



## УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТРАФИКА В СЕТИ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

Р. А. Дунайцев<sup>1\*</sup>, А. И. Парамонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

**Аннотация**—В статье представлены результаты анализа задач мониторинга трафика в сетях высокой плотности, выбора структуры и состава средств мониторинга при натурном и комбинированном моделировании. **Предмет исследования.** Задачи мониторинга трафика сети высокой плотности. **Метод исследования.** Системный анализ и статистический анализ. **Основные результаты.** Выбрана структура устройства мониторинга, сформулированы основные функции мониторинга, в качестве примера описаны результаты мониторинга трафика, полученные в ходе натурального эксперимента. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы в задачах исследования трафика сетей высокой плотности и в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров.

**Ключевые слова**—мониторинг трафика, сеть высокой плотности, моделирование, Интернет вещей, БЛВС.

### Информация о статье

УДК 004.732.

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 29.11.2021, принята к печати 10.12.2021.

**Ссылка для цитирования:** Дунайцев Р. В., Парамонов А. И. Учебный стенд для мониторинга трафика в сети высокой плотности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 3. С. 22–33. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-22-33.



# A SURVEY ON MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOFTWARE-DEFINED NETWORKS

R. Dunaytsev<sup>1\*</sup>, A. Paramonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

**Abstract**—The article presents results of studying the tasks of traffic monitoring in high-density networks, choosing the structure and configuration of monitoring tools for full-scale and combined modeling. **Subject of study.** Tasks of traffic monitoring in high-density networks. **Research method.** System analysis and statistical analysis. **Main results.** The structure of the monitoring device is selected, the main monitoring functions are formulated, as an example, the results of traffic monitoring obtained in the course of a field experiment are described. **Practical significance.** The obtained results can be used for traffic monitoring in high-density networks and integrated to undergraduate or graduate education courses.

**Keywords**—traffic monitoring, high-density network, modeling, Internet of Things, WLAN.

## Article info

Article in Russian.

Received 29.11.2021, accepted 10.12.2021.

**For citation:** Dunaytsev R., Paramonov A.: A Survey on Machine Learning Algorithms for Software-Defined Networks // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 3. pp. 22–33 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-22-33.



## Введение

Развитие сетей связи пятого поколения (5G) направлено на улучшение основных показателей эффективности, производительности и емкости [1, 2]. В частности, перспективные сети должны работать в условиях высокой плотности абонентских устройств. Условия передачи сигналов между узлами сети высокой плотности отличаются высоким уровнем мощности помех, производимых соседними узлами [3], и, как следствие, уменьшением отношения сигнал/шум, что негативно сказывается на качестве функционирования сети в целом. Для борьбы с такими отрицательными явлениями используются различные методы, обеспечивающие уменьшение мощности помех от соседних узлов (внутриканальных помех). Как правило, это частотно-территориальное планирование, управление мощностью передатчиков, доступом к каналу связи и направленностью антенн. В беспроводных локальных вычислительных сетях (БЛВС), использующих стандарты семейства IEEE 802.11, наряду с внутриканальными помехами возможны и межканальные помехи [4, 5], обусловленные особенностями канального деления, принятого в данном стандарте. Комплексное использование перечисленных методов дает возможность повысить как эффективность использования радиочастотного ресурса, так и всей сети.

Использование БЛВС как составной части сети 5G расширяет возможности сети в целом и повышает ее эффективность. В сетях 5G планируется широко использовать стандарты семейства IEEE 802.11 для организации прямых соединений между терминалами, а также для соединений с узлами сети Интернета вещей.

Задача обеспечения эффективности функционирования БЛВС в условиях высокой плотности узлов является актуальной для построения как перспективных гетерогенных, так и для локальных сетей высокой плотности, в том числе состоящих из интернет-вещей. Важнейшим методом исследований в данной области являются натурные эксперименты, проводимые в условиях, близких к реальным. При проведении натурных экспериментов возникает необходимость решения ряда задач, связанных с анализом процессов передачи данных между узлами сети. Применение стандартных средств измерений в таких случаях не дает возможности достаточно точно оценить параметры функционирования сети, например, такие как параметры принимаемых сигналов от узлов сети, интенсивность кадров, производимых узлами сети, наблюдаемых в некоторой области пространства и т. д.

