

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ WI-FI-ИНФРАСТРУКТУРЫ
УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

Автор Орлов Иван Максимович _____
(Фамилия, Имя, Отчество) (Подпись)

Направление подготовки (специальность) 09.03.01 _____
(код, наименование)
«Информатика и вычислительная техника»

Квалификация бакалавр _____
(бакалавр, магистр)

Руководитель ВКР Соснин В.В., к.т.н. _____
(Фамилия, И.О., ученое звание, степень) (Подпись)

К защите допустить

Руководитель ОП Алиев Т.И., д.т.н., профессор _____
(Фамилия, И.О., ученое звание, степень) (Подпись)

“ _____ ” _____ 20 ____ г.

Санкт-Петербург, 20_19_ г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Проблемы Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО и подходы к их решению	9
1.1 Оценка качества работы Wi-Fi сети.....	9
1.2 Обзор существующих методов проектирования и оптимизации Wi-Fi-сетей.	15
1.3 Постановка задачи и обоснование целесообразности модернизации существующей Wi-Fi-инфраструктуры.	17
1.4 Выводы по главе 1	22
Глава 2. Техническое описание разработанных методов исследования существующей Wi-Fi-инфраструктуры.	23
2.1 Критерий эффективности и качество обслуживания пользователей сети с учётом специфики требований университета.	23
2.2 Экспериментальное измерение зоны покрытия Wi-Fi и других QoS-метрик.....	28
2.3 Анализ Wi-Fi-трафика с учетом расписания занятий и загруженности аудиторий...	31
2.4 Архитектура и принципы работы разработанных программных решений	35
2.5 Выводы по главе 2	39
Глава 3. Обобщение и анализ результатов исследования Wi-Fi-сети Университета ИТМО	41
3.1 План модернизации Wi-Fi-инфраструктуры с оценкой прогнозируемой эффективности.	41
3.2 Оценка полноты предложенного решения, анализ принятых допущений и упрощений.	43
3.3 Предложения по дальнейшему развитию и модернизации Wi-Fi-сети.....	45
3.4 Выводы по главе 3	47
Заключение.....	48
Список литературы.....	49
Приложение А. Результат измерений покрытия	52
Приложение Б. Листинги скриптов	54
Приложение В. Результат анализа расписания.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность области исследования. В 2016 году количество устройств, поддерживающих Wi-Fi возросло почти до 300 миллионов. Широко распространены смартфоны и мобильные телефоны, поддерживающие Wi-Fi, а доля таких электронных книг выросла с 3% в 2009 до 89% в 2014. Достоинствами Wi-Fi являются: 1) малые затраты на присоединение к сети и ее расширение, 2) поддержка мобильности и шифрования, необходимого для защиты трафика от доступа со стороны третьих лиц [1].

Публичные сети Wi-Fi прочно вошли в повседневную жизнь: открытая сеть Санкт-Петербурга, бесплатная сеть в метро, itmonet – сегодня гораздо сложнее найти общественное место, в котором нет бесплатного доступа к сети Интернет, нежели наоборот. Однако далеко не всегда конечные пользователи довольны качеством предоставляемых услуг.

Объектом исследования является Wi-Fi-инфраструктура Университета ИТМО.

Предметом исследования является качество предоставления услуг указанной сетевой инфраструктуры.

Цель исследования – повысить качество оказания услуг, минимизируя при этом расходование бюджетных средств.

Для достижения цели исследования решались следующие **задачи**:

1. Сформулировать требования QoS с учетом специфики использования Интернета студентами.
2. Оценить текущее качество работы Wi-Fi в ИТМО.
3. Проанализировать университетский Wi-Fi-трафик с учётом расписания занятий и численности групп.

4. Выбрать одну зону и составить план её модернизации.
5. Разработать рекомендации по улучшению Wi-Fi в ВУЗе.

Теоретическая и методологическая основа исследования. В качестве методов исследования используются теория игр, методы математической статистики и теории планирования машинных экспериментов. Средствами исследования являются программа WiFi Signal, язык Python, математическое ПО (LibreOffice Calc, MS Excel), ПО для 3D-моделирования PRO100.

Актуальность темы исследования. Проблема построения эффективной сетевой инфраструктуры публичной сети Wi-Fi решается очень часто, но обычно во внимание принимаются только интересы заказчика, часто сводящиеся к максимальной экономии средств.

Теоретико-игровой подход решения этой проблемы, учитывающий нужды обеих сторон, с высокой вероятностью позволит найти решение, приносящее наибольшее суммарное удовлетворение и повышающее эффективность взаимного сотрудничества, что очень важно в системе долгосрочных отношений “студент-Университет”. Субъективный опыт автора и проведенный в пункте 1.1 опрос показывают, что студенты недовольны сетью itmonet, а значит, ее необходимо модернизировать.

Степень теоретической разработанности темы. Теоретическую основу работы составляют научные труды, посвященные теории игр и изучению сетей Wi-Fi. Большой вклад в эту область был внесён учеными Nurul I Sarkar из Auckland University of Technology и Kevin Leyton-Brown и Yoav Shoham из Stanford University.

Информационная база исследования. В основе исследования лежат статьи "Performance studies of 802.11g for various AP configuration and placement" [2], "The Effect of People Movement on Wi-Fi Link Throughput in Indoor

Propagation Environments" [3] и книга Essentials of Game Theory: A Concise Multidisciplinary Introduction [4], описывающие соответственно проектирование Wi-Fi-сетей и основы теории игр.

Научная новизна исследования.

1. Разработана и проанализирована игра, в которой игроками являются студенты и Университет, и найден компромисс, позволяющий максимально эффективно удовлетворить желание студентов иметь доступ к Интернету в любой точке корпуса и желанием Университета рационально использовать бюджетные средства.
2. Предложены новые классы трафика, которые описывают требования к качеству работы сети (QoS и RSSI) с учетом особенностей ее применения в процессе обучения.
3. Проведено исследование степени покрытия сетью itmonet здания Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49.
4. Созданы скрипты, автоматизирующие анализ загруженности аудиторий по расписанию. Они не требуют каких-либо специальных прав и могут быть запущены любым студентом.
5. Создана Line of Sight 3D-модель столовой Университета.

Практическая значимость исследования. Разработанные рекомендации могут быть использованы при модернизации сетевой инфраструктуры главного корпуса Университета ИТМО (Кронверкский пр., д. 49, Санкт-Петербург, 197101).

Апробация результатов исследования. Основные положения работы были доложены и обсуждены на VIII Всероссийском конгрессе молодых учёных [5].

Объем и структура работы. Выпускная квалификационная работа содержит 64 страницы машинописного текста, 10 рисунков, 12 таблиц и список литературы, включающий 23 источника. Структурно работа состоит из введения, трёх частей и заключения. Во введении обоснована актуальность и новизна, определены цель и задачи исследования. Первая часть содержит обзор средств теории игр и теории проектирования Wi-Fi-сетей, используемых в работе, там же находится постановка задачи. Во второй части исследуется эффективность существующей топологии сети и вырабатываются подходы для повышения качества предоставления доступа к сети. Третья часть посвящена анализу полученных результатов, которые приведены в заключении, а также содержит предложения по дальнейшему развитию и модернизации сети.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ Wi-Fi-ИНФРАСТРУКТУРЫ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

1.1 Оценка качества работы Wi-Fi сети

Субъективный опыт автора (послуживший импульсом для начала этого исследования) показывает, что в корпусе Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49, существуют проблемы:

- низкое качество покрытия;
- нестабильность подключения;
- неполнота покрытия – критической непокрытой зоной является студенческая столовая.

Однако так ли это важно для Университета ИТМО? Несомненно, качество обучения и помещений являются очень важными факторами, но в современном мире и Wi-Fi-покрытие может играть роль в решении студента о месте поступления. Исследование, проведенное Дэнни Мореко из SecurEdge Networks [6], охватило 208 студентов ВУЗов США и показало, что для 38% из них качество кампусного Wi-Fi было решающим фактором при выборе университета а 30% рекомендовали бы ВУЗ, основываясь на этом качестве. Результаты частично представлены на Рисунке 1.

Несмотря на то, что Россия и США сильно различаются, исходя из опыта автора, можно предположить, что обилие гаджетов и желание иметь для них подключение к бесплатной публичной сети Wi-Fi практически везде, дошедшее в сегодняшней цифровой эре по силе практически до уровня базовых потребностей, роднит студентов этих стран. А значит, удовлетворив такую потребность, Университет ИТМО обеспечит себе конкурентное преимущество перед другими ВУЗами.

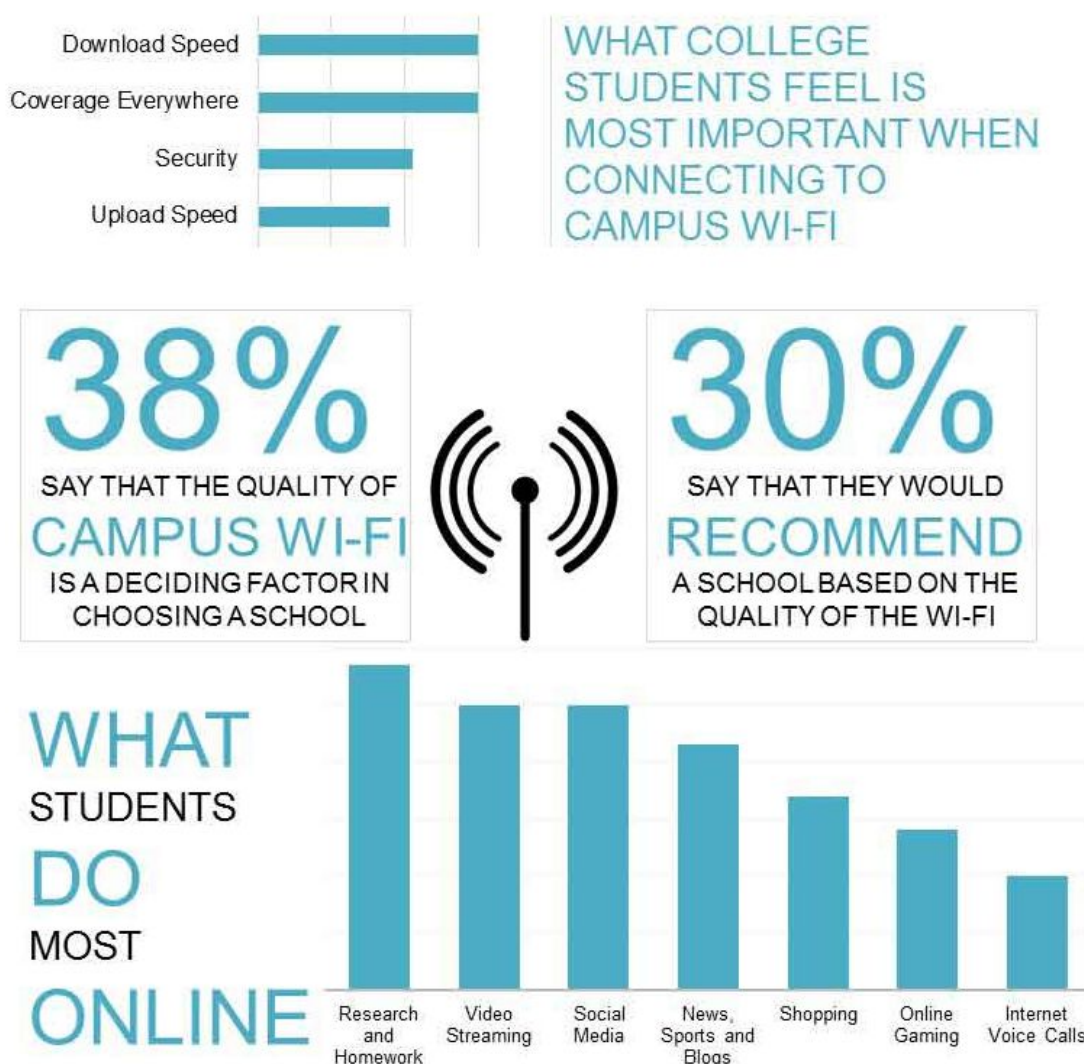


Рисунок 1 – Фрагмент результатов анкетирования студентов США

Чтобы подтвердить данное предположение было проведено идентичное анкетирование студентов Университета ИТМО, имеющих занятия в корпусе на Кронверкском, содержащее в себе 11 вопросов, соответствующих исследованию Мореко и 2 собственных. Участие в опросе приняли 58 учащихся – 31 мужчина и 27 женщин. 96,6% респондентов были возрастом от 18 до 29 лет. Результаты представлены в Таблицах 1-7.

