

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ WI-FI НА УЛИЦЕ И ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Н. А. Лебедева, О. В. Олейникова, Р. А. Дунайцев\*

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

**Предмет исследования.** В статье рассматриваются особенности работы сетей Wi-Fi на улице и внутри помещений. **Метод.** В работе использованы методы эмпирического исследования: измерение, эксперимент и сравнение. **Основные результаты.** В первой части исследования приводятся экспериментальные данные по загрузенности радиочастотного спектра по периметру и во дворе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций. Вторая часть исследования посвящена сравнению работы сетей Wi-Fi на улице и внутри помещений. Проводится анализ эффективной скорости передачи кадров, коэффициента повторных передач при использовании диапазонов 2,4 и 5 ГГц, а также среднего уровня шума в радиоканалах. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы как для планирования новых, так и для оптимизации действующих уличных сетей Wi-Fi.

## Ключевые слова

IEEE 802.11, беспроводная локальная сеть, уличная сеть Wi-Fi.

## Информация о статье

УДК 004.732

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 17.11.2019, принята к печати 30.12.2019.

**Ссылка для цитирования:** Лебедева Н. А., Олейникова О. В., Дунайцев Р. А. Исследование особенностей работы Wi-Fi на улице и внутри помещений // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 2. С. 34–45. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-34-45.

# ON THE PERFORMANCE OF OUTDOOR AND INDOOR WI-FI NETWORKS

N. Lebedeva, O. Oleynikova, R. Dunaytsev\*

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: roman.dunaytsev@spbgut.ru

**Abstract**—Today, Wi-Fi networks can be found almost everywhere: in homes, businesses, hotels, restaurants, transportation, streets, etc. **Research subject.** In this study, we analyze the performance of outdoor and indoor wireless local area networks. **Method.** To achieve this goal, the following empirical research methods were used: measurement, experiment, and comparison. **Core results.** In the first part of the study, experimental data on radio frequency spectrum usage around and inside St. Petersburg State University of Telecommunications are provided. The second part of the study is devoted to the peculiarities of outdoor and indoor Wi-Fi. The effective data rate, retry rate, and noise floor are compared for the 2.4 and 5 GHz frequency bands. **Practical relevance.** The obtained results can be used for design and optimization of outdoor Wi-Fi networks.

**Keywords**—IEEE 802.11, WLAN, outdoor Wi-Fi network.

## Article info

Article in Russian.

Received 17.11.2019, accepted 30.12.2019.

**For citation:** Lebedeva N., Oleynikova O., Dunaytsev R. On the Performance of Outdoor and Indoor Wi-Fi Networks // Telecom IT. 2019. Vol. 7. Iss. 2. pp. 34-45 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-34-45.

## Введение

Беспроводные локальные сети стандарта IEEE 802.11<sup>1</sup>, также известные как Wi-Fi, уже давно стали неотъемлемым элементом нашей жизни. Сети Wi-Fi можно встретить практически повсюду: в жилом доме и торговом комплексе, на территории университетов и общежитий, в цеху и общественном транспорте<sup>2</sup>. Обычно технология Wi-Fi применяется для организации связи внутри помещений (*indoor* Wi-Fi) или для создания беспроводных каналов по методу «точка-точка» (*point-to-point*, PtP) или «точка-многоточка» (*point-to-multipoint*, PtMP). Однако в последние годы набирает популярность использование данной технологии и для построения уличных сетей (*outdoor* Wi-Fi). Примером таких сетей являются муниципальные беспроводные сети, функционирующие во многих

<sup>1</sup> IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012) – IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications // IEEE. December 14, 2016.

<sup>2</sup> Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017-2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>

крупных городах разных стран [1]. Не стала здесь исключением и Россия. В Москве работы над проектом «Городской Wi-Fi» начались в 2012 году<sup>3</sup>. На сегодняшний день внутри третьего транспортного кольца, а также в 40 столичных парках установлено в общей сложности 4282 точки доступа (ТД)<sup>4</sup>. В Санкт-Петербурге развитие городской сети Wi-Fi тоже идет быстрыми темпами, хотя и с некоторым отставанием от столицы<sup>5</sup>. В настоящее время городская сеть Wi-Fi доступна в Центральном, Петроградском и Василеостровском районах<sup>6</sup> [2].

В данной работе рассматриваются особенности работы сетей Wi-Fi на улице и внутри помещений. В первой части исследования приводятся экспериментальные данные по загруженности радиочастотного спектра по периметру и во дворе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций (СПбГУТ). Вторая часть исследования посвящена сравнению работы сетей Wi-Fi на улице и внутри помещений. Проводится анализ эффективной скорости передачи кадров и коэффициента повторных передач при использовании диапазонов 2,4 и 5 ГГц, а также среднего уровня шума в радиоканалах.

