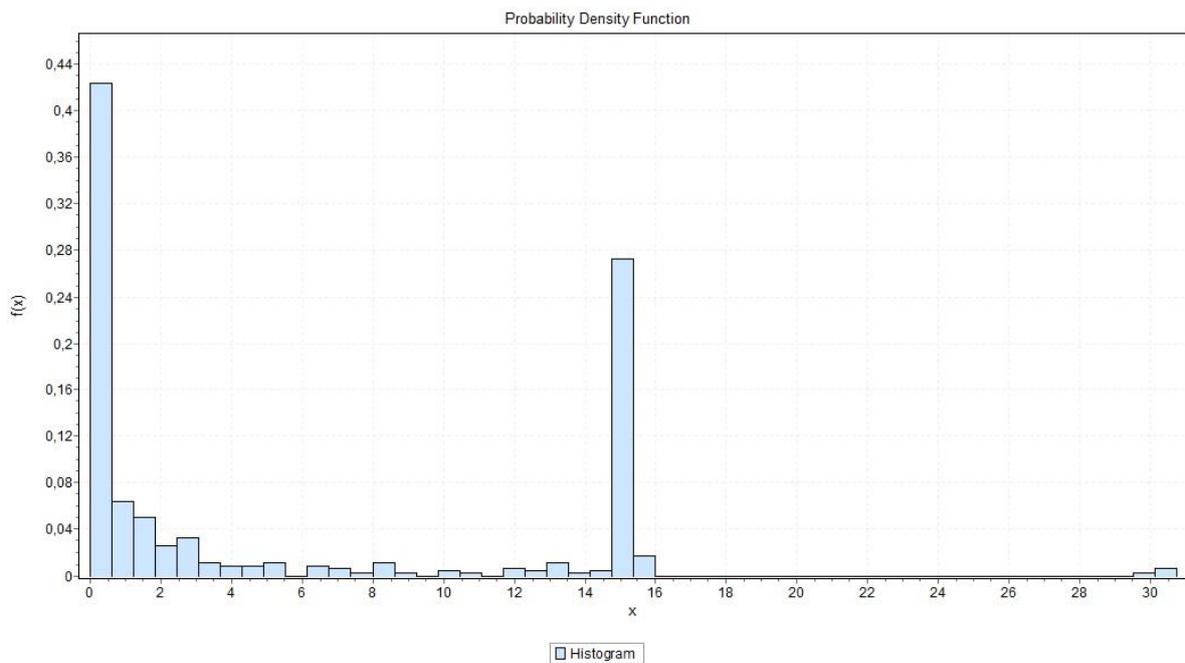


Рис. 12. График зависимости числа отправляемых пакетов от времени (Хиаоми)



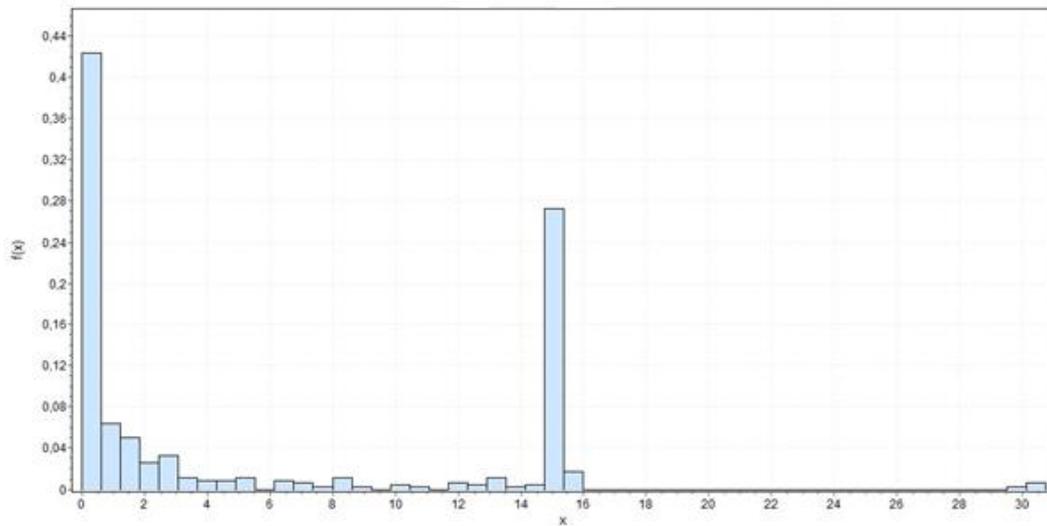


Рис. 13. Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов (Xiaomi)

Каждый пик соответствует времени запроса, т. е. времени активности «умного» устройства. Из графика видно, что в активном режиме время между отправкой пакетов заметно сокращается. Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов розеткой Xiaomi (рис.13) нельзя

однозначно аппроксимировать какой-либо функцией.

Временные задержки между пакетами, генерируемыми розеткой Xiaomi, лежат в диапазоне от 0 до 30 секунд, 42% из которых не превышают 1 секунды и 30% составляют от 14,5 до 15,5 секунд.