Таблица 1 – Сравнение результатов анкетирования

Показатель \ Анкетирование	SecurEdge	ИТМО
Количество респондентов	203	58
Процент мужчин	58	53
Процент женщин	42	47
Преимущественный возраст, лет	18-29 (75-перцентиль)	18-29 (97-перцентиль)
Наиболее популярный девайс	смартфон	смартфон
Главное занятие онлайн	исследования и учеба	исследования и учеба
Процент людей, для которых Wi-Fi был решающим фактором при выборе ВУЗа	38	5
Процент людей, которые рекомендовали бы ВУЗ, опираясь на качество Wi-Fi в нём	30	9
Процент людей, которые считают Wi-Fi важной частью своего успеха как студента	90	59

Таблица 2 – Градация девайсов по популярности

Место по популярности	SecurEdge	ИТМО
1	Смартфон	Смартфон
2	Ноутбук	Ноутбук
3	Планшет	Настольный компьютер
4	Настольный компьютер	Планшет
5	Игровая консоль	Игровая консоль
6	TV set top box (Apple TV)	TV set top box (Apple TV)

Таблица 3 – Распределение студентов по количеству часов в день, проводимых онлайн (в процентах)

Время онлайн, ч	SecurEdge	ИТМО
[0;4)	19	9
[4;8)	40	29
[8;12)	29	28
[12;16)	8	24
[16;24]	4	10

Таблица 4 – Градация качеств университетского Wi-Fi по важности

Место	SecurEdge	ИТМО
1	Высокая скорость скачивания (download)	Покрытие везде
2	Покрытие везде	Высокая скорость скачивания (download)
3	Безопасность	Безопасность
4	Высокая скорость загрузки (upload)	Высокая скорость загрузки (upload)

Таблица 5 – Градация видов онлайн-деятельности студентов

Место	SecurEdge	ИТМО
1	Исследование и учеба	Исследование и учеба
2	Просмотр видео	Социальные сети
3	Стриминг	Просмотр видео
4	Социальные сети	Новости и блоги
5	Новости и блоги	Шоппинг
6	Шоппинг	Игры
7	Игры	IP-телефония
8	IP-телефония	Стриминг

Таблица 6 – Распределение частоты недовольства студентов качеством Wi-Fi-сети (в процентах)

Частота	SecurEdge	ИТМО
Почти никогда - [0;25)%	22	7
Иногда - [25;75)%	41	45
Довольно часто - [75;100)%	22	33
Всегда - 100%	15	15

Таблица 7 – Градация последующих действий студентов

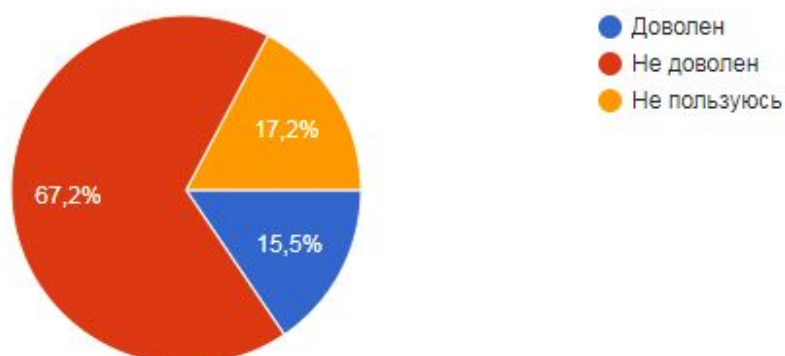
Место	SecurEdge	ИТМО
1	Ничего не делать / терпеть	Уйти туда, где сигнал лучше (вне университета)
2	Уйти туда, где сигнал лучше (вне университета)	Ничего не делать / терпеть
3	Донести недовольство до ответственных за Wi-Fi	Поделиться язвительной ремаркой в социальной сети
4	Поделиться язвительной ремаркой в социальной сети	Донести недовольство до ответственных за Wi-Fi

Большое расхождение в результатах опроса в последних трех строках Таблицы 1 можно объяснить тем, что, в отличие от России, в США кампусом является не только здание университета, но и общежитие. Таким образом, американские студенты проводят в кампусе гораздо больше времени, чем российские студенты. Также стоит отметить, что мобильный Интернет в Америке стоит дороже чем в России, однако, возможно, эта разница сглаживается разницей в покупательных способностях.

Дополнительные вопросы в анкетировании для студентов ИТМО касались удовлетворенности их сетью itmonet, результаты представлены на Рисунке 2.

Довольны ли Вы покрытием сети itmonet?

58 ответов



Довольны ли Вы качеством сети itmonet?

58 ответов

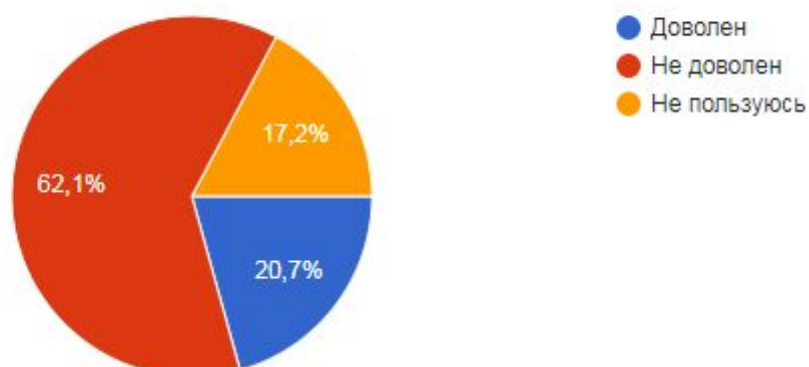


Рисунок 2 – Результаты анкетирования относительно itmonet

Как видно, процент довольных студентов крайне низок, при этом многие используют сеть в учебных целях и хотели бы иметь лучший Wi-Fi, а, стало быть, itmonet нуждается в модернизации.

1.2 Обзор существующих методов проектирования и оптимизации Wi-Fi-сетей

Проектирование и оптимизация Wi-Fi-сетей не является новой проблемой, так что для нее существует обильная теоретическая база.

Труды Сухермана [7; 8] описывают исследование влияния различных материалов на сигнал Wi-Fi, например, бетонная стена понижает силу сигнала на 12 дБ. Также описывается структура “hole-in-the-wall” (“дыра-в-стене”), представляющая собой способ покрытия Wi-Fi двух помещений, разделенных бетонной стеной, который заключается в создании отверстия в стене и заполнении его полый алюминиевой трубой с двумя листами алюминия на концах. Данный способ мог бы быть полезен, однако, так как в соседних учебных аудиториях часто одновременно идут занятия, выигрыш в покрытии полностью нивелируется шумовым загрязнением, которое создает значительные трудности в восприятии материала.

Работа Йан и др. [9] предлагает очень интересное решение - самопозиционирующуюся точку доступа Hermes, динамически меняющую свое положение. Они утверждают, что такая система работает на 117% лучше систем без мобильности и на 73% лучше аналогичных самопозиционирующихся систем. Работа, несомненно, занимательная и, возможно, открывает путь для эволюции самой идеи позиционирования точек доступа, однако для улучшения инфраструктуры Университета ИТМО неприменима. Во-первых, организация такого движения может вызвать массу сложностей: движение по полу связано с опасностями столкновения не только со столами и стульями, но и сумками и конечностями студентов; проложение же маршрута по, предположим, рельсам на потолке представляет конструктивные сложности. Во-вторых, нельзя недооценивать отвлекающий эффект: движение, сопровождаемое шумом,

привлекает внимание и может негативно сказаться на восприятии материала студентами.

Труды Алышаева [10] и Шавкуна [11] затрагивают проектирование сетей классическим образом с помощью специализированного ПО, в частности TamoGraph Site Survey. Объемное исследование показывает все этапы проектирования сети в корпоративных средах. Общие рекомендации и теория могут быть заимствованы, однако ввиду дороговизны TamoGraph Site Survey (лицензионная версия на момент написания стоит порядка 254000 рублей) использование практической части в данном исследовании нецелесообразно.

Работа Герцена и др. [12] рассматривает применимость нейронных сетей для проектирования инфраструктуры сетей путем предсказания их производительности. Обученная на наборе исследований методом “черного ящика” нейросеть, выступает в качестве “предсказателя” и выдает результаты не хуже чем классические средства проектирования, однако пропускает трудные этапы радиоразведки и построения модели, поэтому работает быстрее и не требует сложного ПО.

Труд Шу и Гво [13] описывает улучшение Wi-Fi-сети в The Contra Costa County Library и может быть полезен общими рекомендациями, однако текущее исследование выходит за рамки модернизации библиотеки, хотя используемые методы, такие как, например, анкетирование, могут представлять ценность для данного исследования.

Теоретической основой исследования служат труды Саркара и др. [2; 3], описывающие важность позиционирования точек доступа для Wi-Fi-устройств, в том числе губительное влияние потери Line of Sight (снижение пропускной способности на 68,5-82,2% при частичной и разрыв сигнала при полной потере) и влияние людских потоков, пересекающих линию сигнала (ухудшение

пропускной способности вплоть до 20,4%); причем последнее подтверждают презентация уже упоминавшегося Сухермана [14] и труд Бахавереца и др. [15].

Нгуен и др. [16] также показывает последствия наличия препятствий на пути сигнала и предлагает решение в виде управления расположением антенн и использования протокола MPTCP.

Абдул Рауф Кан и др. [1] замечают, что при планировании сетей необходимым условием для получения адекватного уровня силы получаемого сигнала на дистанции является наличие Line of Sight (далее LoS) между клиентом и точкой доступа.

Статья Д. Бардвелла [17] указывает, что среда, окружающая передатчик стандарта 802.11 (точку доступа) и клиента, является бесконечно сложной и постоянно меняющейся. Радиоволновые взаимодействия, такие как отражение, преломление и рассеяние, создают ситуацию, в которой практически никогда не существует даже единственной простой LoS-связи между передатчиком и приемником. По этой причине сила принимаемого сигнала, может угасать непредсказуемо, даже в случае неподвижности клиента.

Таким образом, в данной работе для проектирования сетей используется LoS-критерий, так как он прост, понятен, а его нарушение ведет к серьезным последствиям. Причем стоит заметить, что с расширением частотных диапазонов, которое более активно идет в сторону высоких частот, LoS-критерий может стать определяющим, так как чем выше частота сигнала тем ниже его устойчивость к препятствиям на пути.

1.3 Постановка задачи и обоснование целесообразности модернизации существующей Wi-Fi-инфраструктуры

В обычной ситуации моделирование заканчивается предоставлением заказчику модели и рекомендации по максимизации целевого показателя

(прибыли, скорости обработки и подобных им). Однако в данном исследовании предлагается провести дополнительный анализ и с помощью аппарата теории игр создать и рассмотреть сценарии приложения результатов модели. Для этого потребуется:

1. Создать игру, описывающую потери и выигрыши как Университета, так и студентов от установки дополнительных роутеров Wi-Fi.
2. Выделить из требований QoS классы трафика, пригодные для обучения.
3. Получить схему главного корпуса Университета ИТМО и провести исследование степени покрытия площади сетью itmonet путем зондирования.
4. Проанализировать расписание занятий и выявить аудитории, в которых суммарное количество студенто-часов (произведение количества студентов на количество занятий, на которых они присутствуют) максимально.
5. Создать 3D-модель LoS для самой загруженной зоны.

Зоной может являться учебная аудитория или другое выделяемое пространство: столовая, ITMO.PLACE и др. Для каждой уже покрытой зоны каждый семестр происходит игра, представленная на Рисунке 3.

<div> <div>Студенты</div> <div>Университет</div> </div>	Ничего не делать	Обеспечить качественное покрытие зоны
	Пользоваться мобильным интернетом	$N*(-A), 0$
Пользоваться сетью itmonet	$0, 0$	$0, (B(N)-C(N))$

Рисунок 3 – Игра “Wi-Fi-покрытие”

Где N – число студентов в данной зоне;

A – затраты студента на мобильный интернет, руб;

$B(N)$ – функция выигрыша Университета от студентов, руб;

$C(N)$ – функция затрат Университета на покрытие зоны сетью Wi-Fi, руб.

Игра представлена в нормальной (матричной) форме: стратегии игрока 1, “Студенты” расположены в строках, стратегии игрока 2, “Университет” – в столбцах. Выигрыши находятся в ячейках в формате X, Y ; где X – выигрыш (utility, полезность) игрока 1, Y – выигрыш игрока 2.

В случае непокрытой зоны студенты не могут воспользоваться itmonet, так что до ее покрытия им остается либо пользоваться мобильным интернетом, либо не иметь подключения вообще.