Для решения подобных задач в рамках БЛВС часто используется проприетарное программное обеспечение (ПО) и специализированные технические средства, позволяющие производить мониторинг среды распространения (т. н. снифферы) [6]. Стоит отметить, что на рынке существуют производители ПО, позволяющего частично решать данные задачи<sup>1</sup>. Упомянутое ПО позволяет производить захват передаваемых кадров и осуществлять достаточно подробный анализ функционирования сетей. Однако его применение не всегда удобно.

<sup>1</sup> TamoSoft. URL: <https://www.tamos.com/>



Во-первых, оно довольно дорогое и его закупка для исследовательских и образовательных целей не всегда оправдана. Во-вторых, данное ПО требует использования персонального компьютера или ноутбука, что не всегда удобно из-за значительного энергопотребления. В-третьих, для анализа трафика снифферы производят захват и сохранение кадров, что требует значительного объема памяти и высокого быстродействия используемого компьютера. В результате выборка захваченных кадров, как правило, оказывается жестко ограниченной.

В данной работе предлагается техническое решение задачи мониторинга трафика с использованием доступных компонентов, позволяющее разработать мобильное средство мониторинга, имеющее низкое энергопотребление и позволяющее реализовать функции сбора статистической информации о трафике.

### Постановка задачи

Целью работы является решение задачи мониторинга трафика БЛВС методом наблюдения за передаваемыми кадрами. Наблюдение за трафиком предполагает получение информации о процессе передачи данных между узлами сети. Поскольку передача осуществляется в единой среде распространения сигналов, то данная функция реализуется с помощью приема передаваемых сигналов в любой точке зоны обслуживания сети. Разумеется, такая функциональность может рассматриваться лишь как гипотетическая, поскольку невозможно обеспечить регистрацию сигналов в бесконечном количестве точек зоны обслуживания. Для практического решения данной задачи возможно реализовать подобную функциональность в выбранном числе точек зоны обслуживания сети. Для этой цели нужно использовать программно-аппаратное устройство, реализующее функции приема, логической обработки и хранения данных, также позволяющее экспортировать собранные данные для дальнейшей статистической обработки. Отметим, что использование специализированных и проприетарных средств для решения данной задачи может оказаться наиболее простым и позволяющим получить точные результаты. Однако функциональность таких продуктов направлена на решение определенных задач. Для исследовательских целей желательно иметь более гибкий инструмент, позволяющий решать широкий круг возникающих в ходе исследования задач. В дополнение к сказанному отметим, что применение средств мониторинга предполагается не только в целях проведения исследовательских работ, но и в образовательном процессе, направленном на формирование навыков построения систем связи, и самостоятельного решения научно-исследовательских задач бакалаврами и магистрантами университета.

С учетом вышеизложенного будут рассмотрены следующие возможные варианты реализации такого устройства:

- программно-определяемое радио (*Software-Defined Radio, SDR*)<sup>2</sup>;
- ноутбук или компьютер со встроенным или внешним адаптером IEEE 802.11 и соответствующим ПО;
- модуль Интернета вещей (*Internet of Things, IoT*).

<sup>2</sup> List of software-defined radios. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_software-defined\\_radios#cite\\_note-crosscountrywireless2-24](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software-defined_radios#cite_note-crosscountrywireless2-24)



Все перечисленные варианты позволяют решать задачи мониторинга в определенной точке зоны обслуживания сети.

На первый взгляд использование SDR представляется наиболее гибким и привлекательным решением, достоинствами которого являются:

- возможность реализации любого стандарта сети, что является крайне важным в обеспечении необходимой гибкости;
- возможность анализа использования радиочастотного спектра и других характеристик функционирования сети связи, для чего требуется разработка собственного ПО;
- возможность использования устройства в образовательном процессе для развития компетенций в различных областях построения систем и сетей связи, в зависимости от специальностей и образовательных программ.

К недостаткам использования SDR относятся:

- относительно высокая стоимость готовых устройств, позволяющих реализовывать необходимые функции с учетом радиочастотных диапазонов и параметров используемых стандартов связи;
- относительно высокое потребление электроэнергии, что обусловлено применением быстродействующей элементной базы, а также необходимость использования совместно с вычислительным устройством (ноутбуком или компьютером).