### Особенности работы Wi-Fi на улице и внутри помещений

На распространение радиосигнала влияет целый ряд физических факторов [3]: поглощение (*absorption*), отражение (*reflection*), рассеяние (*scattering*), преломление (*refraction*), дифракция (*diffraction*), многолучевое распространение (*multipath*) и т. д. Внутри помещений основное воздействие на распространение радиосигналов оказывают препятствия в виде стен, перекрытий и т. п. Для сети Wi-Fi, развернутой в городском парке или на придомовой территории, также следует учитывать влияние зеленых насаждений в виде деревьев и кустарников [4]. Дополнительное затухание сигнала после прохождения через зеленые насаждения в основном обусловлено эффектом рассеяния. Рассеяние возникает в результате столкновения фронта радиоволны с объектами, размеры которых соизмеримы с длиной волны (что составляет примерно 12,5 и 6 см для диапазона 2,4 и 5 ГГц, соответственно). Однако ослабление сигнала – не единственная проблема в работе уличных сетей Wi-Fi. Помимо уровня принимаемого сигнала, большое значение имеет и уровень шума в радиоканале, а также их соотношение (*signal-to-noise ratio*, SNR). Все вместе это определяет используемую для передачи кадров схему модуляции и кодирования (*modulation and coding scheme*, MCS)<sup>7</sup>, коэффициент повторных передач кадров из-за ошибок в процессе приема и декодирования, задержку в доставке данных и, в конечном итоге, пропускную способность радиоканала, а также стабильность его работы. В то время как встроенный или внешний Wi-Fi адаптер позво-

<sup>3</sup> Мегполис онлайн: беспроводной интернет в Москве и других больших городах мира [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/14867073/>

<sup>4</sup> Городская сеть Wi-Fi [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/city/projects/wi-fi/>

<sup>5</sup> В Санкт-Петербурге запущена бесплатная городская Wi-Fi-сеть [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enforta.ru/about/news/v-sankt-peterburge-zapushcena-besplatnaya-gorodskaya-wi-fi-set.html>

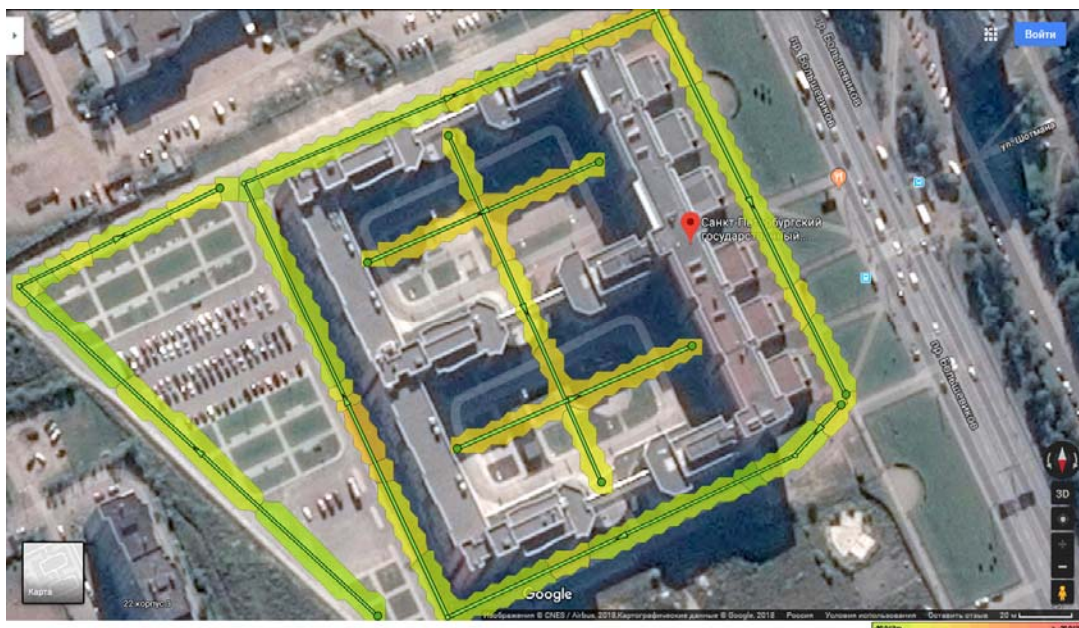
<sup>6</sup> Бесплатные зоны Wi-Fi в общественных местах в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. URL: [http://data.gov.spb.ru/opendata/7825457753-free\\_wi-fi/](http://data.gov.spb.ru/opendata/7825457753-free_wi-fi/)

<sup>7</sup> Wi-Fi SNR to MCS Data Rate Mapping Reference. URL: <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2014/09/wi-fi-snr-to-mcs-data-rate-mapping.html>

ляет легко измерить уровень принимаемого сигнала, для измерения уровня шума, а также для обнаружения и распознавания источников помех в диапазоне работы Wi-Fi, необходим анализатор спектра.

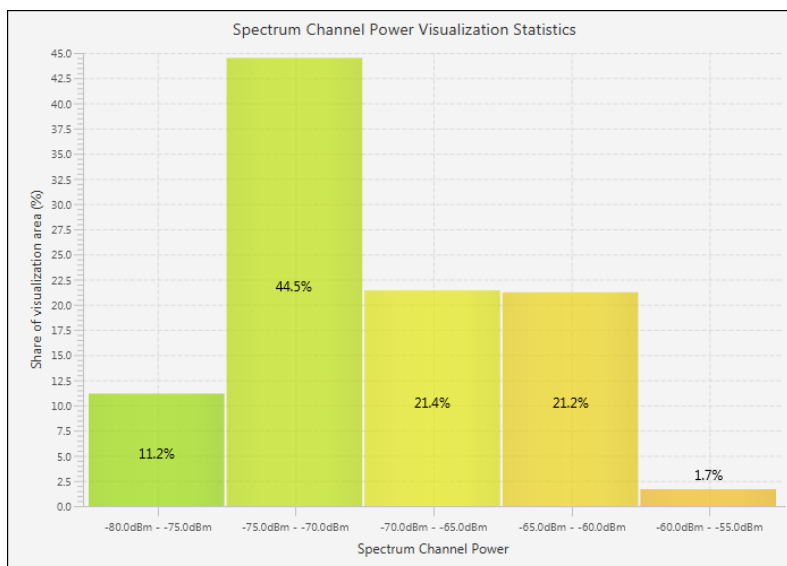
С помощью программы Ekahau Site Survey и двухдиапазонного анализатора спектра Wi-Spy DBx от компании MetaGeek<sup>8</sup> было проведено радиообследование по периметру и во дворе СПбГУТ по адресу пр. Большевиков, д. 22. Так как анализатор спектра может сканировать только один диапазон за раз, радиообследование выполнялось дважды: сперва с анализом спектра в диапазоне 2,4 ГГц, а затем – в 5 ГГц. Wi-Fi адаптер все это время сканировал оба диапазона. Число обнаруженных программой Ekahau Site Survey корпоративных ТД, Wi-Fi роутеров и мобильных устройств пользователей (смартфонов и планшетов), работающих в режиме «модема», составило 480 штук.