Одним из способов решения матричных игр является Iterated Elimination of Strictly Dominated Strategies (IESDS). Согласно книге Лейтона-Брауна и Шохам [4] он заключается в последовательном удалении из матриц строк и столбцов, соответствующих *строго доминируемым* стратегиям. Стратегия А является строго доминирующей над В, если, выбирая А, игрок всегда получает больший выигрыш, чем выбирая В. Стратегия В в таком случае является *строго доминируемой*.

Воспользуясь IESDS, получим, что оптимальной для студента будет стратегия “Пользоваться сетью itmonet”, потому что 0 по определению больше отрицательного числа $N^*(-A)$. Однако для Университета всё зависит от значения выражения $B(N)-C(N)$.

Рассчитаем значение этого выражения и докажем, что оно больше 0, то есть, доходы от обеспечения качественного покрытия зоны превышают расходы и стратегия “Обеспечить качественное покрытие зоны” является доминирующей. В расчетах примем следующие допущения:

- рассматриваются студенты-бакалавры, так как на выбор магистров больше влияет их собственный опыт и направление дальнейших исследований;

- “цена студента” приравнивается цене его обучения, то есть потенциальные выигрыши олимпиад, гранты и другие денежные суммы остаются потенциальными и не учитываются;
- так как тендеризацию и оптовые закупки товаров/услуг точно проанализировать невозможно, расчёт проводится без них;
- расчет проводится для одной рассмотренной зоны – столовой;
- показывается худший случай: максимизируются затраты (самый дорогой роутер и самые дорогие работы), минимизируется прибыль (улучшение Wi-Fi повлияло на выбор **одного** студента) – если в таком случае прибыль будет больше 0, то и в любом другом она будет положительна.

Численные показатели были взяты из следующих источников:

- стоимость обучения –
http://edu.ifmo.ru/file/pages/8/prikaz_121-od_ot_28.02.2018.pdf
- стоимость установки роутера –
<http://pchlp.ru/nastroyka-interneta-nastroyka-routera.html>
- цена роутера –
<https://market.yandex.ru/>
- сам роутер выбирается из подборок:
<https://www.kp.ru/putevoditel/tekhnologii/luchshie-routery-dlya-doma-wi-fi/>
<https://geeksus.ru/rejtingi/luchshij-router-dlya-doma-2017/>

Усредненная стоимость обучения студента на основе списка групп первого курса с парами на Кронверкском проспекте, д. 49, (79 групп) и приказа 121-од равна приблизительно **208354 рубля 43 копейки**.

Стоимость выбранного роутера Asus RT-AC86U равна 17000 рублей. Работы по установке - 1500 рублей за точку доступа. Для покрытия столовой необходимо 3 роутера. Итого в худшем случае средний выигрыш составит:

$$B(N)-C(N)=(1*208354)-(3*[17000+1500])=152854 \text{ рублей}$$

за первый год;

$$B(N)-C(N)=(1/2*208354)-(3*[17000+1500])=48677 \text{ рублей}$$

за первый семестр (плата вносится в два этапа).

Также следует заметить, что это число будет только увеличиваться, если студент продолжит обучение. Несомненно, эти деньги не являются чистой прибылью Университета, а лишь показывают ту сумму, которой у него не было бы, если бы один студент не решил в пользу поступления, руководствуясь в том числе и качеством Wi-Fi. "Стоимость студента" включает затраты на зарплату педагогов, коммунальные услуги, услуги связи, содержание зданий, культурно-массовую и спортивную работу, доплаты за эффективность и многое другое согласно [18].

Таким образом, модернизация имеет смысл, так как может принести доход. Она должна начинаться с зон, в которых присутствует наибольшее количество людей. Скорее всего, там она обойдется дороже ввиду того, что для того, чтобы обеспечить заданные требования QoS одновременно для большого числа людей, может потребоваться большее количество или более высокое качество точек доступа, а стало быть и их стоимость будет выше; однако это нивелируется тем, что полезное действие для посетителей корпуса и потенциальный выигрыш Университета будет гораздо выше.

Поставим задачу – на основе анализа игры и загруженности зон разработать рекомендации по модернизации Wi-Fi-инфраструктуры для

Университета ИТМО и создать модель для покрытия/модернизации одной из них.

1.4 Выводы по главе 1

В первой главе было проведено анкетирование, проанализированы его результаты, рассмотрены методы проектирования и оптимизации Wi-Fi-сетей, создана и решена игра и обоснована целесообразность модернизации сетевой инфраструктуры Университета ИТМО в корпусе на Кронверкском проспекте, д. 49. В результате проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1. Субъективный опыт исследователя вкупе с объективным опытом анкетированных студентов показывает, что Wi-Fi-инфраструктура корпуса Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49, нуждается в модернизации.
2. Среди методов проектирования и оптимизации Wi-Fi-сетей был выбран критерий Line of Sight по причине простоты, понятности и значительности последствий его несоблюдения.
3. Анализ составленной игры и расчет цены показал, что модернизация Wi-Fi-инфраструктуры является целесообразной, так как количество денег, появляющихся в университете в результате улучшения, превышает затраты на осуществление этого улучшения даже в худшем случае, когда оно влияет на выбор всего одного студента.

ГЛАВА 2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ Wi-Fi-ИНФРАСТРУКТУРЫ

2.1 Критерий эффективности и качество обслуживания пользователей сети с учётом специфики требований университета

Пособие Алиева [19] включает в себя много полезной информации о ЛВС, в том числе о Wi-Fi, однако QoS приводится относительно WAN – Глобальных Вычислительных Сетей (например, Frame Relay) и включает в себя показатели, представленные на Рисунке 4.

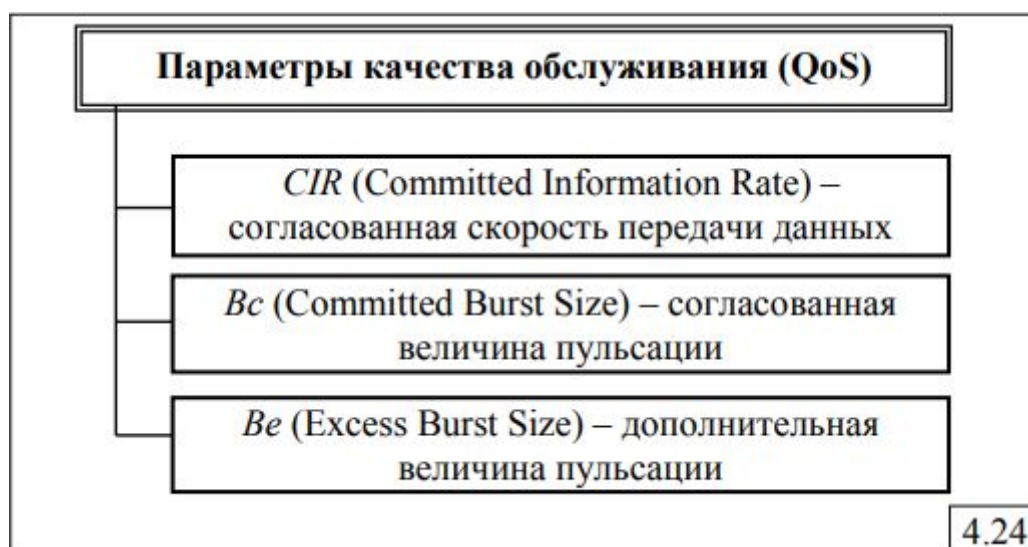


Рисунок 4 – Параметры QoS в сетях Frame Relay

В данном исследовании делается упор на WLAN – Беспроводные Локальные Сети, реализуемые с помощью Wi-Fi, так что большую ценность представляет работа Яновского [20], в которой изучаются рекомендации ITU-T Y.1540 и Y.1541.

В рекомендации Y.1540 рассматриваются следующие сетевые характеристики, как наиболее важные по степени их влияния на сквозное качество обслуживания (от источника до получателя), оцениваемое пользователем:

- производительность сети;
- надежность сети/сетевых элементов;
- задержка;
- вариация задержки (джиттер);
- потери пакетов.

В общем случае сеанс связи является трехфазным

- установление соединения;
- передача информации;
- разъединение соединения.

Рекомендация Y.1540 из трех фаз сеанса связи рассматривает только вторую – фаза доставки пакетов IP, так как IP-сети по природе не ориентированы на установление соединений.

Задержка доставки пакета IP (IP packet transfer delay, IPTD или ping, пинг) определяется как время между двумя событиями – вводом пакета во входную точку сети в момент $t1$ и выводом пакета из выходной точки сети в момент $t2$, где $(t2 > t1)$ и $(t2 - t1) \leq T_{max}$, то есть представляет собой время доставки пакета от источника к получателю, если оно не превышает некоторого значения T_{max} (в противном случае пакет может быть отброшен). Средняя задержка доставки пакета IP – параметр, специфицированный в Рекомендации Y.1540, определяется как средняя арифметическая величина задержек пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

Вариация задержки пакета IP (IP packet delay variation, IPDV или jitter, джиттер) характеризует вариацию задержки IPDV. Для IP-пакета с индексом k этот параметр определяется между входной и выходной точками сети в виде разности между абсолютной величиной задержки X_k при доставке пакета с индексом k , и определенной эталонной величиной задержки доставки пакета IP,

$d_{l,2}$ (абсолютное значение задержки доставки первого пакета IP между данными сетевыми точками), для тех же сетевых точек:

$$V_k = X_k - d_{l,2}.$$

Коэффициент потери пакетов IP (IP packet loss ratio, IPLR) определяется как отношение суммарного числа потерянных пакетов к общему числу принятых в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

Коэффициент ошибок пакетов IP (IP packet error ratio, IPER) определяется аналогично IPLR относительно пакетов с ошибками.

Рекомендация ITU-T Y.1541 определяет численное значение параметров, описанных в Y.1540. Эти параметры являются основными при составлении соглашений между провайдерами сетей, а также конечными пользователями и провайдерами. Нормы разделены по различным классам QoS, определенным в зависимости от приложений и сетевых механизмов, которые применяются для обеспечения гарантированного качества обслуживания. В Таблице 8 представлены нормы на определённые выше сетевые характеристики. Значения параметров, приведенные в таблице, представляют собой, соответственно, верхние границы для средних задержек, джиттера, потерь и ошибок пакетов.

Таблица 8 – Требования к сетевым характеристикам Y.1541

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка, мс	100	400	100	400	1000	Н
Джиттер, мс	50	50	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потерь	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	Н
Коэффициент ошибок	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	Н

Рекомендация Y.1541 также устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

- класс 0 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (видеоконференции);
- класс 1 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, (VoIP);
- класс 2 – передача данных, характеризующаяся высоким уровнем интерактивности (сигналы управления сетью);
- класс 3 – передача данных, интерактивные (диалоговые);
- класс 4 – приложения, допускающие низкий уровень потерь и довольно высокий уровень задержки (короткие массивы данных, видео);
- класс 5 – традиционные применения сетей IP, не представляющие никаких гарантий QoS.

Можно заметить, что не все классы трафика целесообразны с точки зрения политики Университета, так как могут не приносить пользу учебному процессу или вовсе вредить, например, перехватывая внимание студента. Из этих классов учебную ценность составляют классы 3 и 4 (также 5, так как его требования менее строгие, а точнее их нет):

- класс 3 отвечает за интерактивные сайты (онлайн-тесты, онлайн-курсы), которые могут быть очень полезны – например, в 2018/19 учебном году учебный курс первого года обучения “Информатика” перешел в онлайн-форму;
- класс 4 отвечает за веб-сёрфинг и интернет-видео, в том числе учебной направленности.

Необходимо дать комментарий относительно VoIP. Случаев, когда данный вид трафика может быть полезен студенту для учебного процесса, не так много: сдача лабораторных в Skype (или другом ПО) или онлайн-участие в научной конференции. В случае Skype непонятно, зачем приходить для этого в университет, если сама форма сдачи создает все условия, чтобы этого не делать. Использование VoIP для научных онлайн-конференций является слишком

специальным и недостаточно частым явлением для обоснования целесообразности обеспечения повседневного доступа для студентов.

Требования к необходимому набору показателей качества обслуживания задаются в специальном однобайтовом поле каждого пакета. Контроль может проводиться либо через web-интерфейс (имеется, например, у роутера Asus RT-AC86U) либо напрямую через анализ поля ToS/TC IPv4/6 пакетов и может быть либо нестрогим (выставление низшего приоритета неуголному трафику), либо строгим (отбрасывание). Причем, если требования QoS оказались недостаточно строгими и пропускают, например, стриминговый трафик, такой контроль призван сделать QoE пользователя низким достаточно, чтобы сделать использование невозможным.