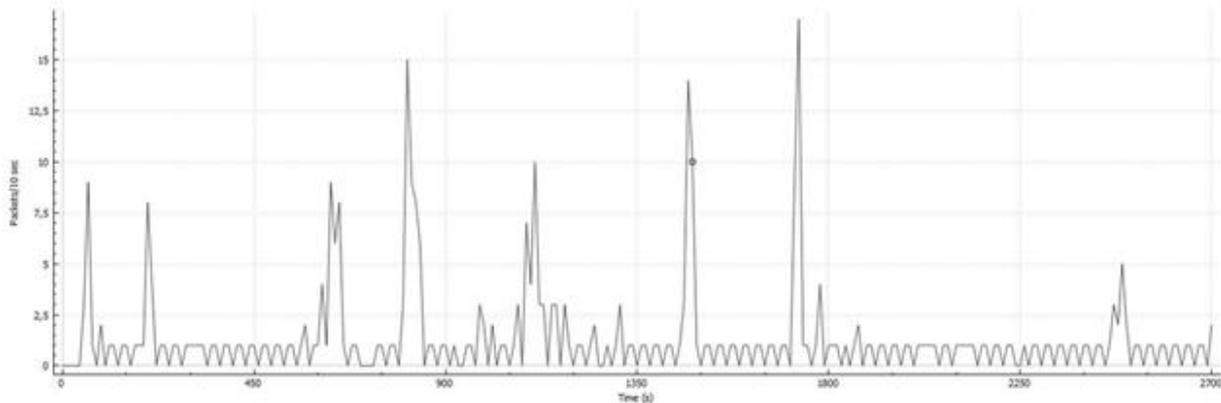
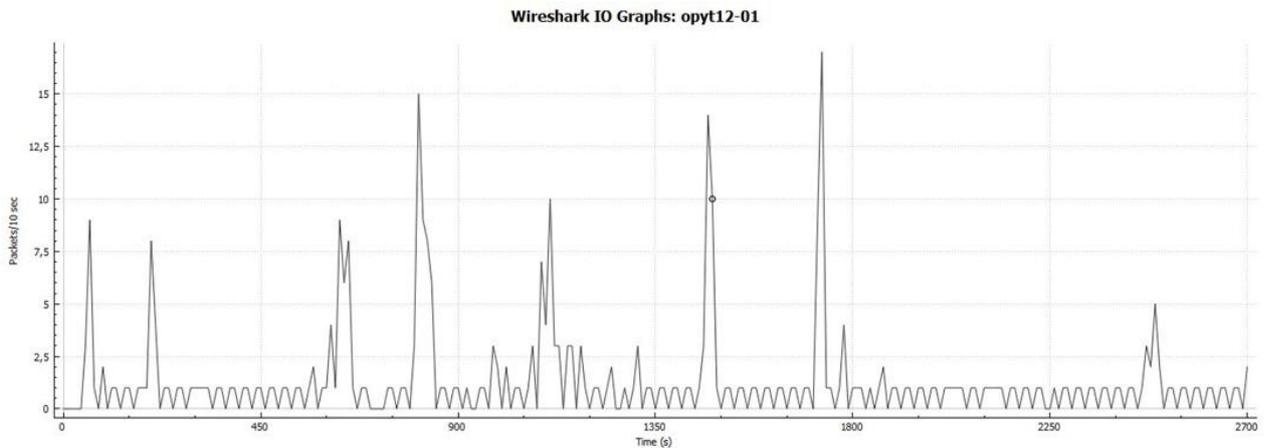


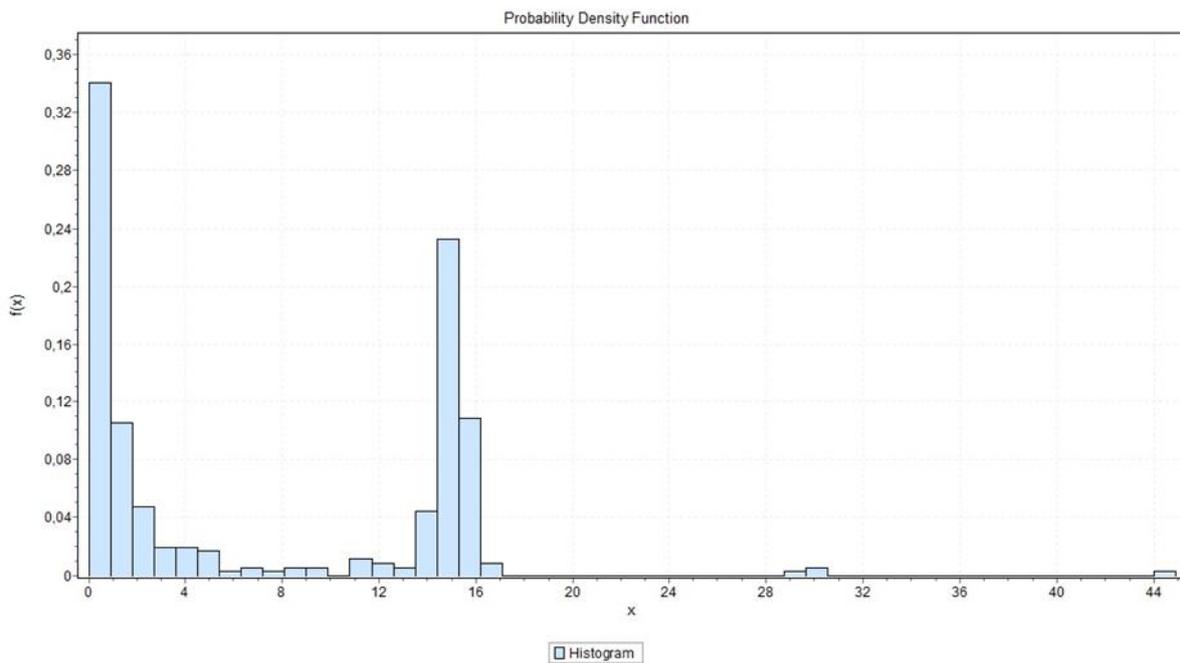
Рис. 14. График зависимости числа принимаемых пакетов от времени (Xiaomi)



При сопоставлении графиков зависимости отправки и приема пакетов розеткой Xiaomi от времени (рис. 14) видно, что моменты активности совпадают.

Временные задержки приёма пакетов лежат в диапазоне от 0 до 44 секунд, 34% из которых

не превышают 1 секунды и 24% составляют от 14,5 до 15,5 секунд, 10% временные задержки в диапазонах от 1 до 2 секунд и от 15 до 16 секунд, по 5% составляют временные интервалы от 2 до 3 секунд и от 13,5 до 14,5 секунд.