Анализ спектральных данных, собранных в диапазоне 2,4 ГГц, показал, что большую часть радиообследования средний уровень мощности сигналов и помех в радиоканалах был весьма высок. На рис. 1а представлен скриншот окна программы Ekahau Site Survey с визуализацией Spectrum Channel Power вдоль маршрута обхода, а на рис. 1б приведена результирующая гистограмма. Согласно алгоритму CSMA/CA, перед отправкой кадра все Wi-Fi устройства выполняют процедуру оценки занятости канала (*clear channel assessment, CCA*) и не будут пытаться осуществить передачу, если мощность сигнала в канале выше порогового значения. Соответственно, если уровень мощности сигналов и помех в радиоканале достаточно высок, то такой канал Wi-Fi устройствами будет восприниматься как занятый. Чем чаще встречается подобная ситуация, тем реже Wi-Fi устройства смогут отправлять свои кадры и, как результат, тем ниже будет скорость передачи данных [5]. Визуализация Spectrum Utilization и результирующая гистограмма показаны на рис. 2а и рис. 2б (см. ниже), соответственно.



а) Средний уровень мощности сигналов и помех вдоль маршрута обхода

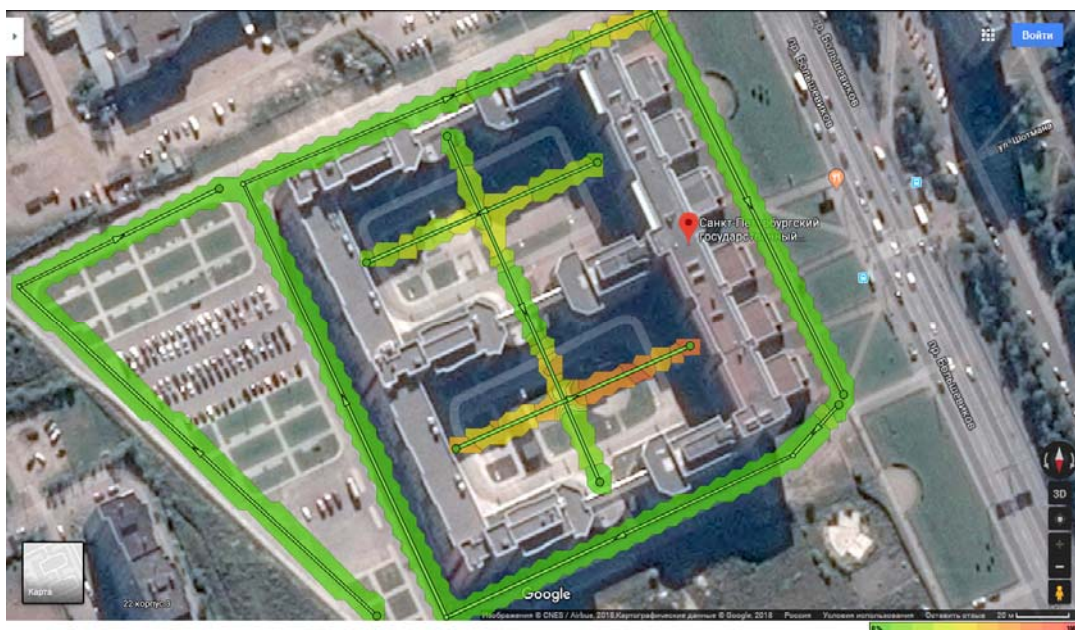
<sup>8</sup> Wi-Spy Data Sheet [Электронный ресурс]. URL: <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/203802010-Wi-Spy-Data-Sheet>



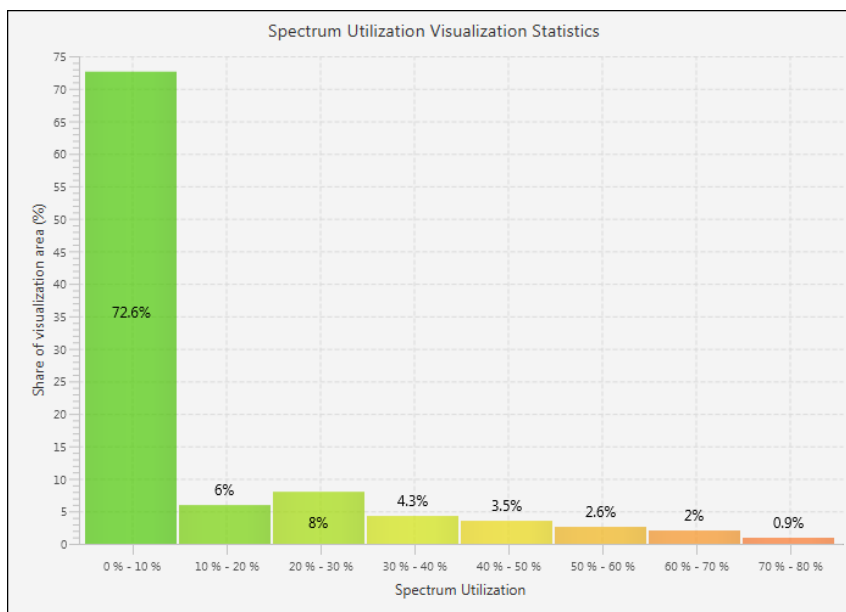
б) Результирующая гистограмма мощности в каналах