Использование ноутбука или компьютера со встроенным или внешним адаптером IEEE 802.11 и соответствующим ПО дает возможность реализации мониторинга при минимальных трудозатратах. В данном варианте реализации используется максимум готовых решений, трудозатраты определяются только процессом статистической обработки данных.

Достоинства данного варианта являются:

- минимум трудозатрат на реализацию;
- наличие встроенных средств обработки и представления результатов;
- относительно невысокая стоимость.

К недостаткам же следует отнести:

- ограниченный набор поддерживаемых стандартов семейства IEEE 802.11 без возможности добавления новых;
- невозможность изменения функциональности ПО;
- относительно высокое энергопотребление и, как следствие, ограниченное время автономной работы;
- ограниченная возможность использования устройств в образовательном процессе из-за высокой стоимости лицензий на коммерческое ПО для захвата трафика.

Использование модулей Интернета вещей позволяет создать устройство с требуемым набором функций. Как показала практика использования таких модулей, их функциональность обеспечивает реализацию значительного круга задач в части получения статистических данных о трафике. Необходимая функциональность обеспечивается разработкой собственного ПО. Также достаточно легко достигается сравнительно низкое энергопотребление и длительное время автономной работы.



К достоинствам такого решения следует отнести следующее:

- невысокая стоимость (в сравнении с первым и вторым вариантами);
- относительно широкая функциональность, определяемая при разработке соответствующего ПО;
- низкое энергопотребление, что означает длительную автономную работу и мобильность;
- возможность обеспечить необходимое количество устройств для использования в образовательном процессе.

Недостатками данного варианта являются:

- ограниченный набор поддерживаемых стандартов семейства IEEE 802.11 без возможности добавления новых;
- трудоемкость реализации (в сравнении со вторым вариантом).

На рис. 1 (см. ниже) приведена диаграмма, отражающая основные качественные показатели трех рассмотренных решений: функциональность, простота использования, энергопотребление, мобильность, трудоемкость и стоимость. За 100 % выбрано наилучшее значение, достижимое в каком-либо из рассматриваемых вариантов реализации. Там же приведена диаграмма для комплексного решения. Такое решение предполагает использование всех трех способов мониторинга. Как было отмечено выше, они взаимно дополняют друг друга, поэтому их совместное использование позволяет получить наиболее сбалансированное решение. Такое решение можно принять за целевое, т. е. в наибольшей степени обеспечивающее выполнение поставленных задач. Однако, если рассматривать все описанные решения по отдельности, то наиболее близким к комплексному оказывается использование модулей Интернета вещей. В рамках данной работы будем рассматривать именно это решение как наиболее доступное и обеспечивающее максимум требований к устройству мониторинга трафика.

Определим основные функции, которые необходимо реализовать.

1. Функции мониторинга, обеспечивающие регистрацию параметров трафика. Набор этих функций зависит от возможностей базовых элементов устройства и определяет набор режимов работы, а также перечень регистрируемых данных.

2. Функции интерфейса с пользователем, позволяющие выбирать режимы работы устройства, наблюдать за состоянием процесса мониторинга, выполнять операции по изменению ПО.

Полагаем, что идеальная система мониторинга сети обеспечивает регистрацию любой активности любого из узлов (точек доступа или подключаемых устройств) в любой точке зоны обслуживания сети. При регистрации фиксируются необходимые данные о передаваемых кадрах.

Функции мониторинга должны обеспечивать следующие возможности.

1. Регистрация данных об интенсивности кадров. Подсчет количества принятых устройством мониторинга кадров за некоторый интервал времени (например, за секунду) в течение достаточно длительного периода измерений (например, в течение суток). Данная функция предполагает также регистрацию количества данных в наблюдаемых кадрах. Для реализации функции производится анализ заголовков кадров без сохранения их содержимого. Это позволяет выполнять необходимые операции «на лету» без накопления кадров в памяти.





Данные о количестве кадров и их размере сохраняются в энергонезависимой памяти.