Также существуют разделенные по типам приложений рекомендации относительно параметра RSSI (представлены в Таблице 9). Recieved Signal Strength Indicator (показатель уровня принимаемого сигнала) характеризует мощность сигнала, принимаемого приемником. RSSI измеряется по логарифмической шкале в дБм (dBm, децибел относительно 1 милливатта) самим приемником, причем способы измерения зависят от поставщика.

Таблица 9 – Соответствие требуемой мощности сигнала и типа приложения

Сила сигнала, dBm	Описание	Необходима для
-30	Максимальная сила сигнала, достижимая только в непосредственной близости. Нетипична для реального мира.	Н/Д
-67	Минимальная сила для приложений, требующих надежную, своевременную доставку.	VoIP/VoWiFi, стриминг видео
-70	Минимальная сила для надежной передачи.	Email, web
-80	Минимальная сила для базового соединения, передача может быть ненадежна.	Н/Д
-90	Уровень исключительно шума. Любая функциональность маловероятна.	Н/Д

Из данной таблицы видно, что минимальная сила сигнала, необходимая для такого вида приложений, составляет -70 dBm. Это значение можно использовать при планировании сети, либо при проверке установленной.

Предложенный новый класс, описывающий ученический трафик, предъявляет следующие требования к сети, представленные в Таблице 10.

Таблица 10 – Требования ученического трафика к сетевым характеристикам

Сила сигнала, dBm	Задержка, мс	Джиттер, мс	Коэффициент потерь	Коэффициент ошибок
≥ -70	≤ 400	Н	$\leq 1E-03$	$\leq 1E-04$

2.2 Экспериментальное измерение зоны покрытия Wi-Fi и других QoS-метрик

Замеры проводились с помощью программы Wifi Signal (интерфейс представлен на Рисунке 5) на базе iPad Air 2.

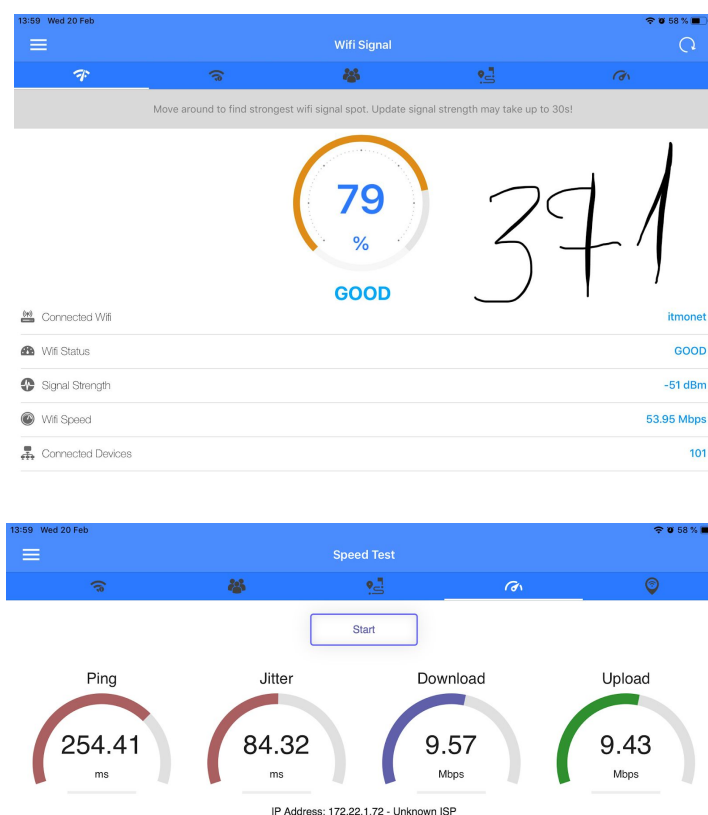


Рисунок 5 – Интерфейс программы Wifi Signal

Она предоставляла возможность замерить:

- статус (оценка, даваемая подключению программой);
- силу сигнала;
- скорость передачи;
- пинг;
- джиттер.

Условия проведения эксперимента:

1. Длительность одного замера – 30 секунд (предусмотрена ПО).
2. Замеры проводились во время перерывов между парами, т.е. в аудитории находились студенты, создающие конкурирующие подключения.
3. Если площадь аудитории превышала 20 м², проводилось несколько замеров, результаты которых усреднялись.

Определить точность измерений, указав доверительный интервал, не представляется возможным, так как, создатели программы Wifi Signal не внесли соответствующий функционал в свой продукт а потом и вовсе убрали его из магазина App Store, заменив платной версией под названием Wifi Signal Pro. Замер процента ошибочных пакетов также не является возможным ввиду отсутствия такого функционала, в то же время замер процента потерянных пакетов не выполняется по причине того, что соответствующая вкладка на момент исследования не являлась функционирующей.

Не во все аудитории удалось попасть несмотря на то, что замеры планировались согласно расписанию – из некоторых занятия были перенесены, некоторые были закрыты на ремонт.

В ходе измерений была установлена целесообразность использования LoS ввиду толщины и материала стен: в подавляющем большинстве (более 85%) рассмотренных аудиторий стены обладают большой толщиной и состоят

преимущественно из бетона, то есть, согласно Таблице 11, снижают силу сигнала на 12 дБ, а учитывая то, что, согласно Таблице 10, для перехода с уровня сигнала, необходимого для учебных целей, до неприемлемого хватает снижения чуть более чем на 10 дБ, можно с уверенностью говорить, что в условиях исследуемого объекта:

- 1) потеря прямой зоны видимости (LoS) может быть критической;
- 2) идея покрытия более чем одной зоны одной точкой доступа является труднорешаемой если вовсе не нерешаемой за некоторыми исключениями.

Таблица 11 – Влияние различных материалов на силу сигнала (перевод исследования компании AccessAgility [21])

Тип препятствия	Ослабление сигнала, дБ
Кирпичная стена	8
Шлакоблочная стена	4
Бетонная стена	12
Гипсокартонная стена	4
Стеклянная стена с металлической рамой	6
Тяжелая дверь	15
Легкая дверь	4
Металлическая дверь	11
Пластиковая стена	3
Толстое окно	4
Тонкое окно	2
Офисное окно	3

Результаты измерений представлены в Приложении А.

Для анализа измерений понадобились только сила сигнала и пинг, так как Y.1541 не определяет нормы скорости передачи, а требования к джиттеру у QoS-класса 3 не установлены.

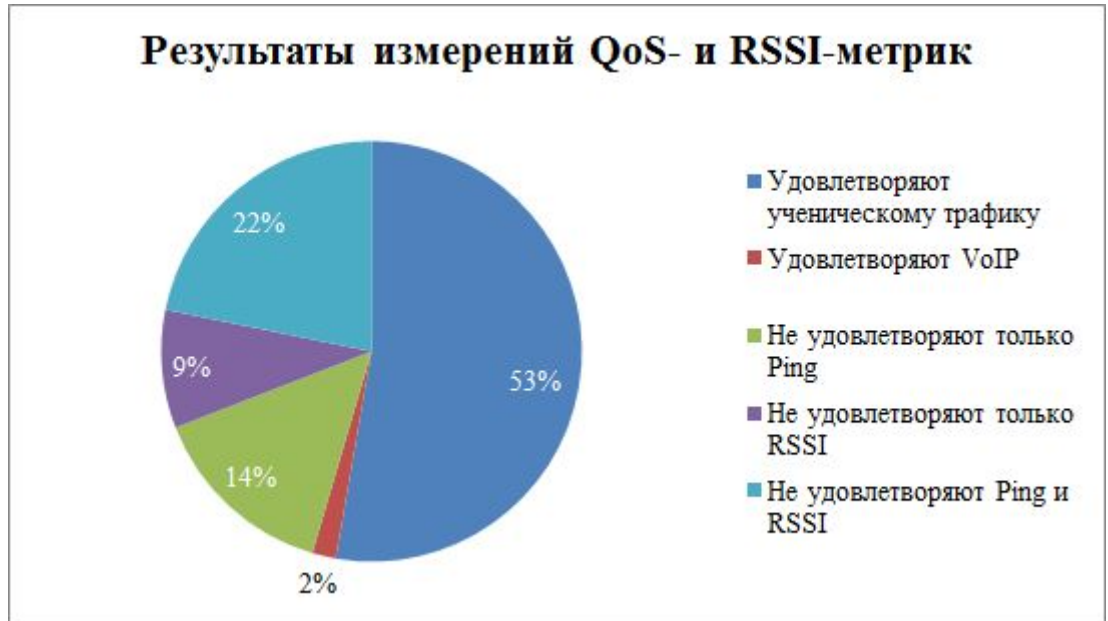


Рисунок 6 – Результаты измерений QoS- и RSSI-метрик

В итоге было установлено, что в 29 из 55 зон покрытие отвечает требованиям QoS и RSSI для учебного трафика, а в 1 отвечает также и требованиям для VoIP. Другими словами, в изученном корпусе около 55% зон (30 из 55) имеют удовлетворительное покрытие. 8 зон не удовлетворяют требованиям к задержке, 5 – требованиям к уровню сигнала, 12 – к обоим.

Менее строгим требованиям QoS класса 4 удовлетворяют 37 (67,3%) зон.

2.3 Анализ Wi-Fi-трафика с учетом расписания занятий и загруженности аудиторий

Для анализа Wi-Fi-трафика были написаны скрипты на языке Python, работающие согласно схеме, представленной на Рисунке 7.

Язык Python был выбран, так как он является универсальным, переносимым, для него существует множество библиотек, а также он является самым удобным языком для web scraping'a.

Анализ расписания

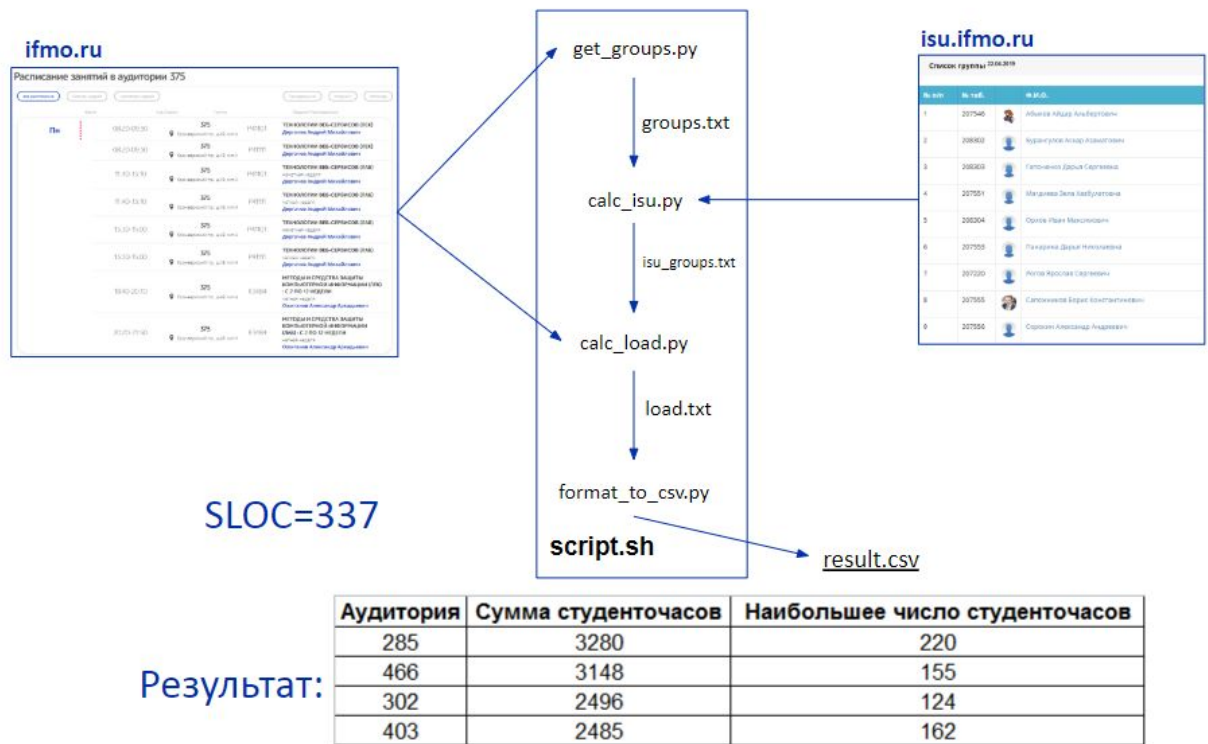


Рисунок 7 – Схема работы скриптов (SLOC - Source Lines of Code)

Скрипт работает в 4 этапа, соответствующих файлам с Python-кодом.

Этап 1 заключается в получении списка групп, у которых по расписанию есть занятия в аудиториях, находящихся в корпусе на Кронверкском 49, список которых получен с его плана, доступного на сайте Университета ИТМО. Сбор информации заключается в получении ответа от ifmo.ru с помощью библиотеки urllib2 и парсинга их регулярными выражениями с помощью библиотеки re.