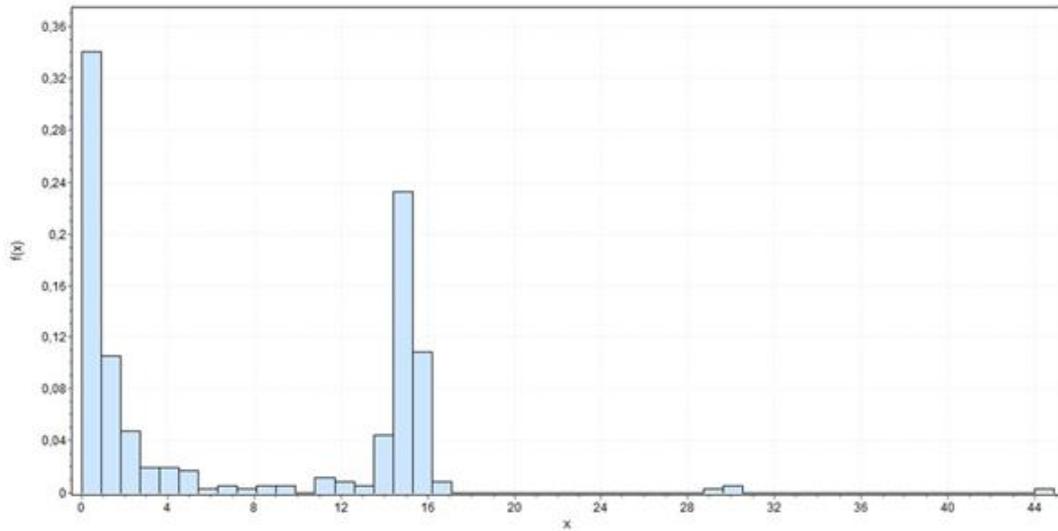


Рис. 15. Плотность распределения вероятностей временных задержек приема пакетов (Xiaomi)

Плотность распределения вероятностей временных задержек приема пакетов розеткой Xiaomi нельзя однозначно аппроксимировать какой-либо функцией.

Из общего числа передаваемых пакетов 58,5%

составляют пакеты длиной 110 бит, 23% пакеты длиной 142 бита, 14,8% пакеты длиной 174 бита, оставшиеся 3,7% приходятся на единично встречающиеся длины пакетов в диапазоне значений от 98 до 574 бит.

### Розетка Xiaomi

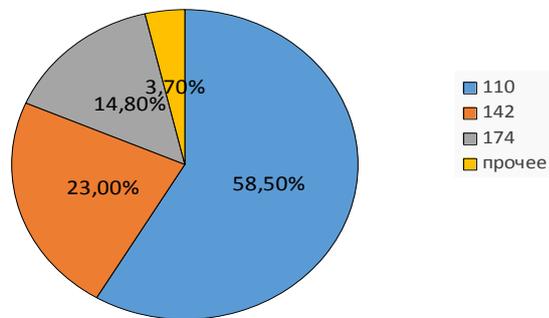


Рис.16. Диаграмма процентного соотношения длин пакетов розетки Xiaomi

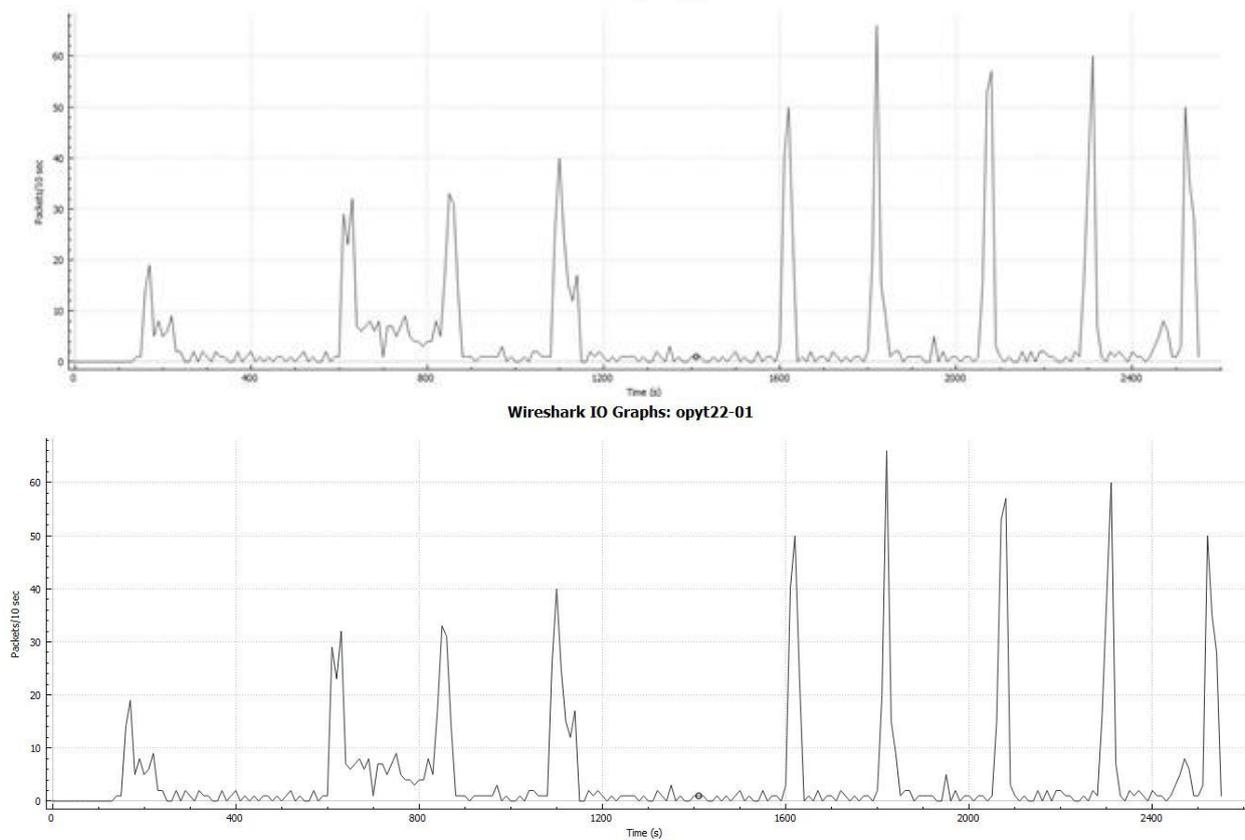


Рис. 17. График зависимости числа отправляемых пакетов от времени (Broadlink)

Для розетки Broadlink на рисунке 17 приведена зависимость числа отправляемых пакетов от времени.