2. Регистрация данных об интервалах времени между моментами получения кадров. Этот параметр имеет существенное значение для описания свойств потока трафика как случайного процесса. Для исследования вероятностных свойств потока необходимо описать распределение этой случайной величины. Реализовать данную функциональность доступными средствами мониторинга бывает достаточно сложно, так как при использовании существующих программ для мониторинга трафика производится регистрация кадров, что требует значительных вычислительных ресурсов и приводит к ограничению размера выборки. В целях исследования трафика целесообразно регистрировать только данные, необходимые для описания распределения изучаемой случайной величины. Это позволит снять ограничения на размер выборки.

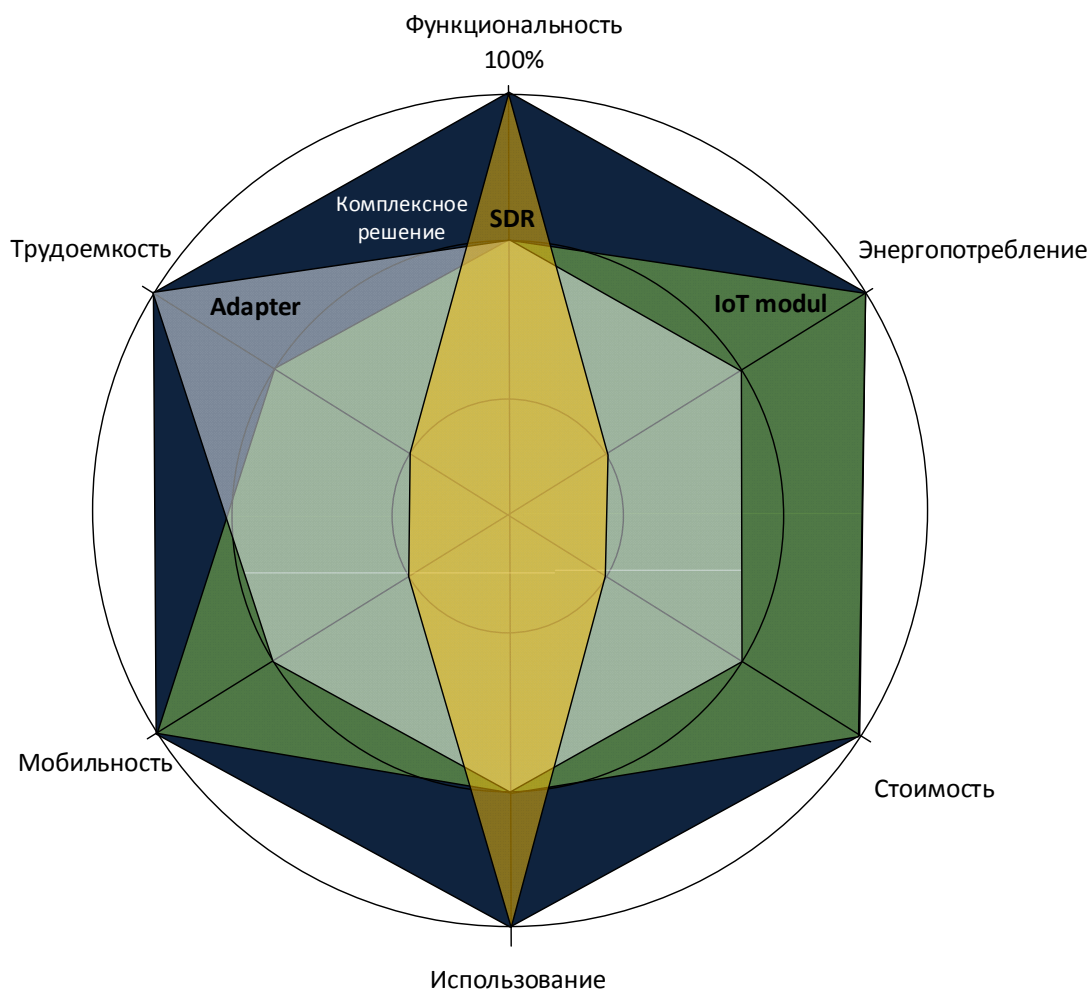


Рис. 1. Сравнение вариантов реализации устройства мониторинга трафика

3. Регистрация данных о размере кадра также является основным параметром трафика и для его оценки также необходимо описать распределение случайной величины. Для реализации указанной функции предполагается использовать подход, аналогичный описанному выше, т. е. регистрировать только данные, необходимые для оценки функции распределения.