Рис. 1. Диапазон 2,4 ГГц, Spectrum Channel Power

Как показано на рис. 2 и 3, средний уровень мощности сигналов и помех в радиоканалах, а также доля времени, в течение которого они бы воспринимались Wi-Fi устройствами как занятые, в процессе радиообследования варьировались в достаточно широких пределах. Например, на расстоянии в несколько метров загруженность частотного диапазона могла меняться от нескольких единиц до десятков процентов, причем наибольшая загруженность диапазона 2,4 ГГц наблюдалась во дворе вуза, порой приближаясь к 70 %. В данном частотном диапазоне встречались как узкополосные помехи, так и широкополосные с преобладанием последних (см. рис. 3).

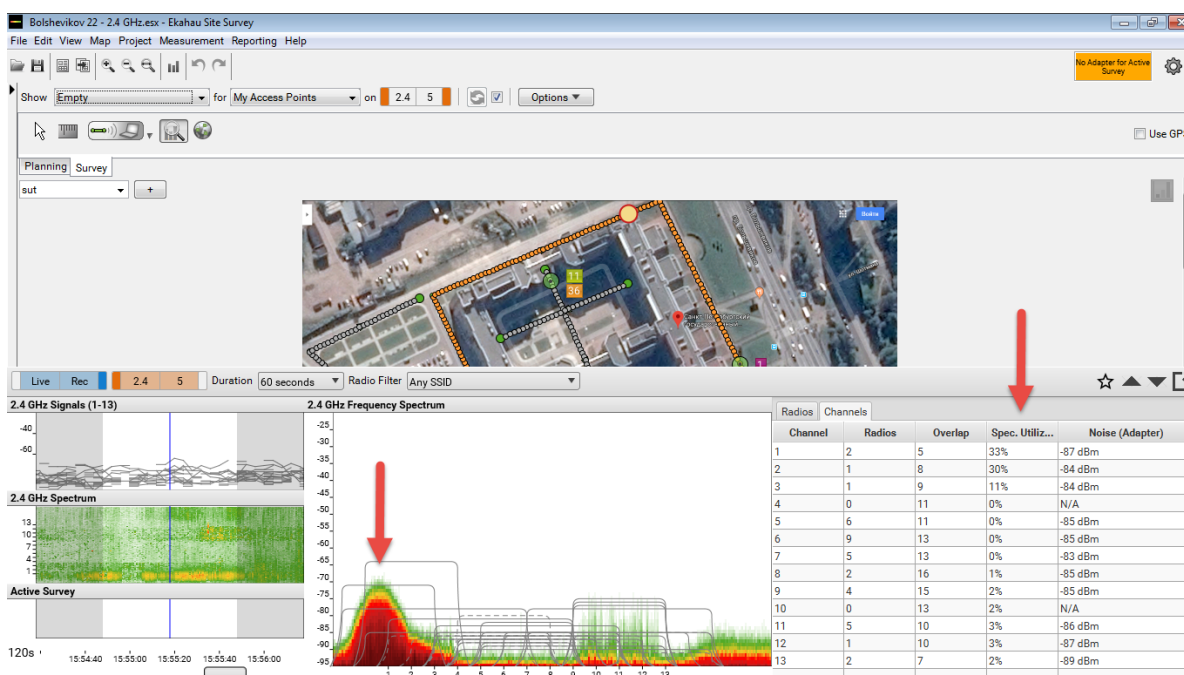


а) Загруженность частотного диапазона вдоль маршрута обхода

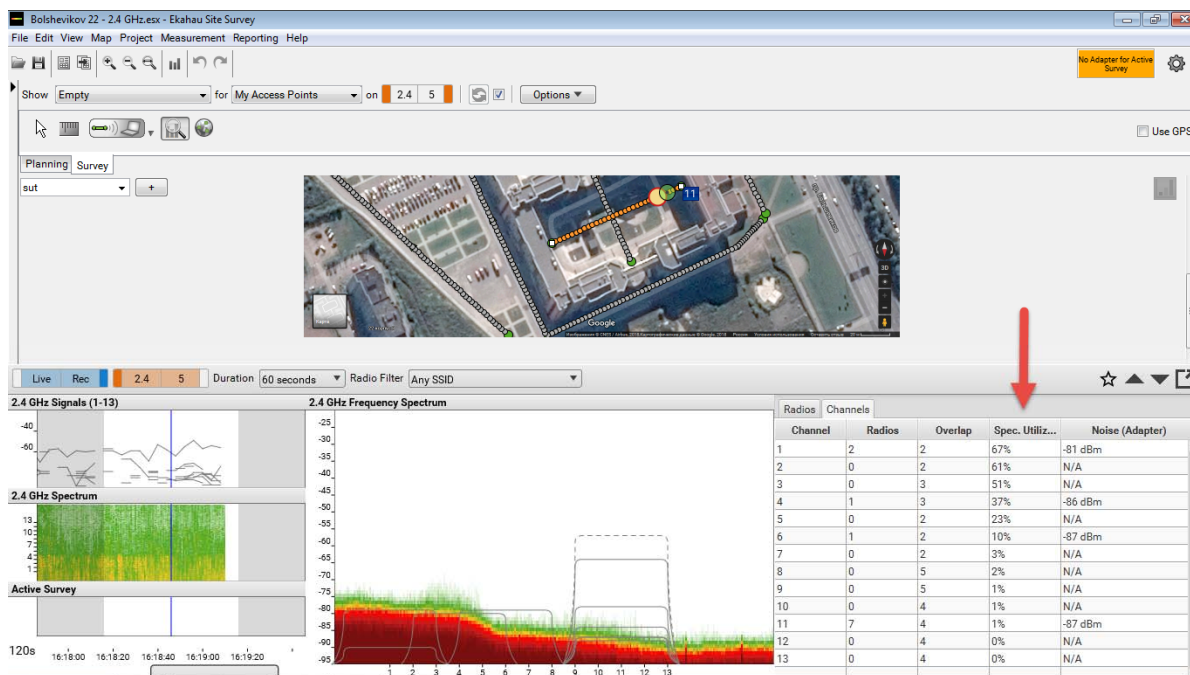


б) Результирующая гистограмма загрузки частотного диапазона

Рис. 2. Диапазон 2,4 ГГц, Spectrum Utilization



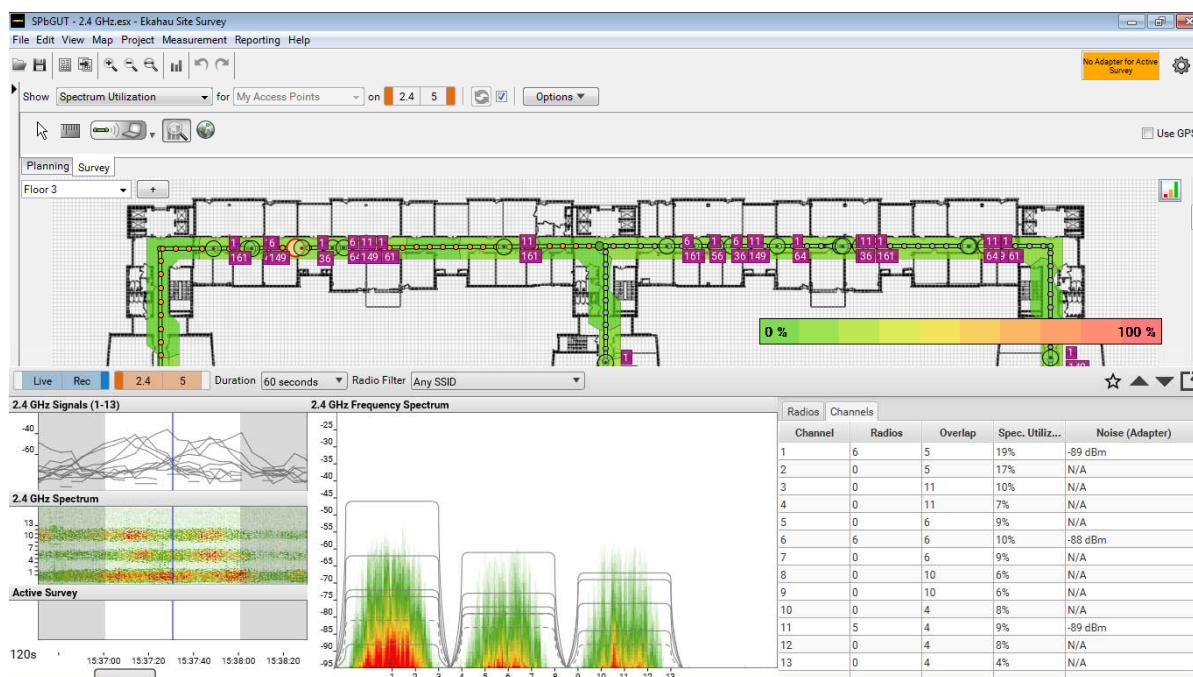
а) Узкополосная помеха в районе радиоканала 1, загрузка частотного диапазона от 0 до 33 %



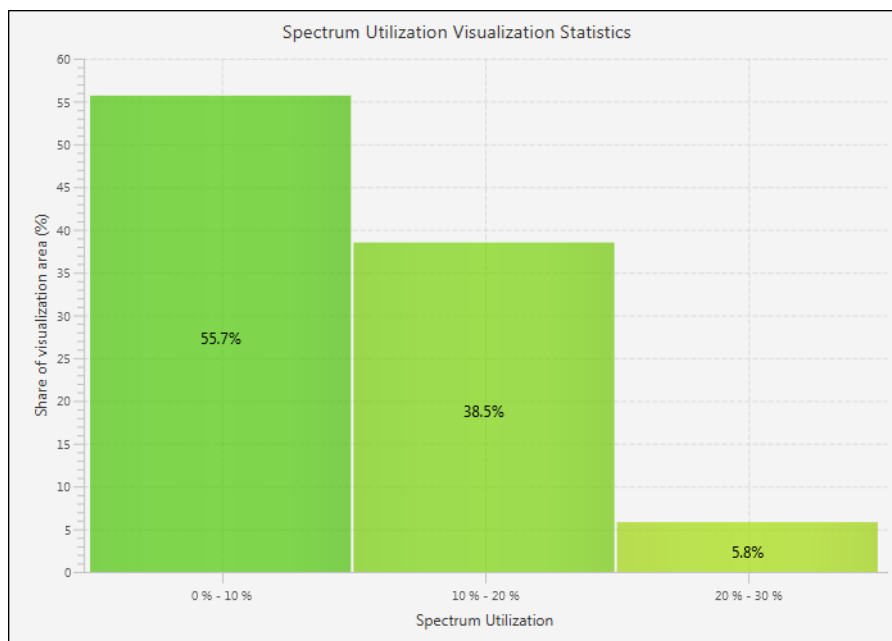
б) Широкополосная помеха, загруженность частотного диапазона от 0 до 67%