Временные задержки отправляемых розеткой Broadlink пакетов лежат в диапазоне

от 0 до 25 секунд, 60% из которых не превышают 0,5 секунды и 16% составляют от 0,5 до 1 секунды, 12% лежат в диапазоне от 2 до 3,5 секунд.

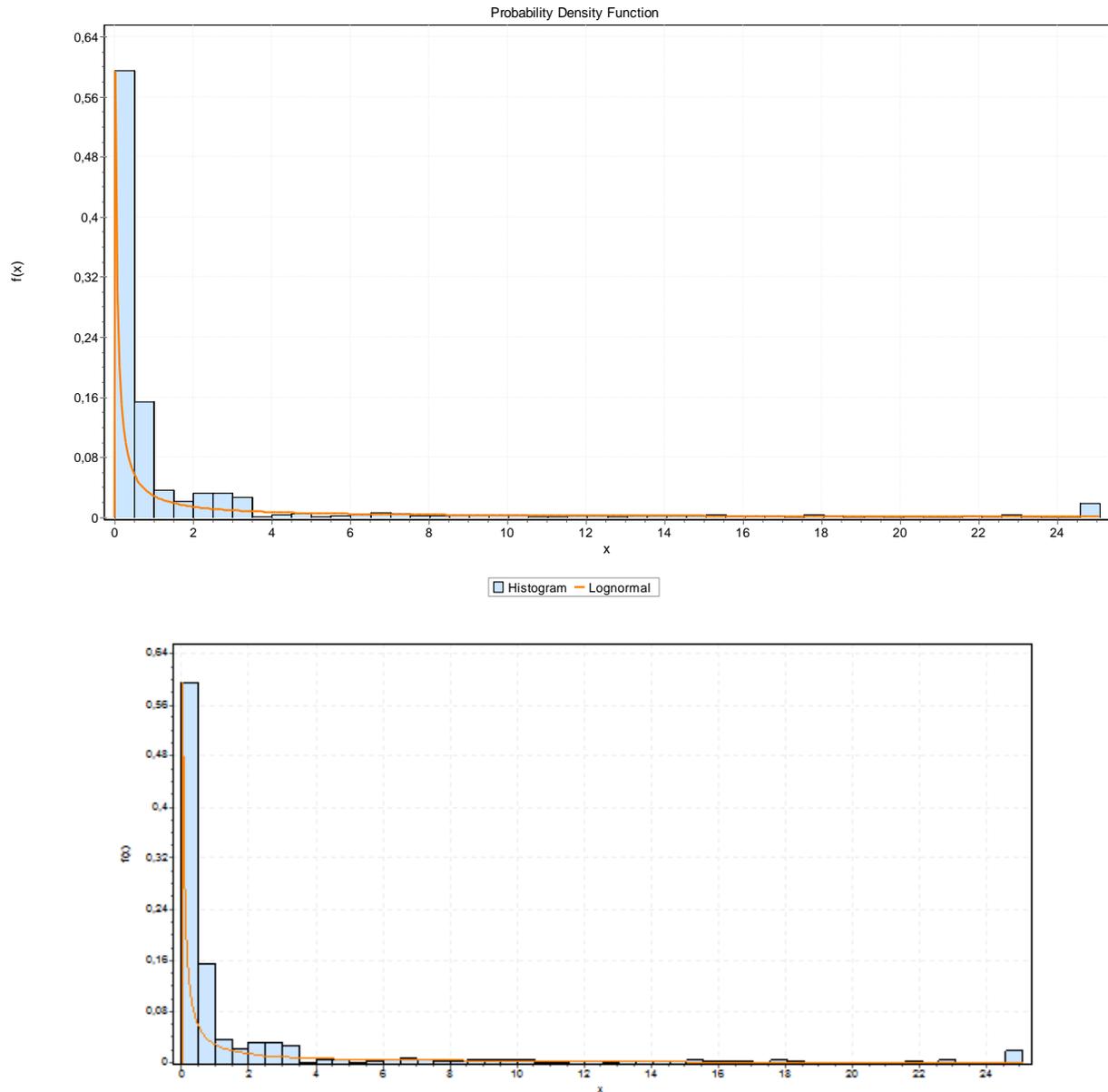


Рис. 18. Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов (Broadlink)

Плотность распределения вероятностей временных задержек отправки пакетов розеткой Broadlink приблизительно можно аппроксимировать функцией логнормального распределения, которая имеет вид:

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{(\ln x) - \mu}{\sigma}\right),$$

где  $\sigma=2,8704$ ;  $\mu=-6,7315$ .