На этапе 2 каждой группе из списка сопоставляется число студентов, состоящих в ней на основании данных, хранящихся на isu.ifmo.ru. Это делается с помощью библиотеки для веб-тестирования selenium, так как другого способа

пройти авторизацию сайта найдено не было. Следует заметить, что скрипт работает неприемлемо долго, так как имитирующий пользовательское взаимодействие selenium ждет прорисовку каждой страницы порядка 2 секунд, что при выполнении на 578 групп дает очень большую задержку.

Этап 3 состоит в расчете нагрузки. Как уже было замечено, сайт ifmo.ru позволяет обращаться к расписанию по аудиториям, что весьма удобно, однако, обладает одной не очень приятной особенностью: в случае существования аудитории с номером X более чем в одном корпусе, расписание будет показано для всех корпусов. К тому же, пары бывают 3 видов: по четным неделям, по нечетным неделям и по всем (общая). Таким образом, для точного расчета нагрузки необходимо учесть:

- адрес аудитории;
- день недели;
- время;
- тип пары: четная/нечетная/общая;
- группы.

Что и было сделано с помощью использования языка XPath в функционале библиотеки lxml, однако стоит заметить, что вёрстка расписания выполнена не лучшим образом и имеет проблемы в логике (например, html-теги *td*, содержащие *span*-ы, которые содержат информацию о времени проведения занятия и о группе, оба имеют параметр *class="time"*, что весьма странно и оставляет единственный способ различить, так как тег группы еще имеет параметр *style="width:8%"*, никаким образом не указывающий на смысловую составляющую содержимого). Также выяснилось, что дней недели в расписании гораздо больше 6, так как ими могут оказаться как двухбуквенные сокращения вроде “Пн” и “Вт”, так и дата в формате ДД.ММ.ГГГГ, потому что и регулярные и нерегулярные занятия пишутся в одно расписание, причем у

нерегулярных дней также выставляется значения дня недели в id таблицы, что в результате может заставить программу думать, что в маленькой компьютерной аудитории 371 может одновременно находиться 276 человек (так как в определенный день недели в одно и то же время по расписанию в ней должно находиться именно столько). Из-за всех этих недостатков выражения XPath и сам код получились не стройными. Результатом расчета является сумма и максимальное значение студенто-часов. Для правильного понимания следует внести ясность в определения.

1. Студенто-час – студент, проводящий университетский час в аудитории, которая предписана его группе по расписанию.
2. Университетский час – два академических часа ($2 * 45 = 90$ минут).
Определение введено по причине того, что в Университете ИТМО, как и в большинстве российских ВУЗов, занятия проводятся “парами”, то есть двумя академическими часами подряд без перерыва.

Таким образом, для получения “правильных” студенто-часов необходимо умножить полученные результаты на 2, однако качественного изменения в данные это действие не внесет.

На этапе 4 результаты расчета нагрузки форматируются в более удобный для чтения csv-формат, с которым может работать математическое ПО, такое как Microsoft Excel или LibreOffice Calc.

Python-скрипты обернуты в shell-скрипт, который их поочередно вызывает и перенаправляет выводы в соответствующие файлы. Такое решение было продиктовано, во-первых, желанием упростить файловый вывод, отдав его под управление средств ОС, во-вторых, необходимостью создать “контрольные точки” (если выполнение скрипта закончится с ошибкой на этапе X, предыдущие этапы можно не выполнять, закомментировав соответствующие строки в script.sh) и, в третьих, особенностями объекта исследования и urllib2.

Дело в том, что количество проверяемых аудиторий очень велико (277) и на каждую отправляется request, что может приводить к ошибке типа *<urlopen error [errno 110] connection timed out>* даже в пределах одного этажа. Для решения этой проблемы было решено разбить анализ разных этажей на разные вызовы скрипта (номер этажа передается параметром командной строки) – каждый вызов дописывает результат выполнения в соответствующий файл, из которого потом читает последующий скрипт.

Для исследования был использован интерпретатор Python 2.7.12 (default, Nov 12 2018, 14:36:49) и [GCC 5.4.0 20160609] on linux2 на базе системы Linux HP-EliteBook-2560p 4.15.0-43-generic #46~16.04.1-Ubuntu SMP Fri Dec 7 13:31:08 UTC 2018 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux.

Стоит заметить, что для правильной работы скрипта необходимы библиотеки *urllib2, re, os, sys, time, itertools, selenium, lxml, csv*.

Листинг кода программ, отформатированных согласно PEP 8 [22], представлен в Дополнении Б. Таблица результатов выполнения этого кода представлена в Дополнении В.

2.4 Архитектура и принципы работы разработанных программных решений

Обоснование целесообразности LoS-критерия приведено в Главе 1. Программа PRO100 была выбрана по причине того, что это современная, простая и удобная среда 3D-проектирования. В качестве моделируемой зоны была выбрана столовая по причине того, что потенциально она может быть самой загруженной, так как вмещает в себя 244 сидячих места, в то время как максимальное число студентов, находящихся в самой суммарно загруженной по расписанию аудитории номер 466 составил 220. К тому же, так как посещение столовой не ограничено расписанием, а между парами бывают “окна” и по причине того, что людям свойственно чувство голода и желание его

утолить, можно смело заявить, что с высокой долей вероятности столовая является самым посещаемым местом Университета ИТМО, в котором люди проводят много времени (в противном случае она могла бы уступить лидерство холлу).

Определение Line of Sight (линия прямой видимости, далее LoS) завязано на человеческое зрение, которое заключается в возможности воспринимать информацию, которую несут световые лучи, отраженные от объекта наблюдения. В таком случае для моделирования LoS пришлось бы провести отрезок от роутера до каждого места, которое необходимо покрыть, однако в целях упрощения было принято решение сократить посредника (“cut out the middleman”) – заменить объект наблюдения источником света. Таким образом, освещенность субъекта свидетельствует о наличии LoS, а его затемненность – об отсутствии.

В данном исследовании необходимо также ввести классификацию. Line of Sight – качество субъекта «видеть» объект, с геометрической точки зрения выражающееся в существовании такого отрезка, который соединяет их:

- пересекая только человеческие обструкции (нестрогий LoS);
- не пересекая обструкций вовсе (строгий LoS).

Необходимость введения классификации продиктована следующими факторами:

- человеческая обструкция хоть и существенно снижает силу сигнала, все же не заглушает его полностью;
- человека на месте обструкции может и не оказаться (за все время обучения автор не был свидетелем ситуации, при которой все места в столовой были заняты), либо он может менять свое положение по своей воле или если его об этом попросить.

Данная модель, за исключением упрощений и допущений, отображает столовую корпуса ИТМО на Кронверкском пр., д. 49.

Упрощения и допущения:

- студенты представлены бесполоыми манекенами ростом 175 см, они занимают всю столовую (244 сидячих места);
- по причине того, что сеть проектируется для удовлетворения большого количества человек, проводящих в ней большое количество времени, зоны кафе и очереди на получение еды, окна и подоконники не требуют покрытия и поэтому не моделируются;
- по вышеуказанной причине покрытия требуют девайсы (прямоугольники, символизирующие смартфоны), находящиеся на столах напротив соответствующих сидячих мест;
- микроволновые печи моделируются источниками помех, так как излучают на частотах, близких к 2,4 ГГц;
- роутеры представлены в виде конусообразных источников света из 33 элементов (32 прямоугольника, повернутые на 45° вверх относительно 1 квадратного дна), представленного на Рисунке 8.

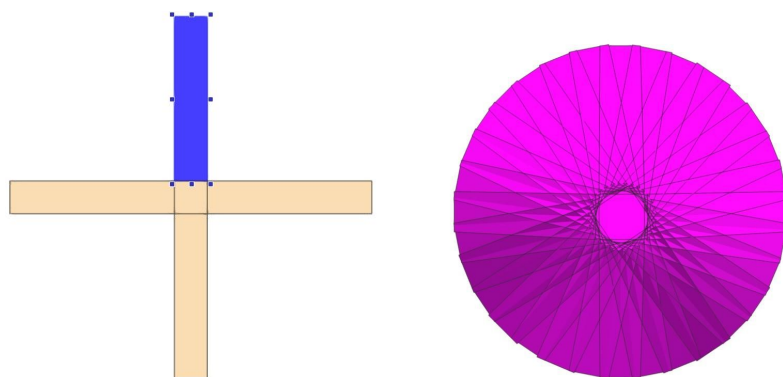


Рисунок 8 – Схема строения источников света

Число 32 было выбрано путём 5 последовательных бисекций полного угла: $360-180-90-45-22,5-11,25$. Деления проводились до тех пор, пока концы

прямоугольников не сошлись в окружность, образуя конусообразный источник света, излучающий во все стороны.

Целью моделирования LoS является выбор инфраструктуры, которая: во-первых, минимизирует количество используемых роутеров и, во-вторых, покрывает все необходимые точки, максимизируя при этом количество строгих LoS. Исходя из исследований Саркара [2; 3] и геометрии полученной модели, предлагается вариант расположения точек доступа, представленный на Рисунках 9 и 10.



Рисунок 9 – 3D-модель LoS. Вид сверху

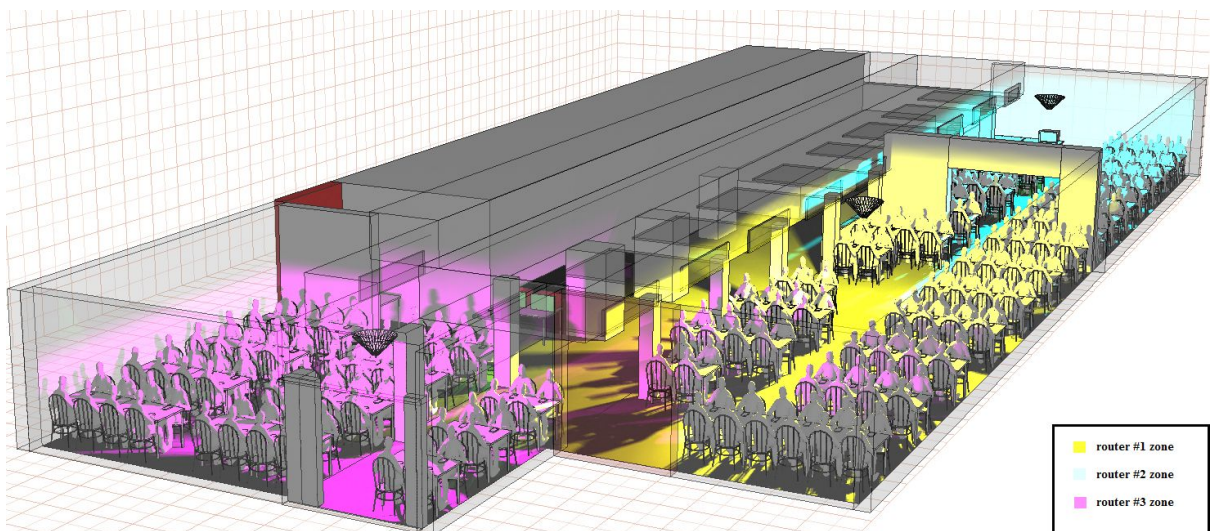


Рисунок 10 – 3D-модель LoS. Перспектива

Согласно рекомендациям точки доступа:

- центрированы относительно подзон, которые им необходимо покрыть (за исключением роутера #3);
- расположены на максимально возможных высотах – под потолками (в целях минимизации человеческих обструкций);
- удалены от источников помех.

Данная конфигурация покрывает все 244 места, причем 184 (75,41%) строгим LoS и 60 (24,59%) нестрогим LoS.

Цвета освещения конусов, символизирующих роутеры, принадлежат палитре CMYK, которая была выбрана вместо RGB по причине большей наглядности и более нейтральных цветов пересечений.

Design Guide компании Huawei [23] рассматривает построение университетских сетей 802.11ax (Wi-Fi 6), на момент написания являющегося новейшим стандартом. Рекомендации, данные LoS-моделью, не противоречат этому руководству, что дает право предполагать возможность либо построения инфраструктуры на точках доступа, поддерживающих новейший стандарт, либо приложения минимальных усилий для следующей модернизации.

2.5 Выводы по главе 2

1. Среди классов QoS, определяемых рекомендацией ITU-T Y.1541, только 3,4 и 5 могут быть использованы в учебных целях, поэтому при проектировании и модернизации сети на территории учебных корпусов можно ориентироваться на них и соответствующие требования по силе сигнала.
2. Анализ измерений покрытия корпуса на Кронверкском проспекте, д. 49, показал, что около 45% зон не удовлетворяют представленным требованиям по величинам задержки и уровня сигнала.