Рис. 3. Диапазон 2,4 ГГц, узкополосные и широкополосные помехи

Примечательно, что результаты радиообследования, проведенного внутри здания СПбГУТ, показали, что загруженность радиоканалов диапазона 2,4 ГГц не превышала 30 % и была в основном обусловлена работой Wi-Fi устройств в трех непересекающихся радиоканалах 1, 6 и 11. Иными словами, свыше 70 % времени радиоканалы внутри помещений были свободны и готовы к передаче. И это при том, что на территории ВУЗа развернута сеть, состоящая из примерно 300 ТД, а радиообследование проводилось в учебное время (рис. 4).



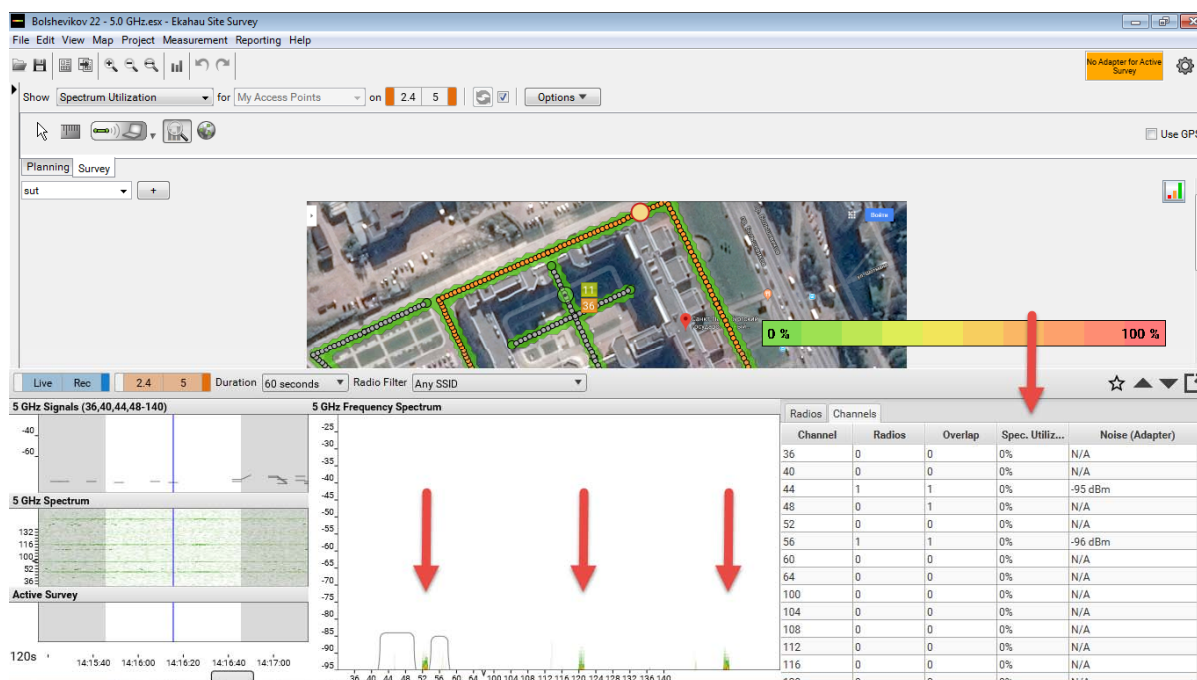
а) Загруженность частотного диапазона внутри здания СПбГУТ



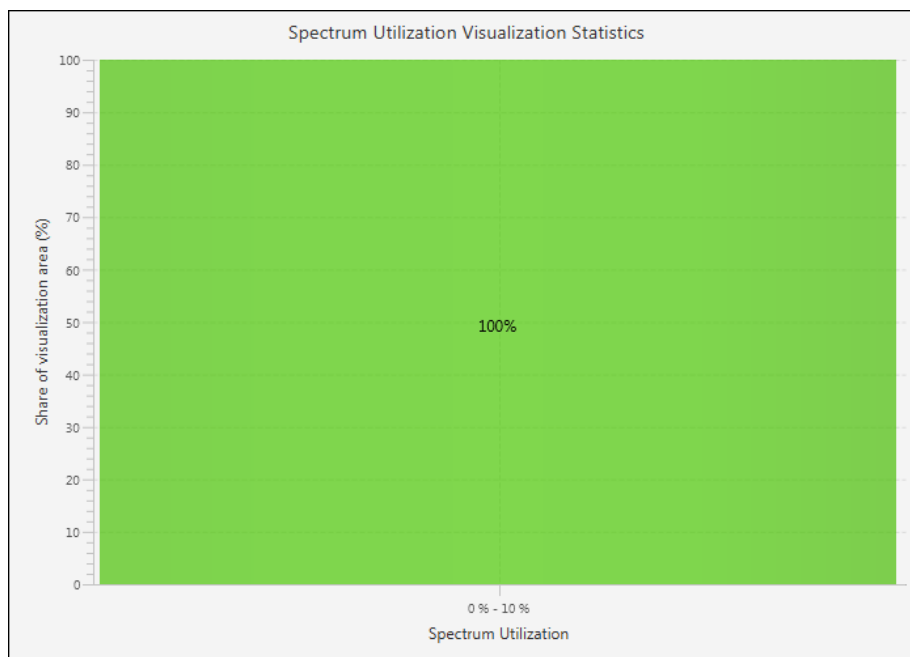
б) Результирующая гистограмма загруженности частотного диапазона