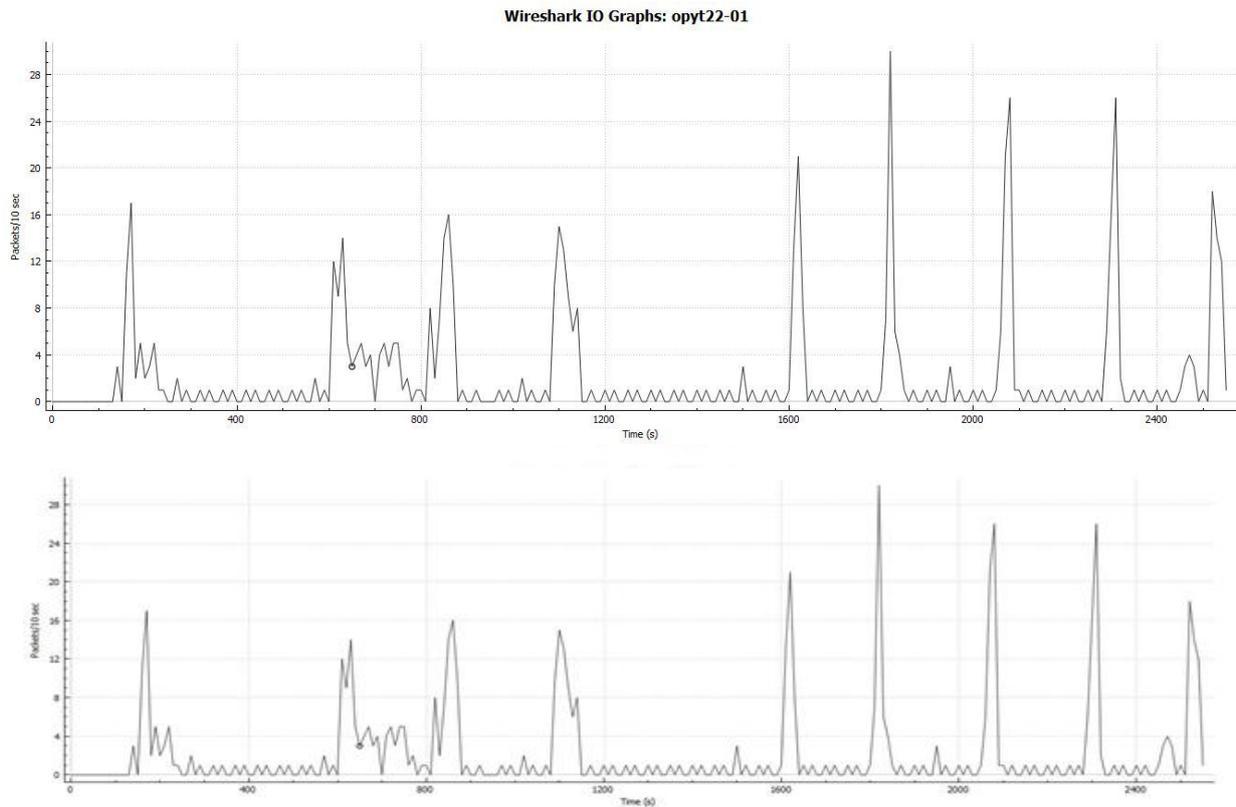
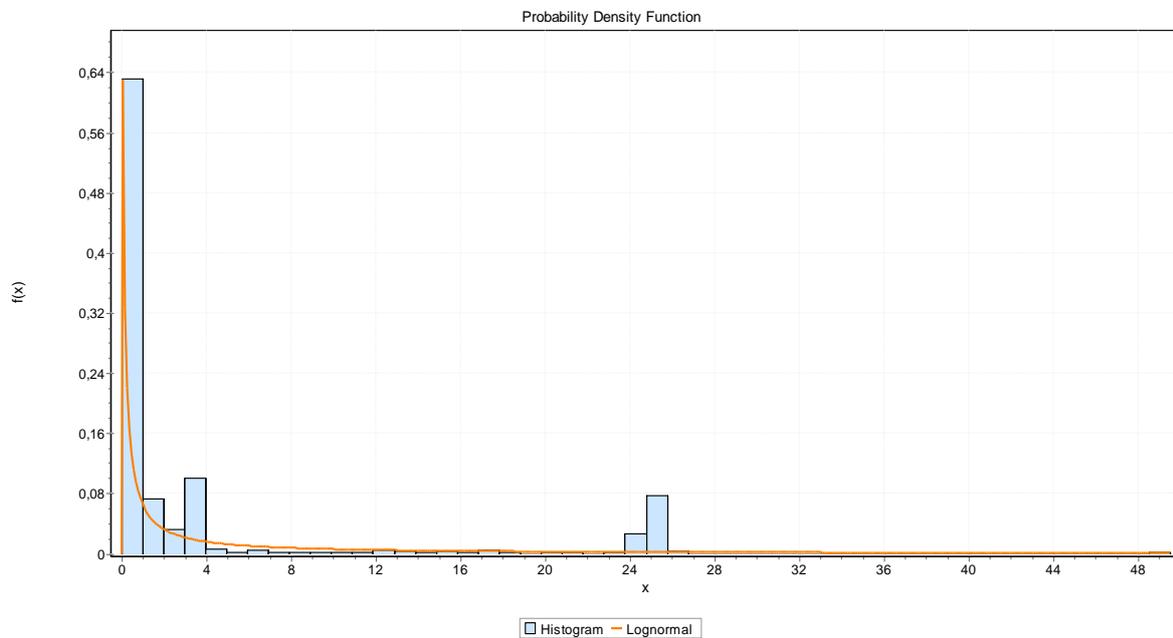


Рис. 19. График зависимости числа получаемых пакетов от времени (Broadlink)