3. Созданные Python-скрипты позволили автоматизировать процесс анализа загруженности аудиторий по расписанию. Результаты подтверждают очевидное: самыми загруженными оказались большие лекционные аудитории 285 и 466.
4. Созданная 3D-модель LoS столовой, выбранной по причине того, что она является самым популярным местом в корпусе на Кронверкском проспекте, д. 49, показывает рекомендуемое расположение точек доступа для покрытия всех сидячих мест минимальным количеством роутеров.

ГЛАВА 3. ОБОБЩЕНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ Wi-Fi-сети Университета ИТМО

3.1 План модернизации Wi-Fi-инфраструктуры с оценкой прогнозируемой эффективности

Планируя модернизацию Wi-Fi-инфраструктуры, необходимо учесть множество факторов.

Во-первых, качественное покрытие столовой является первостепенной задачей, так как это самое посещаемое место в корпусе на Кронверкском проспекте, д. 49, и оно может вместить больше всего пользователей (244 сидячих места). Тем более, 3D-модель LoS, представленная в пункте 2.4, избавляет от необходимости ее проектирования.

Во-вторых, необходимо решить, целесообразно ли покрывать компьютерные классы. Если планировать занятия так, чтобы каждому студенту возможно было выделить рабочую станцию, либо дать ему право подключать кабель к своему ноутбуку, можно сэкономить ввиду того, что покрытие таких аудиторий Wi-Fi будет избыточным.

В-третьих, начинать улучшения стоит с мест, которые на данный момент плохо или вовсе не покрыты, так как изменения в покрытии будут замечены и восприняты гораздо сильнее (с состояния “нет сигнала” до “есть сигнал”), чем изменения в качестве (с “плохой/приемлемый сигнал” до “хороший/отличный сигнал”).

В-четвертых, при покрытии следует учитывать максимальное число одновременно находящихся в аудитории студентов, представленное в результатах анализа расписания – если itmonet удовлетворит студентов в таком случае, это также произойдет и в любом другом.

При планировании модернизации встает вопрос в количестве аудиторий, которые необходимо модернизировать. В теории игр, а точнее в ее подразделе, изучающем аукционы, существует идея “*go big or go home*”, то есть игрок либо делает большую ставку (например, то, во сколько он оценивает лот), либо не ставит вовсе. Эта идея применима здесь по причине того, что для того, чтобы улучшение возымело действие (в данном случае повысило удовлетворенность качеством сети и, как следствие, сделало хорошую рекламу), оно должно быть замечено, причем чем больше пользователей его заметят, тем лучше. Нижний порог составляет величину, хотя бы на единицу большую половины суммарного количества студенто-часов – для того, чтобы на каждый “недовольный” студенто-час пришелся хотя бы один “довольный” (что уже даст улучшение так как на данный момент из 58 анкетированных всего 9 довольны покрытием и 12 – качеством сети itmonet).

В весеннем семестре 2018/2019 учебного года в корпусе на Кронверкском проспекте, д. 49, по расписанию ifmo.ru в 56 аудиториях проходят занятия, суммарно составляющие 50394 студенто-часов (расчет долей в Таблице 12).

Таблица 12 — Множества аудиторий, необходимые для покрытия определенных долей общего количества студенто-часов

Множество аудиторий	Сумма в покрытых аудиториях	Доля покрытых студенто-часов	Целевая сумма
A1	25307	$\frac{1}{2}$	25197
A2	33825	$\frac{2}{3}$	33596
A3	38105	$\frac{3}{4}$	37796

Для покрытия $\frac{1}{2}$ всех студенто-часов потребуется покрыть множество аудиторий

$$A1 = \{285, 466, 302, 403, 562, 464, 422, 331, 414, 332, 371, 461\};$$

для покрытия $\frac{2}{3}$ –

$$A2 = A1 \cup \{206, 429, 314, 324, 571, 427, 329, 146\};$$

для покрытия $\frac{3}{4}$ –

$$A3 = A2 \cup \{230, 431a, 313, 304, 305, 372\}.$$

Очевидно, что для полного покрытия необходимо покрыть все аудитории, в которых есть пары. Их список и желательный порядок (от более к менее загруженным) указан в таблице результатов выполнения скриптов в Приложении В (A1 отмечена оранжевым, дополнение до A2 – желтым, дополнение до A3 – светло-зеленым).

Оценка прогнозируемой эффективности затруднена неопределенностью количества студентов, на выбор которых повлияет это улучшение, однако ввиду того, что это улучшение открывает большой простор для рекламы, как от Университета ИТМО так и от студентов, а также потому, что “цена студента” намного больше цены покрытия зоны, эффективность оценивается как высокая (численный расчет на примере столовой представлен в пункте 1.3).

3.2 Оценка полноты предложенного решения, анализ принятых допущений и упрощений

При анализе расписания было принято допущение, что все студенты посещают все пары, которые предписаны их группам, однако, по опыту исследователя, в реальном мире дело обстоит не так. Для получения более точных чисел следовало бы дать группам весовые коэффициенты, однако оценить долю посещаемости не представляется возможным по причине того, что журнал посещений обычно перестает вестись точно с конца первого курса.

Также необходимо учитывать, что количество студенто-часов является запланированным, то есть теоретически максимальным, реальное же число

может колебаться от названного вплоть до нуля в случае отмены занятий или закрытия аудитории на ремонт (переносы отображаются не на сайте, а на табличке у входа или о них уведомляет преподаватель в рассылке на isu.ifmo.ru).

Несложно заметить, что решение, предлагаемое данной работой, имеет в себе некоторые упрощения:

- 1) **реакционность**: критические точки выделяются по расписанию, но время на выделение ресурсов и проведение модернизации с высокой долей вероятности превысит 1 если не 2 семестра (однако столовая в некотором роде “вне времени” и всегда имеет высокую посещаемость);
- 2) **парадоксальность**: модернизировать самые загруженные аудитории нужно для того, чтобы больше студентов оценили улучшения, однако такая модернизация представляется сложной ввиду их загруженности;
- 3) **стоимостная неточность**: невозможно представить окончательные цифры стоимости приобретения и установки роутеров по причине того, что Университету ИТМО доступны механизмы тендеров и/или оптовых закупок товаров и услуг;
- 4) **неточность измерений**: оценить доверительный интервал программы WiFi Signal не представляется возможным, к тому же измерение процента ошибочных пакетов и процента потерянных пакетов провести не удалось;
- 5) **теоретичность**: в работе приводятся только теоретический анализ и моделирование, для подтверждения требуются физические опыты;
- 6) **неадаптивность**: скрипты Python работают на регулярных выражениях и XPath, зависящих от HTML-текста страницы, так что при изменениях они перестанут давать верные результаты;
- 7) **непереносимость**: несмотря на кроссплатформенность языка Python, факт того, что скрипт-обертка написан на языке командного

интерпретатора shell ограничивает множество рабочих платформ Unix-подобными.

3.3 Предложения по дальнейшему развитию и модернизации Wi-Fi-сети

Возможно, следует изменить стратегию выбора мест для улучшений, чтобы решить проблему реакционности предложенного подхода. Грубой оценкой сверху может быть количество сидячих мест в аудитории, однако такой подход довольно неточен. Может быть полезна смена объекта анализа: вместо расписания можно анализировать тех, кто его составляет, а точнее передать анализ им. Диспетчеры заранее хотя бы приблизительно знают, какие аудитории будут иметь максимальный показатель суммарных студенто-часов, и это можно использовать, превратив реакционную стратегию в прогностическую.

Проблема непереносимости может быть легко решена написанием оберточного batch-скрипта, повторяющего логику исходного shell-скрипта.

Скрипты можно оптимизировать, если вместо web scrapping'a подключить их напрямую к базам данных, с которых ifmo.ru получает расписание, а isu.ifmo.ru – списки групп студентов.

Рекомендуется провести физические эксперименты с реальными точками доступа и проверить уровень сигнала и обеспечение QoS, так как данное исследование ограничивается теорией и моделированием.

Рассматривается возможность предоставления разного приоритета преподавателям и студентам.

В случае признания VoIP-трафика важным и необходимым для учебы существует несколько путей решения задачи предоставления:

- 1) модернизация или создание заново всей Wi-Fi-инфраструктуры, так как в данном исследовании найдена всего одна зона, удовлетворяющая QoS/RSSI-требования для данного вида трафика;
- 2) выделение для этих целей более качественной сети – например, ethernet, по требованию;
- 3) использование проводных станций (компьютеров в компьютерных классах или новых специальных терминалов).

Также существует возможность, что после покрытия столовой студенты станут проводить там намного больше времени, тем самым перегрузив ее. В решении этой проблемы возможно несколько подходов:

- 1) создать временные ограничения на пребывание в столовой и разрывать подключение по истечении времени;
- 2) использовать систему наподобие “большого брата”: для авторизации в itmonet используется ID студента, такой же, какой и на ИСУ, так что есть возможность отслеживать его местонахождение (в научной литературе это называется “Indoor Wi-Fi Positioning”), этим можно воспользоваться для контроля – во время занятий разрешать подключения только в аудиториях по расписанию (однако, скорее всего, такая система окажется не гибкой к заменам и переносам);
- 3) уменьшить выигрыш студента от пребывания в столовой, то есть сделать ее хуже: более громкая музыка, более жесткие и неудобные сидения, более невкусная еда;
- 4) предоставить равноценную альтернативу, например ITMO.PLACE, чтобы сбалансировать нагрузку – после утоления голода студенту не будет иметь необходимости оставаться в Столовой, так как такое же (или даже лучше) качество сигнала есть в другом месте.

Подходы 1, 2, 3 не рекомендуются ввиду того, что они с высокой долей вероятности вызовут сильное недовольство пользователей.

Также, хоть это и не относится к исследованию напрямую, настоятельно рекомендуется либо переработать код страницы расписания (потому что на данный момент он катастрофически неудобен для web scrapping'a, да и вообще чтения), либо предоставить студентам возможность в исследовательских целях обращаться к базам данных Университета ИТМО напрямую.

3.4 Выводы по главе 3

1. Выполненный анализ расписания позволил предложить план модернизации Wi-Fi-инфраструктуры и показал, что для того, чтобы покрыть $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ и $\frac{3}{4}$ всех студенто-часов, необходимо модернизировать соответственно 12, 20 и 26 аудиторий.
2. Наиболее существенным допущением работы оказалась реакционность, состоящая в том, что критерий выбора аудитории для модернизации может перестать быть актуальным к моменту, когда модернизацию начнут. Возможным решением этой проблемы является смена критерия выбора, например, возложение анализа на диспетчеров, составляющих расписание.
3. Структура страниц расписания ifmo.ru неудобна для анализа и в случае предоставления доступа может быть заменена прямым подключением к базам данных, что повысит скорость анализа и упростит его.
4. Предложены различные методы противодействия возможному переполнению столовой как результату модернизации Wi-Fi в ней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведённого исследования были получены следующие результаты:

1. Сформулированы и обоснованы требования QoS для видов трафика, которые могут быть полезны в процессе обучения, представлены рекомендации по их приоритезации внутри сети itmonet.
2. Измерено покрытие корпуса сетью itmonet. Из рассмотренных 55 зон 30 отвечают требованиям по характеристикам QoS и уровню сигнала.
3. Разработаны Python-скрипты, автоматизирующие процесс анализа загруженности аудиторий. Результат их выполнения показал, что наиболее загруженными являются аудитории 285 и 466.
4. Создана 3D-модель LoS столовой корпуса Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49, показывающая рекомендуемое положение точек доступа Wi-Fi и их LoS-покрытие в экстремальном случае полной загрузки столовой.
5. Разработаны рекомендации по улучшению Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО в корпусе на Кронверкском проспекте, д. 49, включающие в себя желательную последовательность модернизации, необходимое количество аудиторий для разных степеней покрытия и вопросы, на которые необходимо ответить при планировании модернизаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rauf Khan A., Zeb Khan A., Ahmad I., Ullah S., Ullah N., Ullah Khan S. A Close Assessment and Analysis of Public Wifi // Vol. 14 No. 9 SEPTEMBER 2016 International Journal of Computer Science and Information Security. – 2016. – P. 165-173.
2. Sarkar N., Lo E. Performance studies of 802.11g for various AP configuration and placement. – 2011. – DOI: 10.1109/ISCI.2011.5958878.
3. Sarkar N., Osman M. The Effect of People Movement on Wi-Fi Link Throughput in Indoor Propagation Environments // IEEE 2013 Tencon - Spring, TENCONSpring 2013 - Conference Proceedings. – 2013. – DOI: 10.1109/TENCONSpring.2013.6584508.
4. Leyton-Brown K., Shoham Y. Essentials of Game Theory: A Concise Multidisciplinary Introduction. – 2008. – DOI: 10.2200/S00108ED1V01Y200802AIM003.
5. Орлов И.М. (науч. рук. Соснин В.В.) Построение эффективной Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/2125>, своб.
6. Is Your Campus Wifi Quality Affecting Student Enrollment? [Электронный ресурс] // www.securedgenetworks.com: SecurEdge Networks © 2014. URL: <https://www.securedgenetworks.com/blog/is-your-campus-wifi-quality-affecting-student-enrollment> (дата обращения: 14.01.2019).
7. Suherman. WiFi-Friendly Building to Enable WiFi Signal Indoor // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 7. – 2018. – DOI: 10.11591/eei.v7i2.871.