4. Возможность селективной регистрации данных. Данная функция предполагает возможность предварительного сравнения получаемых данных с некоторым заданным шаблоном и принятия решения об их регистрации по результатам этого сравнения. Например, регистрация кадров, передаваемых или принимаемых только определенной точкой доступа.

Функции интерфейса с пользователем должны обеспечивать выбор режима работы и значений используемых параметров. Должна быть предусмотрена возможность сохранения регистрируемых данных мониторинга в энергонезависимой памяти с возможностью их переноса на средства обработки. Также должна быть предусмотрена возможность модификации ПО с целью изменения его функциональности, а также в образовательных целях.

### Выбор структуры средства мониторинга трафика

Для мониторинга трафика предлагается реализовать модульное устройство, способное обеспечить автономное функционирование в течение достаточно длительного времени. Данное устройство предназначено для решения задачи автономного мониторинга трафика с последующей обработкой данных на персональном компьютере, т. е. оно является основной составной частью комплекса аппаратных и программных средств мониторинга трафика. Таким образом, в состав комплекса мониторинга входят: устройство мониторинга, персональный компьютер или смартфон (планшетный компьютер).

Структура устройства мониторинга определяется основной функциональностью, которая состоит в необходимости доступа к радиоканалу, возможности сохранения и переноса данных, возможностью привязки данных ко времени и обеспечению автономной работы. Для построения такого устройства выбраны широко распространенные и доступные модули IoT. Предлагаемая структура приведена на рис. 2.

В частности, устройство мониторинга может быть реализовано на базе микроконтроллера ESP8266<sup>3,4</sup>, включающего в себя трансивер стандарта IEEE 802.11, контроллер общего назначения и USB интерфейс

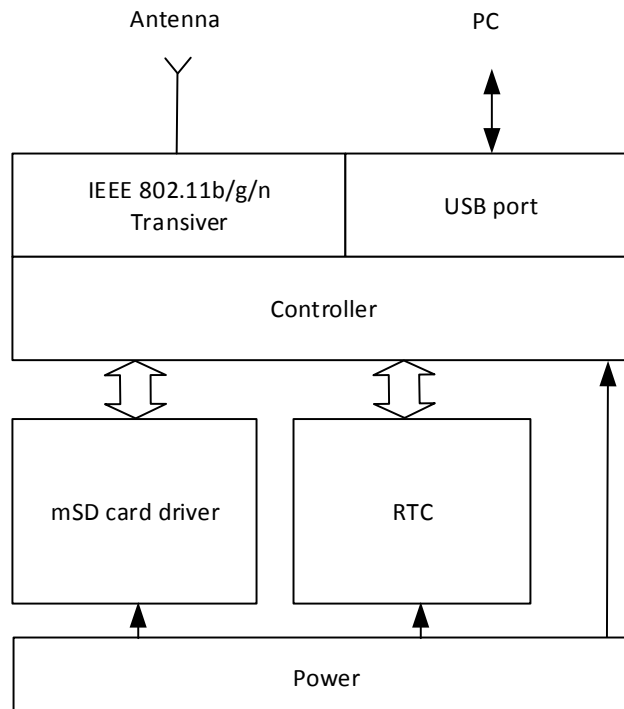


Рис. 2. Структура устройства мониторинга трафика

<sup>3</sup> Espressif. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

<sup>4</sup> Espressif SDKs & Demos. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>





для взаимодействия с терминалом или вычислительным устройством, контроллер SD карты, энергонезависимые часы, элемент питания. В данной конфигурации устройство позволяет реализовать непрерывный режим работы контроллера радиоканала с фиксацией результатов мониторинга в энергонезависимой памяти SD карты, отсчет текущего времени и автономное питание от батареи. Суммарная потребляемая мощность устройства составляет около 0,5 Вт. Это позволяет размещать устройство в произвольно выбранном месте на достаточно продолжительное время или использовать его как носимое устройство.

ПО устройства разрабатывается в среде программирования Arduino или ESP. Реализованные функции позволяют выполнять:

1. Мониторинг перечня доступных БЛВС – непрерывное периодическое сканирование и сохранение данных о доступных сетях (точках доступа).