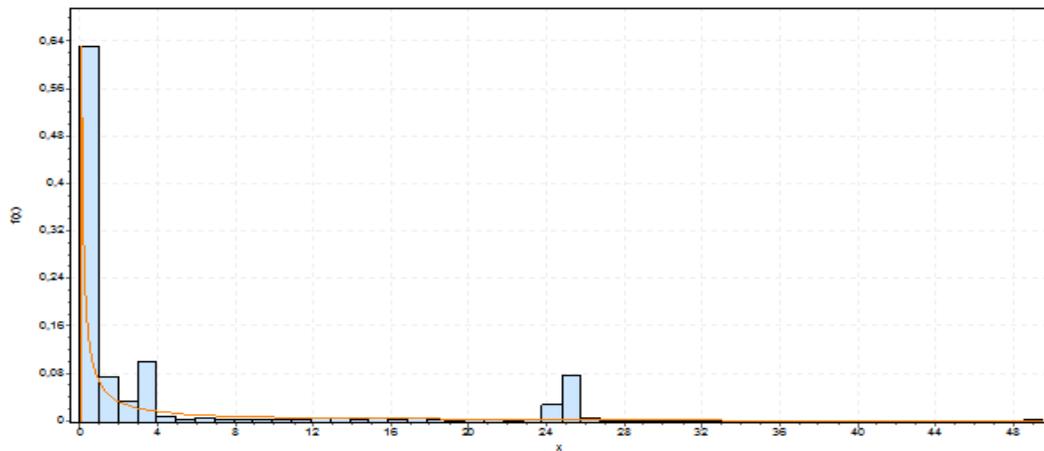


Рис. 20. Плотность распределения вероятностей временных задержек приема пакетов (Broadlink)

Временные задержки принимаемых пакетов лежат в диапазоне от 0 до 44 секунд, 63% из которых не превышают 1 секунды и 23% составляют от 1 до 4 секунд.

Плотность распределения вероятностей временных задержек приема пакетов розеткой Broadlink приблизительно можно аппроксимировать функцией логнормального распределения, которая имеет вид:

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{(\ln x) - \mu}{\sigma}\right),$$

где  $\sigma=2,8704$ ;  $\mu=-5,915$ .

Значения длин пакетов в процентном соотношении представлены в таблице 2.

Таблица 2. Процентное соотношение длин пакетов розетки Broadlink

Размер пакета, бит	Частота появления
148	39,3%
188	13,1%
636	13,1%
204	11,1%
644	9,1%
132	5,5%
124	5,2%
Прочие	3,6%

Данные исследования активного режима работы «умных» устройств представлены в таблице 3.

Розетка Broadlink

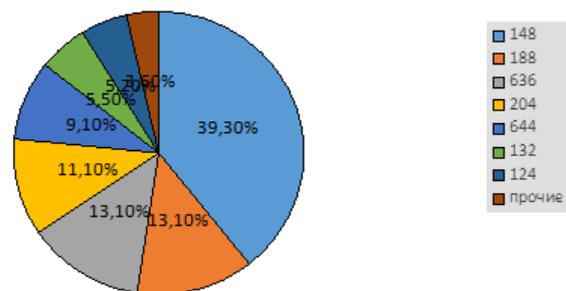


Рис.21. Диаграмма процентного соотношения длин пакетов розетки Broadlink

Таблица 3. Данные исследования активного режима работы «умных» устройств

Активный режим	Xiaomi	Broadlink
Минимальный размер пакета, байт	98	124
Максимальный размер пакета, байт	574	644
Количество пакетов	331525	81888
Время отклика на запрос, с	0,178	0,084
Общий объем переданных данных, байт	111067	493926
Количество запросов	82	327

Отношение общего числа пакетов, генерируемых в фоновом режиме к общему числу пакетов, генерируемых в активном режиме для розетки Xiaomi равно 0,388; для розетки Broadlink – 0,383.

Измерения для обеих розеток проводились на протяжении 42 минут.



В активном режиме количество пакетов, передаваемых розеткой Xiaomi, в 4,049 раз больше количества пакетов, передаваемых розеткой Broadlink. Общий объем переданных розеткой Broadlink данных в 4,447 раз больше аналогичного показателя розетки Xiaomi. Следовательно, нагрузка, оказываемая на сеть розеткой Broadlink, больше нагрузки от розетки Xiaomi.

Число запросов смартфона к розетке Xiaomi в 4 раза меньше аналогичного показателя розетки Broadlink. Среднее время ответа на запрос для розетки Broadlink в 2,1 раза меньше времени ответа на запрос розетки Xiaomi. Отсюда можно сделать вывод, что розетка Broadlink требует постоянного присутствия в сети смартфона, поддерживая связь с ним даже в промежутках времени между запросами. Тем не менее, все поступающие запросы розеткой Broadlink обрабатываются быстрее, что также говорит о наибольшем быстродействии, относительно розетки Xiaomi.

В ходе анализа полученных данных выяснилось, что плотность распределения вероятностей временных задержек как на прием, так и на отправку пакетов для розетки Broadlink может быть приблизительно аппроксимирована (за исключением случая получения пакетов в фоновом режиме работы), т. е. нагрузка на сеть с таким устройством может быть спрогнозирована и, как следствие, реалистично смоделирована. Для устройства компании Xiaomi плотность распределения вероятностей временных задержек на отправку и получение пакетов в активном режиме даже

приблизительно нельзя охарактеризовать некоторой функцией. Вследствие этого целесообразным является дальнейший углубленный анализ с разделением переданных пакетов по длинам и отдельным рассмотрением каждой группы.

### Заключение

Целью данного исследования является получение и сравнительный анализ трафика «умных» устройств, применяемых при построении интеллектуальных систем.

В ходе работы были выявлены существенные различия в основных характеристиках трафика одноплатных устройств разных производителей, что говорит об отсутствии общепринятых норм построения интеллектуальных сетей. Также, устройства в некоторых режимах работы показали невозможность прогнозирования скачков трафика, что существенно усложняет моделирование интеллектуальной системы.