8. Suherman, S Mubarakah N., S Sagala R., Prayitno H. Wifi-friendly building, enabling wifi signal indoor: an initial study // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 126. – 2018. – DOI: 10.1088/1755-1315/126/1/012022.
9. Jian Y., Lall S., Sivakumar R. Toward a Self-Positioning Access Point for WiFi Networks. – 2018. – DOI: 19-28. 10.1145/3265863.3265876.
10. Альшаев И.А., Лаврухин В.А. О проектировании и оптимизации сетей Wi-Fi // Информационные технологии и телекоммуникации. Том 4. № 1. – 2016. – С. 87-95
11. Шавкун А.Ю. Дипломный проект на тему: "Проектирование беспроводной сети ООО «МЕДИПАЛ-ОНКО»" (Московский Институт Электроники и Математики Национального Исследовательского Университета 'Высшая Школа Экономики"). – 2013.
12. Herzen J., Lundgren H., Hegde N. Learning Wi-Fi Performance. – 2015. – DOI: 10.1109/SAHCN.2015.7338298.
13. Gordon F. Xu, Jin Xiu Guo Improving Library User Experience: Wi-Fi Network Assessment // Journal of Library Administration. – 2018. – P. 806-834 – DOI: 10.1080/01930826.2018.1516948
14. Suherman. A presentation on crowded access points model in wireless local area network performances. – 2019.
15. Bahaweres R., Teguh Karya O., Alaydrus M. Transmission of Real-time Video Signal with Interference Density and Human Traffic // TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) 13. – 2015. – P. 1352 – DOI: 10.12928/telkomnika.v13i4.2738.

16. Nguyen K., Kibria M., Ishizu K., Kojima F. Performance Evaluation of IEEE 802.11ad in Evolving Wi-Fi Networks // Wireless Communications and Mobile Computing – 2019. – DOI: 1-11. 10.1155/2019/4089365.
17. “You Believe You Understand What You Think I Said” The Truth About 802.11 Signal And Noise Metrics A Discussion Clarifying Often-Misused 802.11 WLAN Terminologies [Электронный ресурс]. // <http://www.n-cg.net>: Nickerson Consulting Group 2009. URL: http://n-cg.net/ncgpdf/WiFi_SignalValues.pdf
18. Борисова И. Цена студента [Электронный ресурс] // <https://rg.ru> РОССИЙСКАЯ ГАЗЕТА 21 февраля 2017 г. № 7204 URL: <https://rg.ru/2017/02/20/po-kakomu-principu-vuzy-poluchaiut-dengi-iz-biudzheta.html> (дата обращения: 12.03.2019).
19. Алиев Т.И. СЕТИ ЭВМ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2011. – 400 с. – экз. – С. 177-179, 238-239, 275-276
20. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP / Г.Г. Яновский. // Вестник связи. 2008. № 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://niits.ru/public/2008/2008-006.pdf>, своб.
21. Tips for Proper Wireless Access Point Placement [Электронный ресурс]. // www.accessagility.com: 2019 AccessAgility, LLC. URL: <https://bit.ly/30FraRl> (дата обращения: 24.12.2018).
22. PEP 8 -- Style Guide for Python Code [Электронный ресурс]. // www.python.org: Copyright ©2001-2019. Python Software Foundation Legal Statements Privacy Policy Powered by Heroku. URL: <https://www.python.org/dev/peps/pep-0008> (дата обращения: 23.03.2019).
23. Design Guide for Campus Wi-Fi Networks in the Wi-Fi 6 Era v1.0 [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://bit.ly/2JeYCsy> (дата обращения: 09.05.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКРЫТИЯ

Таблица результатов экспериментального измерения зоны покрытия Wi-Fi и других QoS-метрик.

Аудитория	Статус	Сила сигнала, dBm	Скорость, Mbps	Пинг, мс	Джиттер, мс
429	Reliable/Acceptable	-64	81	265	117
427	Excellent/Good	-52	42	303	249
304	Acceptable	-78	32	277	215
302	Good	-58	271	66	50
Столовая	Not connected	-1000	0	INF	INF
305	Good	-59	54	321	123
285	Good/Excellent	-49	204	256	56
216	Reliable	-60	304	252	68
218	Good	-55	54	243	47
219	Good	-55	54	240	50
146	Reliable	-65	43	419	391
206	Excellent/Good	-62	38	379	366
207	Poor	-91	6	INF	INF
230	Acceptable	-80	15	347	353
422	Unknown	-1000	0	INF	INF
412	Reliable	-68	54	340	304
410	Reliable	-64	54	283	66
409	Acceptable	-79	21	307	348
403	Good	-55	54	286	112
N427	Good	-56	54	843	2194
415	Reliable	-64	54	412	453
417	Acceptable	-70	15	INF	INF
466	Reliable/Acceptable	-69	161	400	670
461	Good	-54	54	321	101
N99	Reliable	-65	54	313	83
Холл	Reliable	-67	43	269	81
371	Good	-51	54	254	84

329	Unreliable	-86	6	INF	INF
331	Not connected	-1000	0	INF	INF
319	Good	-52	304	257	77
318	Reliable	-65	54	307	148
314	Acceptable	-70	32	304	129
COL N308	Good	-55	54	475	760
COL CENTRE	Excellent	-49	54	283	262
N307	Good	-53	54	265	169
N302	Reliable	-69	274	442	1290
329	Acceptable	-75	29	287	140
319	Good	-54	54	304	169
318	Excellent	-53	54	362	439
COL N303	Reliable	-62	54	274	68
COL N302	Reliable	-63	54	889	1589
414	Not connected	-1000	0	INF	INF
Актовый зал у ITMO.PLACE	Acceptable	-70	32	258	61
313	Acceptable	-72	32	247	45
Библиотека (358)	Reliable/ Acceptable	-68	43	269	90
372	Good/Reliable	-64	289	235	46
329	Reliable (not stable)	-65	54	310	272
502	Not connected	-1000	0	INF	INF
562	Not connected	-1000	0	INF	INF
564	Not connected	-1000	0	INF	INF
566	Not connected	-1000	0	INF	INF
571	Not connected	-1000	0	INF	INF
583	Not connected	-1000	0	INF	INF
576	Acceptable	-65	32	401	262
578	Acceptable	-65	44	299	217

N – Near (измерено рядом, так как доступа к аудитории не было)

COL – Колонный зал на 3 этаже

Цвет означает, удовлетворение зоны требованиям: ученического трафика, VoIP.

Приложение Б. Листинги скриптов

Листинг Б.1 – Оберточный скрипт на языке командного интерпретатора

Shell

```
ERROR_MESSAGE="The script has failed, please start again."
GROUP_FILE="groups.txt"
ISU_FILE="isu_groups.txt"
LOAD_FILE="load.txt"
RES_FILE="result.csv"

: > $RES_FILE
: > $GROUP_FILE
: > $LOAD_FILE

echo "Performing 4-step schedule analysis..."
for i in $(seq 1 5)
do
    python get_groups.py $i >> $GROUP_FILE || {
        echo $ERROR_MESSAGE
        exit $((10+$i))
    }
done
echo "Done 1st."

python calc_isu.py $GROUP_FILE > $ISU_FILE || {
    echo $ERROR_MESSAGE
    exit 20
}
echo "Done 2nd."

for i in $(seq 1 5)
do
    python calc_load.py $ISU_FILE $i >> $LOAD_FILE || {
        echo $ERROR_MESSAGE
        exit $((30+$i))
    }
done
echo "Done 3rd."
```

```
python format_to_csv.py $LOAD_FILE $RES_FILE || {
    echo $ERROR_MESSAGE
    exit 40
}
echo "Finished."
# rm $GROUP_FILE $ISU_FILE $LOAD_FILE
```

Листинг Б.2 – Сбор названий групп с парами в аудиториях на Кронверкском проспекте, д. 49, на языке Python

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-
import urllib2
import re
from sys import stderr, argv
from time import sleep
from itertools import chain

GROUP_RE = '<td class="time" style="width:8%"><span>(.)</span></td>'

first_floor = tuple(chain(range(136, 147), [
    98, 99, 100, 151, 153, 154, 157, 162, 161, 160,
    158, '147a', '147б', '147в', '147г', 190]))
second_floor = tuple(chain(range(251, 296), range(
    201, 231), [235, 236, 237, 239, '209a', '210a']))
third_floor = tuple(chain(range(302, 338), [
    '326б', '330a', '303a', '368a'], range(359, 382)))
fourth_floor = tuple(chain(range(401, 435), [
    454, 458, 461, 464, 465, 466, 467, '467a', 478, 468,
    469, 470, 471, 472, '472a', 473, 474, 475, 477, 479,
    447, '406a', '425a', '430a', '430б', '430в', '431a',
    '431б', '431в', '431г', '431д', '431е', '433a', '433б']))
fifth_floor = tuple(chain(range(560, 583), [
    513, 501, 511, 512, 502, 505, '505a', '505б',
    '504a', '504б', 551, 552, 553, 556, 583]))
all_floors = (first_floor, second_floor,
    third_floor, fourth_floor, fifth_floor)
```

```

def get_groups(room):
    url = 'http://www.ifmo.ru/ru/schedule/2/{}/schedule.htm'.format(room)
    request = urllib2.Request(url)
    while True:
        try:
            response = urllib2.urlopen(request)
        except urllib2.URLError, e:
            stderr.write('Error at room {}: {}\n'.format(room, str(e)))
            sleep(7)
        else:
            break
    page_text = response.read()
    groups = set(re.findall(GROUP_RE, page_text))
    response.close()
    return groups

def get_groups_per_room_on_floor(i):
    groups = set()
    for room in all_floors[i-1]:
        groups |= get_groups(room)
        sleep(1)
    return groups

def main():
    if not argv or len(argv) != 2:
        print('usage: python '+argv[0]+' [12345]\n\
where the number is the floor number you want to \
get groups from.')
        exit(1)
    i = min(5, int(argv[1]))
    all_groups = get_groups_per_room_on_floor(i)
    print(all_groups)
    return 0

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Листинг Б.3 – Сбор численности групп на языке Python

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-
from time import sleep
from os import path, getcwd
from sys import argv, exit
from selenium import webdriver
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.common.exceptions import NoSuchElementException

DRIVER = webdriver.Firefox(executable_path=path.join(getcwd(), 'geckodriver'))
XPATH =
"//table[@id='report_R1725000247147253423']/tbody/tr[position()=last()]/td"
LOGIN = "123456"
PASSWORD = "*****"

def get_group_count(group):
    url =
'https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2143:GR:100054145359156::NO:RP:GR_GR,GR_DATE:{},
'.format(
        group)
    DRIVER.get(url)
    try:
        elem = DRIVER.find_element_by_xpath(XPATH)
    except NoSuchElementException:
        return 0
    return int(elem.text)

def setup():
    DRIVER.get("https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2143:LOGIN:100872902374855")
    elem = DRIVER.find_element_by_name("p_t12")
    elem.clear()
    elem.send_keys(LOGIN)
    elem = DRIVER.find_element_by_name("p_t13")
    elem.clear()
    elem.send_keys(PASSWORD)
    elem.send_keys(Keys.RETURN)
```

```

def teardown():
    DRIVER.quit()

def main():
    if len(argv) != 2:
        print('usage: python '+argv[0]+' groups.txt\n')
        teardown()
        exit(1)

    f = open(argv[1])

    groups = set()
    for line in f.readlines():
        groups |= eval(line)

    setup()
    sleep(1)
    group_students = {}
    for group in groups:
        group_students[group] = get_group_count(group)
        sleep(1)

    teardown()
    print(group_students)
    return 0

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Листинг Б.4 – Расчет нагрузки аудиторий на языке Python

```

#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-
import urllib2
from sys import argv, exit, stderr
from time import sleep