2. Мониторинг трафика – периодическое сканирование каналов и сохранение данных о количестве зарегистрированных кадров, объеме переданных данных, интервалах времени между кадрами, среднем размере кадра для каждого из каналов.

3. Мониторинг трафика выбранной точки доступа – регистрация данных о количестве передаваемых и принимаемых точкой доступа кадров, их размере и интервалах времени между кадрами.

Этот набор функций позволяет получать достаточно подробные данные, на основе которых можно строить модели трафика и делать выводы о степени загруженности среды распространения в произвольной точке зоны обслуживания сети.

Примеры результатов анализа данных, полученных с помощью устройства мониторинга приведены на рис. 3–5.

На рис. 3 приведен пример подсчета количества точек доступа (БЛВС) в зоне приема в течение периода мониторинга. В данном эксперименте устройство перемещалось со скоростью пешехода.

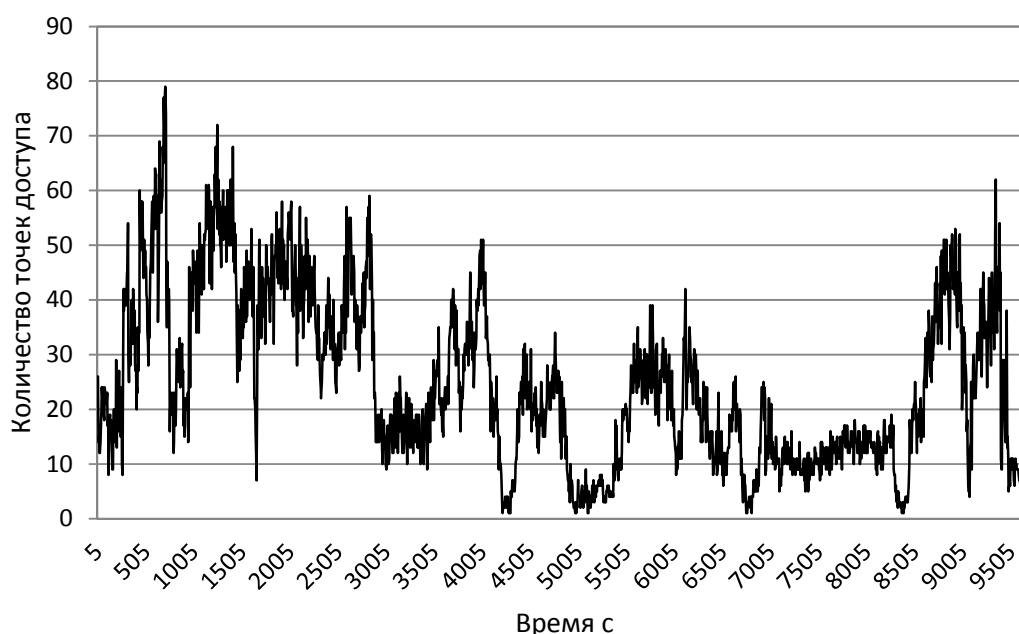


Рис. 3. Изменение количества точек доступа в зоне приема



Пример демонстрирует количество потенциальных пользователей БЛВС на исследуемой территории при перемещении по ней в течение 2,5 часов. Подобное наблюдение может проводиться в целях исследования использования корпоративных и домашних сетей на заданной территории, например, в жилых кварталах различных районов города, многоэтажных зданиях, местах размещения публичных точек доступа и т. д.

На рис. 4 приведена гистограмма, иллюстрирующая среднюю интенсивность кадров (пактов) за время мониторинга на различных каналах диапазона 2,4 ГГц. Этот пример демонстрирует степень использования частотных каналов данного диапазона в рассматриваемой зоне. Данный результат характерен для корпоративных БЛВС, где чаще всего выбираются непересекающиеся каналы (1, 6 и 11).