Рис. 4. Здание СПбГУТ, диапазон 2,4 ГГц, Spectrum Utilization

В диапазоне 5 ГГц тоже встречаются узкополосные помехи от неизвестных источников сигнала, но число непересекающихся каналов здесь существенно больше, а загруженность частотного диапазона близка к нулю (рис. 5). Таким образом, с помощью спектрального анализа можно обнаружить и распознать источники помех и интерференции, а также определить радиоканалы и частотные диапазоны, где помехи будут минимальны.



а) Узкополосные помехи в районе радиоканалов 52, 120 и 153



б) Результирующая гистограмма загруженности частотного диапазона

Рис. 5. Диапазон 5 ГГц, узкополосные помехи и Spectrum Utilization

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что в условиях улицы в диапазоне 2,4 ГГц гораздо больше помех, чем в диапазоне 5 ГГц. Кроме того, внутри помещений тот же диапазон 2,4 ГГц гораздо «чище», чем снаружи, так как стены здания, выступая в роли экрана, в значительной мере защищают Wi-Fi от наружных узкополосных и широкополосных помех. Следовательно, при построении уличных сетей Wi-Fi следует устанавливать двухдиапазонные ТД, делая упор на использовании каналов диапазона 5 ГГц.

### **Сравнение работы сети Wi-Fi на улице и внутри помещений**

Чтобы экспериментально подтвердить вывод о высокой зашумленности радиоканалов диапазона 2,4 ГГц в условиях наружного применения, во дворе и в одной из аудиторий СПбГУТ были проведены измерения эффективной скорости передачи кадров, коэффициента повторных передач при использовании диапазонов 2,4 и 5 ГГц, а также среднего уровня шума в радиоканалах. Сеть Wi-Fi состояла из двух ноутбуков Lenovo ThinkPad с внешними двухдиапазонными Wi-Fi адаптерами NETGEAR A6200 и Linksys WUSB6300, работающими в режиме ad hoc (из-за чего максимальная скорость была ограничена 54 Мбит/с). Для организации двусторонней передачи данных по протоколу TCP между устройствами использовалась утилита TamoSoft Throughput Test. Захват трафика производился на ноутбуке с помощью программы Savvius Omnipieek и двухдиапазонного Wi-Fi адаптера NETGEAR A6210. Расстояние между ноутбуками составляло 8 метров. Сами устройства находились в метре от земли. Препятствий в первой зоне Френеля не было. Расположение устройств во дворе СПбГУТ показано на рис. 6.

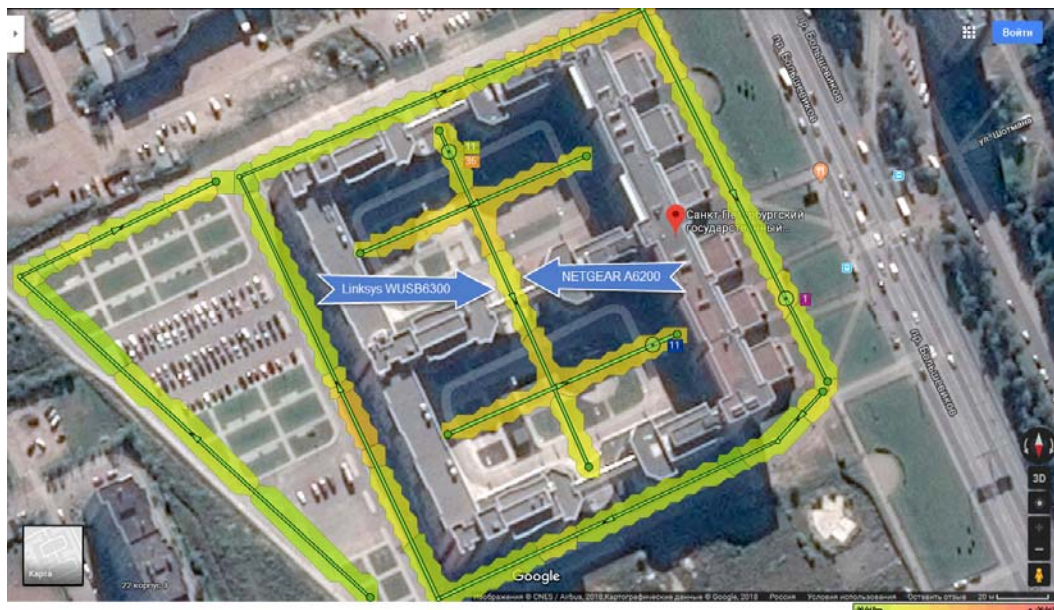


Рис. 6. Исследование работы радиоканалов во дворе СПбГУТ

Для передачи данных поочередно использовались радиоканалы 1, 6 и 11 диапазона 2,4 ГГц, а затем радиоканалы 36, 40, 44 и 48 диапазона 5 ГГц. Для определения эффективной скорости передачи кадров (*effective data rate*) и коэффициента повторных передач кадров (*retry rate*) использовалась программа MetaGeek Eye P.A., а для определения среднего уровня шума (*noise floor*) в радиоканалах – программа MetaGeek Chanalyzer. Результаты измерений во дворе и в аудитории СПбГУТ приведены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Таблица 1.