Перспектива дальнейшей работы подразумевает углубленный анализ полученных данных, который даст более полное представление о функционировании рассмотренных устройств. Последнее необходимо для построения имитационной модели сети устройств IoT с последующим усложнением и увеличением количества узлов. Данная модель в последствии может использоваться для исследования влияния трафика IoT-систем на современные сети, т. е. источниками трафика здесь будут выступать целые системы, а не отдельные устройства.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Храмов П. Быть или не быть стандартам Интернета вещей? // Открытые системы. СУБД. 2015. № 2. С. 24-26. URL: <https://www.osp.ru/os/2015/02/13046275/> (дата обращения: 10.02.2018).
- [2] Рекомендация МСЭ-Т Y.2060. Обзор интернета вещей, 2012. 22 с. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11559&lang=ru> (дата обращения: 10.02.2018).
- [3] Ромасевич Е.П., Пасюк А.О. Исследование трафика беспроводных устройств в условиях развития интернета вещей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 1. С. 214-221. URL: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/32> (дата обращения: 10.02.2018).
- [4] Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет вещей. Самара: ПГУТИ, 2015. 200 с. URL: [http://elib.psuti.ru/Roslyakov\\_Vanyashin\\_Grebeshkov\\_Internet\\_veschej.pdf](http://elib.psuti.ru/Roslyakov_Vanyashin_Grebeshkov_Internet_veschej.pdf) (дата обращения: 10.02.2018).
- [5] Ting X. Integration and Evaluation of IoT Hardware and Software Platforms. Mid Sweden University, Faculty of Science, Technology and Media, Department of Information Systems and Technology. 2017. 53 p. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:miun:diva-31190> (дата обращения: 10.02.2018).
- [6] Fremantle P. A Reference Architecture For The Internet Of Things. Version 0.9.0 (October 20, 2015). URL: [https://wso2.com/wso2\\_resources/wso2\\_whitepaper\\_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf](https://wso2.com/wso2_resources/wso2_whitepaper_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf) (дата обращения: 10.02.2018).
- [7] MQTT. URL: <http://mqtt.org> (дата обращения: 10.02.2018).
- [8] Shelby Z., Hartke K., Bormann C. RFC 7252, "The Constrained Application Protocol (CoAP)", June 2014. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252> (дата обращения: 10.02.2018).



- [9] Cisco Delivers Vision of Fog Computing to Accelerate Value from Billions of Connected Devices. January 29, 2014. URL: <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1334100> (дата обращения: 10.02.2018).
- [10] Ромасевич Е.П. О создании и развитии имитационной модели сети «Интернета вещей» // Ученые записки ИСГЗ. 2016. Выпуск № 2(14), Часть I. С. 64-68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26603642> (дата обращения: 10.02.2018).
- [11] Ромасевич Е.П. Исследование влияния передачи трафика IPv6 на работоспособность сети MetroEthernet на основе имитационной модели // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2014. № 10. С. 461-470. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020666> (дата обращения: 10.02.2018).
- [12] Боданов И.А., Кучерявый А.Е. Ложные структуры в Интернете Вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. Вып. 4(12). С. 4-10. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25868410> (дата обращения: 10.02.2018).
- [13] Geniar M. Google's QUIC protocol: moving the web from TCP to UDP. December 4, 2016. URL: <https://ma.ttias.be/googles-quic-protocol-moving-web-tcp-udp/> (дата обращения: 10.02.2018).
- [14] Collina M. Application Platforms for the Internet of Things: Theory, Architecture, Protocols, Data Formats, and Privacy, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Tecnologie dell'informazione, 26 Ciclo. 2014. 128 p. DOI: <https://doi.org/10.6092/unibo/amsdottorato/6251>
- [15] Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges / R. Khan [et al.] // Proceedings of 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2012. Pp. 257-260. DOI: <https://10.1109/FIT.2012.53>
- [16] Хоров Е. Новый Wi-Fi для Интернета вещей (Часть 1). URL: <https://habr.com/post/240201/> (дата обращения: 10.02.2018).
- [17] Бакараева Л. Семейство стандартов IEEE 802.15 Bluetooth (IEEE 802.15.1). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2007. 23 с.
- [18] Legg G. ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks // Electronic Engineering Times. 05.06.2004. URL: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1275760](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1275760) (дата обращения: 10.02.2018).
- [19] Соколов М., Воробьев О. Реализация беспроводных сетей на основе технологии ZigBee стандарта 802.15.4 // Рынок микроэлектроники. URL: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/05\\_02/stat\\_160.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/05_02/stat_160.htm) (дата обращения: 10.02.2018).
- [20] Free Pool of IPv4 Address Space Depleted // The Number Resource Organization. 3 February 2011. URL: <https://www.nro.net/news/ipv4-free-pool-depleted> (дата обращения: 10.02.2018).
- [21] Deering S., Hinden R. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. December 1998. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2460> (дата обращения: 10.02.2018).
- [22] Hui J., Thubert P. Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks. September 2011. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6282> (дата обращения: 10.02.2018).
- [23] Nieminen J., Savolainen T., Isomaki M., Patil B., Shelby Z., Gomez C. Transmission of IPv6 Packets over BLUETOOTH Low Energy draft-ietf-6lowpan-btle-12. February 12, 2013. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6lowpan-btle-12> (дата обращения: 10.02.2018).
- [24] Blockstrand M., Holm T., Kling L-Ö., Skog R., Wallin B. Operator opportunities in the internet of things // Ericsson review. 2011. № 1. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/c27a/6e0d36e636b4904ad78e2136829602b3f150.pdf> (дата обращения: 10.02.2018).
- [25] Масленников К. Объединяя устройства: Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave, ZigBee, Wireless RF // IoT. Приложение к журналу Control Engineering Россия. 2016. № 10. С. 50-51. URL: [http://controleng.ru/wp-content/uploads/IoT\\_50.pdf](http://controleng.ru/wp-content/uploads/IoT_50.pdf) (дата обращения: 10.02.2018).

Поступила 16.12.2017; принята к публикации 10.02.2018; опубликована онлайн 30.03.2018.