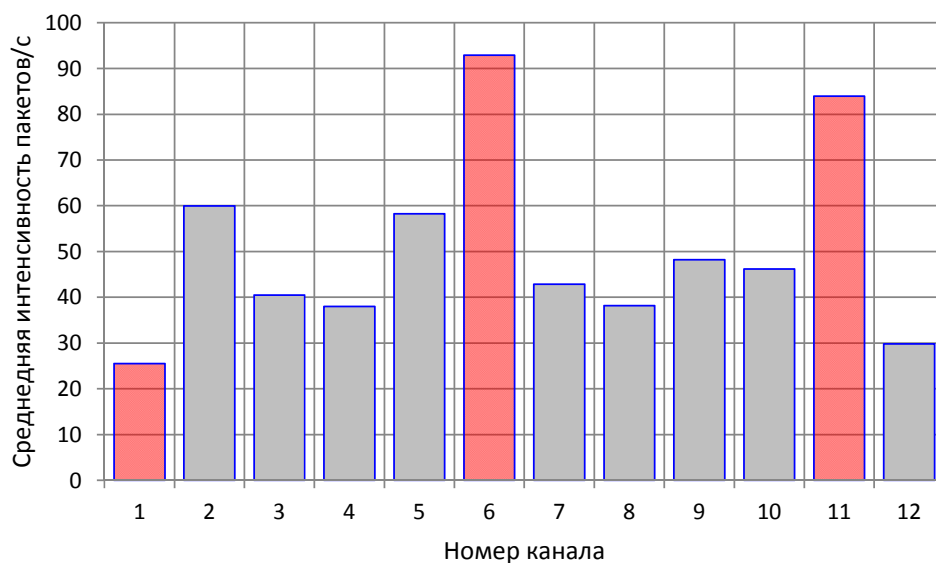


Рис. 4. Распределение интенсивности приема кадров по каналам диапазона 2,4 ГГц

На рис. 5 приведено распределение интенсивности трафика за время мониторинга.

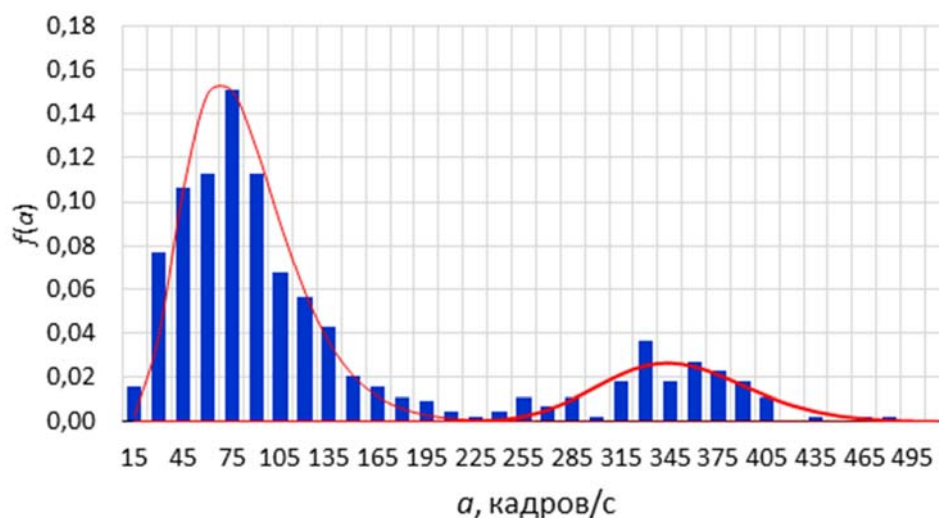


Рис. 5. Распределение интенсивности трафика



Приведенные примеры характеризуют использование БЛВС на достаточно большой территории. Подобным образом могут быть получены и исходные данные для анализа трафика в конкретных местах или для заданных точек доступа, в том числе и для сетей с высокой плотностью пользователей.

В рамках проведения лабораторных исследований устройство мониторинга может быть использовано совместно с элементами моделирования сети высокой плотности [6]: модулями генераторов трафика, имитаторами шлюзов и т. д. Получаемые с его помощью данные позволяют описать модель трафика в беспроводной сети высокой плотности и могут быть использованы в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров.