Результаты измерений во дворе СПбГУТ

Частотный диапазон		2,4 ГГц			5 ГГц			
Номер радиоканала		1	6	11	36	40	44	48
NETGEAR A6200	Эффективная скорость передачи кадров, Мбит/с	43,0	41,8	41,6	54,0	53,9	53,9	53,7
	Коэффициент повторных передач кадров, %	5	9	10	4	3	3	4
	Уровень шума, дБм	-83,0	-86,5	-91,5	-102,5	-103,0	-102,0	-102,5
Linksys WUSB6300	Эффективная скорость передачи кадров, Мбит/с	28,4	26,6	37,9	53,6	53,8	53,8	52,5
	Коэффициент повторных передач кадров, %	26	38	18	7	7	6	9
	Уровень шума, дБм	-83,0	-86,0	-90,5	-102,5	-103,0	-101,5	-102,5

Таблица 2.

## Результаты измерений в аудитории СПбГУТ

Частотный диапазон		2,4 ГГц			5 ГГц			
Номер радиоканала		1	6	11	36	40	44	48
NETGEAR A6200	Эффективная скорость передачи кадров, Мбит/с	53,3	53,2	52,5	54,0	53,9	53,9	53,9
	Коэффициент повторных передач кадров, %	1	2	2	3	3	2	3
	Уровень шума, дБм	-99,5	-98,5	-98,0	-103,0	-103,0	-102,5	-103,0
Linksys WUSB6300	Эффективная скорость передачи кадров, Мбит/с	52,7	52,8	52,0	53,9	53,9	53,9	53,9
	Коэффициент повторных передач кадров, %	5	6	8	3	3	2	2
	Уровень шума, дБм	-98,0	-96,5	-97,5	-103,0	-103,0	-103,0	-103,0

Согласно данным таблиц 1 и 2, сеть Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц лучше работает в помещении, обеспечивая более высокую скорость передачи кадров с меньшим числом повторных передач и, как следствие, более эффективное использование эфирного времени (*airtime utilization*). На улице же сеть Wi-Fi демонстрирует высокую эффективность лишь в диапазоне 5 ГГц.

### Заключение

В данной работе с помощью программы для проведения радиообследований Ekahau Site Survey, sniffера Savvius Omnipieek, анализатора пакетов MetaGeek Eye P.A., а также анализатора спектра MetaGeek Wi-Spy DBx и MetaGeek Chanalyzer было проведено исследование особенностей построения уличных сетей Wi-Fi. На основании собранных данных можно сделать вывод, что на городских улицах наблюдается высокая зашумленность диапазона 2,4 ГГц, поэтому при построении уличных сетей Wi-Fi следует отдавать предпочтение радиоканалам диапазона 5 ГГц.

### Литература

1. Tseng C.-K., Huang K.-C. Life Cycle of Municipal Wi-Fi // 14th International Telecommunications Society (ITS) Asia-Pacific Regional Conference: Mapping ICT into Transformation for the Next Information Society: Kyoto, Japan, 2017.
2. Баландин И. А., Дунайцев Р. А. Радиообследование открытой городской Wi-Fi сети на Невском проспекте // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 1. С. 83–88.

3. Ciampa M. CWNA Guide to Wireless LANs, Third Edition. Course Technology, Cengage Learning, 2013. 514 с.
4. Дунайцев Р. А., Колеватых Я. О. Исследование особенностей построения уличных сетей Wi-Fi // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 1. С. 418–423.
5. Jackman S., Swartz M., Burton M., Head T. CWDP: Certified Wireless Design Professional. Official Study Guide. Wiley Publishing, Inc., 2011. 864 с.

### References

1. Tseng C.-K., Huang K.-C. Life Cycle of Municipal Wi-Fi // 14th International Telecommunications Society (ITS) Asia-Pacific Regional Conference «Mapping ICT into Transformation for the Next Information Society». Kyoto, Japan, 2017.
2. Balandin I., Dunaytsev R. P A Wireless Site Survey of a Free Municipal Wi-Fi Network on Nevsky Prospect // VII International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». St. Petersburg, Russia, 2018. pp. 83–88 (in Russian).
3. Ciampa M. CWNA Guide to Wireless LANs, Third Edition. Course Technology, Cengage Learning, 2013. 514 p.
4. Dunaytsev R., Kolevatyh Y. Building Outdoor Wi-Fi Networks // VIII International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». St. Petersburg, Russia, 2019. pp. 418–423 (in Russian).
5. Jackman S., Swartz M., Burton M., Head T. CWDP: Certified Wireless Design Professional. Official Study Guide. Wiley Publishing, Inc., 2011. 864 p.

**Лебедева  
Надежда Александровна**

магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,  
Российская Федерация, lebedeva.na.97@bk.ru

**Олейникова  
Ольга Вячеславовна**

магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,  
Российская Федерация, olga.oleynikova@bk.ru

**Дунайцев  
Роман Альбертович**

кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,  
roman.dunaytsev@spbgut.ru

**Lebedeva Nadezhda**

Undergraduate, SUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, lebedeva.na.97@bk.ru

**Oleynikova Olga**

Undergraduate, SUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, olga.oleynikova@bk.ru

**Dunaytsev Roman**

Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor, SUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, roman.dunaytsev@spbgut.ru