## REFERENCES

- [1] Khramtsov P. To be or not to be the standards of the Internet of things? *Open Systems Journal.DBMS*. 2015; 2:24-26. Available at: <https://www.osp.ru/os/2015/02/13046275/> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [2] Recommendation ITU-T Y.2060. Review of the Internet of things, 2012. 22 p. Available at: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11559&lang=ru> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [3] Romasevich E.P., Pasyuk A.O. Research of the traffic of the wireless devices in the growth of the Internet of things. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2016; 12(1):214-221. Available at: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/32> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [4] Roslyakov A.V., Vanyashin S.V., Grebeškov A.Yu. Internet of things. Samara: PGUTI, 2015. 200 p. Available at: [http://elib.psuti.ru/Roslyakov\\_Vanyashin\\_Grebeškov\\_Internet\\_veschej.pdf](http://elib.psuti.ru/Roslyakov_Vanyashin_Grebeškov_Internet_veschej.pdf) (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [5] Ting X. Integration and Evaluation of IoT Hardware and Software Platforms. Mid Sweden University, Faculty of Science, Technology and Media, Department of Information Systems and Technology. 2017. 53 p. Available at: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:miun:diva-31190> (accessed 10.02.2018).
- [6] Fremantle P. A Reference Architecture For The Internet Of Things. Version 0.9.0 (October 20, 2015). Available at: [https://wso2.com/wso2\\_resources/wso2\\_whitepaper\\_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf](https://wso2.com/wso2_resources/wso2_whitepaper_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf) (accessed 10.02.2018).
- [7] MQTT. Available at: <http://mqtt.org> (accessed 10.02.2018).
- [8] Shelby Z., Hartke K., Bormann C. RFC 7252, "The Constrained Application Protocol (CoAP)", June 2014. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252> (accessed 10.02.2018).
- [9] Cisco Delivers Vision of Fog Computing to Accelerate Value from Billions of Connected Devices. January 29, 2014. Available at: <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1334100> (accessed 10.02.2018).
- [10] Romasevich E.P. About creation and development of the simulation model of the "Internet of Things" network. *Scientific notes of*



- ISGP. 2016; 2(14-1):64-68. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26603642> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [11] Romasevich E.P. A study of the impact of IPv6 traffic on the performance of the MetroEthernet network based on a simulation model. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2014; 10:461-470. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020666> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [12] Bogdanov I.A., Kucheryavy A.E. False structures in the Internet of Things. *Telecom IT*. 2015; 4(12):4-10. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25868410> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [13] Geniar M. Google's QUIC protocol: moving the web from TCP to UDP. December 4, 2016. Available at: <https://ma.ttiias.be/google-quick-protocol-moving-web-tcp-udp/> (accessed 10.02.2018).
- [14] Collina M. Application Platforms for the Internet of Things: Theory, Architecture, Protocols, Data Formats, and Privacy, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Tecnologie dell'informazione, 26 Ciclo. 2014. 128 p. DOI: <https://doi.org/10.6092/unibo/amsdottorato/6251>
- [15] Khan R., Khan S.U., Zaheer R., Khan S. Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. *Proceedings of 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2012. p. 257-260. DOI: <https://10.1109/FIT.2012.53>
- [16] Horov E. New Wi-Fi for the Internet of things (Part 1). Available at: <https://habr.com/post/240201/> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [17] Bakaraeva L. The family of standards IEEE 802.15 Bluetooth (IEEE 802.15.1). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2007. 23 p. (In Russian)
- [18] Legg G. ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks. *Electronic Engineering Times*. 05.06.2004. Available at: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1275760](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1275760) (accessed 10.02.2018).
- [19] Sokolov M., Vorobiev O. Implementation of wireless networks based on ZigBee technology standard 802.15.4. Market of microelectronics. Available at: [http://www.compitech.ru/html/cgi/arhiv/05\\_02/stat\\_160.htm](http://www.compitech.ru/html/cgi/arhiv/05_02/stat_160.htm) (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [20] Free Pool of IPv4 Address Space Depleted // The Number Resource Organization. 3 February 2011. Available at: <https://www.nro.net/news/ipv4-free-pool-depleted> (accessed 10.02.2018).
- [21] Deering S., Hinden R. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. December 1998. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc2460> (accessed 10.02.2018).
- [22] Hui J., Thubert P. Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks. September 2011. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc6282> (accessed 10.02.2018).
- [23] Nieminen J., Savolainen T., Isomaki M., Patil B., Shelby Z., Gomez C. Transmission of IPv6 Packets over BLUETOOTH Low Energy draft-ietf-6lowpan-btle-12. February 12, 2013. Available at: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6lowpan-btle-12> (accessed 10.02.2018).
- [24] Blockstrand M., Holm T., Kling L.-Ö., Skog R., Wallin B. Operator opportunities in the internet of things. *Ericsson review*. 2011. № 1. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/c27a/6e0d36e636b4904ad78e2136829602b3f150.pdf> (accessed 10.02.2018).
- [25] Maslennikov K. Uniting devices: Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave, ZigBee, Wireless RF. *IIoT. The appendix to the journal Control Engineering Russia*. 2016; 10:50-51. Available at: [http://controleng.ru/wp-content/uploads/IIoT\\_50.pdf](http://controleng.ru/wp-content/uploads/IIoT_50.pdf) (accessed 10.02.2018). (In Russian)

Submitted 16.12.2017; Revised 10.02.2018; Published 30.03.2018.

### About the authors:

**Ol'ga N. Lodneva**, student, Department of Telecommunication systems, Volgograd State University (100 University Av., Volgograd 400062, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1362-9054>, [olodneva@yandex.ru](mailto:olodneva@yandex.ru)

**Egor P. Romasevich**, postgraduate student, Department of Telecommunication systems, Volgograd State University, (100 University Av., Volgograd 400062, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6511-0778>, [eromasevich2@mail.ru](mailto:eromasevich2@mail.ru)



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License which unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (CC BY 4.0).