### Выводы

Анализ задач исследования трафика сетей высокой плотности и технических средств, которые могут быть использованы для решения подобных задач, показал, что функции мониторинга трафика могут быть реализованы либо на базе программно-определяемого радио (SDR), либо в виде ноутбука с адаптером и коммерческим ПО. Однако стоимость готовых решений на основе первого варианта в настоящее время достаточно высока, а второй вариант не обеспечивает необходимой гибкости. При этом те же функции могут быть реализованы на базе доступных модулей Интернета вещей (IoT). Реализация заключается в выборе необходимых модулей и разработке соответствующего ПО, что может быть выполнено в ходе образовательного процесса. Это обеспечивает возможность решения задачи мониторинга трафика для лабораторного исследования элементов сетей высокой плотности относительно дешевыми средствами, причем большинство задач могут быть выполнены в ходе учебного процесса. С учетом вышеизложенного было создано устройство мониторинга, что показало возможность реализации описанных выше функций. Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе при изучении беспроводных сетей высокой плотности и моделировании трафика.

*Исследование выполнено в рамках исполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2021 год.*

### Литература

1. Кучерявый А. Е., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Дунайцев Р. А., Пирмагомедов Р. Я., Бородин А. С., Владыко А. Г., Мутханна А. С. А., Выборнова А. И., Владимиров С. С., Гришин И. В. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021–2024 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 3. С. 1–19. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-1-19.
2. Кашкаров Д. В., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Модель и метод использования множественных связей для реализации сверхнадежных соединений в сети 5G // Электросвязь. 2021. № 8. С. 16–22. DOI 10.34832/ELSV.2021.21.8.001.
3. Тонких Е. В., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Анализ беспроводной сети интернета вещей высокой плотности // Электросвязь. 2020. № 1. С. 44–48. DOI 10.34832/ELSV.2020.2.1.006.
4. Викулов А. С., Парамонов А. И. Оценка эффектов межканальных помех в сетях IEEE 802.11 для различных антенных конфигураций в задаче радиопокрытия промышленных объектов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 3 (39). С. 15–26.



5. Викулов А. С., Парамонов А. И. Исследование модели межканальной интерференции в сетях IEEE 802.11 для оценки пропускной способности // Труды учебных заведений связи. 2019. Том 5. № 2. С. 43–48. DOI 10.31854/1813-324X-2019-5-2-43-48.

6. Марочкина А. В., Парамонов А. И. Комплекс средств натурального моделирования сети Интернета Вещей высокой плотности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 2. С. 40–54. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-40-54.

## References

1. Koucheryavy A., Kirichek R., Makolkina M., Paramonov A., Dunaytsev R., Pirmagomedov R., Borodin A., Vladyko A., Muthanna A., Vybornova A., Vladimirov S., Grishin I.: Novel Prospects of Scientific Research in the Field of Telecommunications Networks for the 2021–2024 Years // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 3. pp. 1–19 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-1-19.

2. Kashkarov D., Paramonov A., Koucheryavy A.: A Model and Method of Multi-Connectivity for Ultra-Reliable 5G Connections // Electrosvyaz. 2021. No. 8. pp. 16–22 (in Russian). DOI 10.34832/ELSV.2021.21.8.001.

3. Tonkikh E., Paramonov A., Koucheryavy A.: Analysis of Wireless High-Density IoT Network // Electrosvyaz. 2020. No. 1. pp. 44–48 (in Russian). DOI 10.34832/ELSV.2020.2.1.006.

4. Vikulov A., Paramonov A.: Evaluation of Interchannel Interference Effects in IEEE 802.11 Networks for Various Antenna Configurations for the Task of Radio Coverage of Industrial Facilities // Radio and Telecommunications Systems. 2020. No. 3(39). pp. 15–26 (in Russian).

5. Vikulov A., Paramonov A.: Adjacent Channel Interference Model Analysis for Throughput Estimation of the IEEE 802.11 Networks // Proceedings of Telecommunication Universities. 2019. Vol. 5. Iss. 2. pp. 43–48 (in Russian). DOI 10.31854/1813-324X-2019-5-2-43-48.

6. Marochkina A., Paramonov A.: Complex of Equipment for High Density IoT Full-Scale Modeling // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 2. pp. 40–54 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-40-54.

### **Дунайцев Роман Альбертович**

кандидат технических наук, PhD, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

### **Dunaytsev Roman A.**

Candidate of Engineering Sciences, PhD, Associate Professor at the Department, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

### **Парамонов Александр Иванович**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [alex-in-spb@yandex.ru](mailto:alex-in-spb@yandex.ru)

### **Paramonov Alexander I.**

Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor at the Department, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [alex-in-spb@yandex.ru](mailto:alex-in-spb@yandex.ru)