```



```

from lxml import html
from itertools import chain

ADR = "Кронверкский пр., д.49, лит.А"
week_types = {u'четная неделя': '_0', u'нечетная неделя': '_1'}

first_floor = tuple(chain(range(136, 147), [
    98, 99, 100, 151, 153, 154, 157, 162, 161, 160,
    158, '147a', '147б', '147в', '147г', 190]))
second_floor = tuple(chain(range(251, 296), range(
    201, 231), [235, 236, 237, 239, '209a', '210a']))
third_floor = tuple(chain(range(302, 338), [
    '326б', '330a', '303a', '368a'], range(359, 382)))
fourth_floor = tuple(chain(range(401, 435), [
    454, 458, 461, 464, 465, 466, 467, '467a', 478, 468,
    469, 470, 471, 472, '472a', 473, 474, 475, 477, 479,
    447, '406a', '425a', '430a', '430б', '430в', '431a',
    '431б', '431в', '431г', '431д', '431е', '433a', '433б']))
fifth_floor = tuple(chain(range(560, 583), [
    513, 501, 511, 512, 502, 505, '505a', '505б',
    '504a', '504б', 551, 552, 553, 556, 583]))
all_floors = (first_floor, second_floor,
               third_floor, fourth_floor, fifth_floor)

url = 'http://www.ifmo.ru/ru/schedule/2/{}/schedule.htm'

def get_text(room):
    request = urllib2.Request(url.format(room))
    while True:
        try:
            response = urllib2.urlopen(request)
        except urllib2.URLError, e:
            stderr.write('Error at room {}: {}\n'.format(room, str(e)))
            sleep(7)
        else:
            break
    page_text = response.read()

```

```

response.close()
return page_text

def get_sched(room):
    tree = html.fromstring(get_text(room))
    room_schedule = {}
    for i in range(1, 7):
        times = tree.xpath(
            '//*table[@id="{day}"]//td[@class="time" \
            and count(@*)=1]/span'.format(i))
        if len(times) > 0:
            room_schedule[i] = {}
        else:
            continue

    for t in times:
        day = t.xpath(
            '../...//th[@class="day" or @class="today day"]/span')[0].text
        if day not in room_schedule[i]:
            room_schedule[i][day] = {}
        if t.text not in room_schedule[i][day]:
            room_schedule[i][day][t.text] = []
        adr = t.xpath('../.../td[@class="room"]/dl/dt/span')
        for a in adr:
            if a.text.encode('utf-8') == ADR:
                for lssn in a.xpath('../...//td[@class="time" \
                    and @style="width:8%"]/span'):
                    oddness = lssn.xpath(
                        '../.../td[@class="lesson"]/dl/dt[not(b)]')[0].text
                    if oddness in week_types:
                        oddness = week_types[oddness]
                    else:
                        oddness = ''

            if t.text+oddness not in room_schedule[i][day]:
                room_schedule[i][day][t.text+oddness] = [lssn.text]
            else:
                room_schedule[i][day][t.text+oddness].append(

```

```

        lssn.text)

    return room_schedule

def main():
    if not argv or len(argv) != 3:
        print('usage: python '+argv[0]+'isu_groups.txt [12345]\n\
        where the number is the floor number you want to \
        calculate amount of classes for.')
        exit(1)

    with open(argv[1]) as f:
        groups_count = eval(f.readline())

    i = min(5, int(argv[2]))
    floor_schedule = {}
    for room in all_floors[i-1]:
        floor_schedule[room] = get_sched(room)

    for room in floor_schedule:
        for i in floor_schedule[room]:
            for day in floor_schedule[room][i]:
                for time in floor_schedule[room][i][day]:
                    floor_schedule[room][i][day][time] = sum(
                        list(map(lambda x: int(groups_count[x]),
                                floor_schedule[room][i][day][time])))

    result = []
    for room in floor_schedule:
        stud_count = [0]
        for d in floor_schedule[room].values():
            for v in d.values():
                stud_count.extend(v.values())
        result.append((room, sum(stud_count), max(stud_count)))

    print(sorted(result, key=lambda x: x[1], reverse=True))
    return 0

```

```
if __name__ == '__main__':
    main()
```

Листинг Б.5 – Форматирование результатов в csv-формат на языке Python

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-
import csv
from sys import argv, exit

def main():
    if len(argv) != 3:
        print('usage: python '+argv[0]+' load.txt result.csv\n')
        exit(1)

    result = []
    with open(argv[1]) as f:
        content = f.readlines()
    for s in content:
        result.extend(eval(s))

    result = filter(lambda x: x[2] > 0, result)

    with open(argv[2], mode='w') as f:
        w = csv.writer(f, delimiter=',', quotechar='"',
                       quoting=csv.QUOTE_MINIMAL)
        w.writerow(['Classroom #', 'Sum of student-hours',
                    'Max of student-hours'])
        for r in sorted(result, key=lambda x: x[1], reverse=True):
            w.writerow(r)

    return 0

if __name__ == '__main__':
    main()
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В. РЕЗУЛЬТАТ АНАЛИЗА РАСПИСАНИЯ

Таблица результатов анализа расписания весеннего семестра 2018/2019 учебного года.

Аудитория	Сумма студенто-часов	Наибольшее число студентов одновременно
285	3280	220
466	3148	155
302	2496	124
403	2485	162
562	2366	58
464	2092	81
422	1940	101
331	1925	137
414	1562	30
332	1393	129
371	1330	26
461	1290	75
206	1244	87
429	1170	79
314	1133	30
324	1114	104
571	1008	34
427	1005	65
329	955	32
146	889	58
230	735	27
431a	727	111
313	720	36
304	718	27
305	692	27
372	688	43

99	670	47
583	663	19
564	656	66
359	653	70
306	626	36
566	571	23
315	563	23
428	533	26
239	527	28
319	490	26
502	489	41
151	485	26
409	460	40
415	421	24
375	407	39
417	388	24
412	368	33
236	358	22
410	355	28
318	352	32
190	338	26
578	305	49
381	287	28
237	264	27
365	263	54
576	234	41
207	195	24
431д	172	27
431б	119	27
579	77	22

Мегафакультет компьютерных технологий и управления
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Построение эффективной Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО

Докладчик – Орлов Иван Максимович
группа Р3400

Руководитель – Соснин В.В.,
к.т.н., Университет ИТМО

Санкт-Петербург

2019



Краткая характеристика проведённого исследования

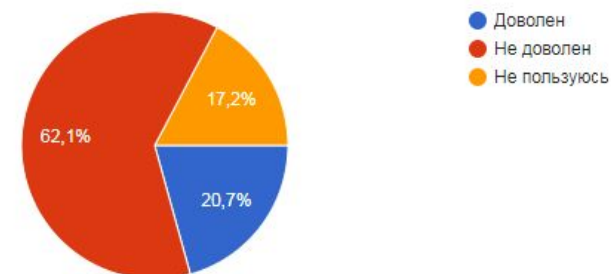
- Объект исследования — Wi-Fi-инфраструктура Университета ИТМО.
- Предмет исследования — качество предоставления услуг указанной сетевой инфраструктуры.
- Цель исследования — повысить качество оказания услуг, минимизируя при этом расходование бюджетных средств.

Результаты анкетирования

Место	SecurEdge	ИТМО
1	Исследование и учеба	Исследование и учеба
2	Просмотр видео	Социальные сети
3	Стриминг	Просмотр видео
4	Социальные сети	Новости и блоги
5	Новости и блоги	Шоппинг
6	Шоппинг	Игры
7	Игры	IP-телефония
8	IP-телефония	Стриминг

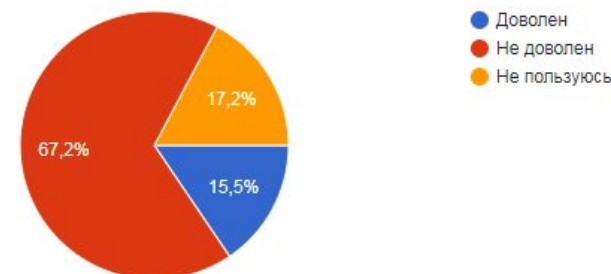
Довольны ли Вы качеством сети itmonet?

58 ответов



Довольны ли Вы покрытием сети itmonet?

58 ответов



Время онлайн, ч	SecurEdge, %	ИТМО, %
[0;4)	19	9
[4;8)	40	29
[8;12)	29	28
[12;16)	8	24
[16;24]	4	10

Проблема

Обеспечение качественного покрытия Университета ИТМО Wi-Fi-сетью itmonet.

Для каждой зоны существует игра:

Студенты \ Университет	Ничего не делать	Обеспечить качественное покрытие зоны
Пользоваться мобильным интернетом	$N^*(-A), 0$	$N^*(-A), (B(N)-C(N))$
Пользоваться сетью itmonet	$0, 0$	$0, (B(N)-C(N))$

Где N – число студентов в данной зоне;

A – затраты студента на мобильный интернет;

$B(N)$ – функция выигрыша Университета от студентов;

$C(N)$ – функция затрат Университета на Wi-Fi-покрытие.

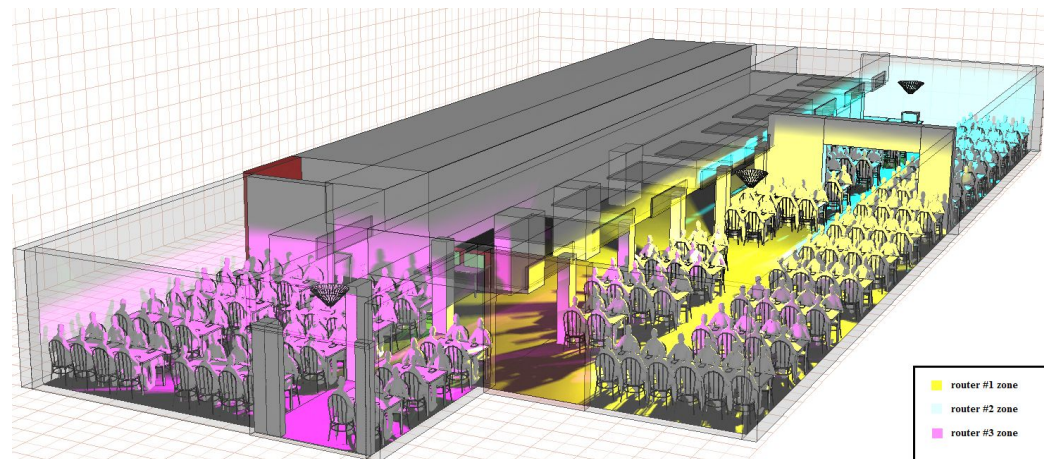
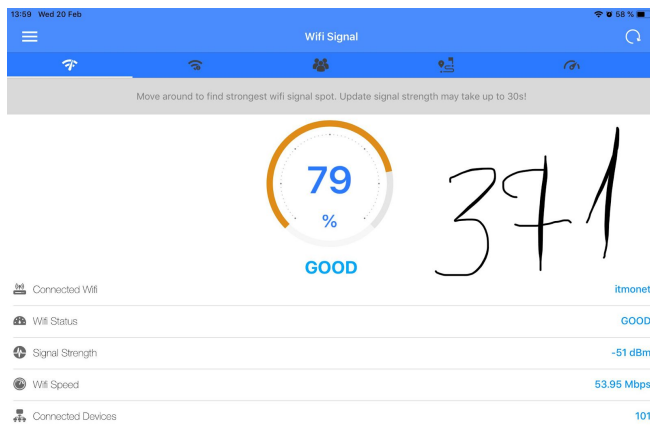
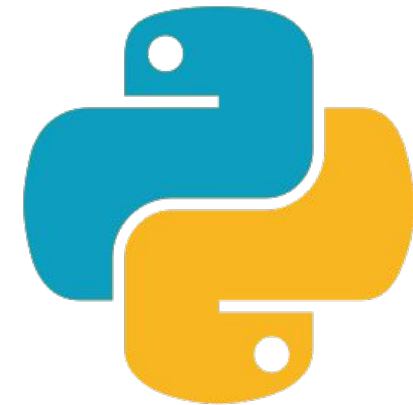
Все величины измеряются в рублях и охватывают рассматриваемый временной период.

Задачи исследования

- Сформулировать требования QoS/RSSI с учётом специфики использования Интернета студентами.
- Оценить текущее качество работы Wi-Fi в ИТМО.
- Проанализировать университетский Wi-Fi-трафик с учётом расписания занятий и численности групп.
- Выбрать одну зону и составить план её модернизации.
- Разработать рекомендации по улучшению Wi-Fi в ВУЗе.

Методы и средства исследования

1. Математический аппарат теории игр
2. Программа Wifi Signal
3. Язык программирования Python
(библиотеки: urllib2, re, selenium, lxml)
4. Среда 3D-моделирования PRO100



Обзор известных решений

Название труда	Автор(ы)	Резюме
WiFi-Friendly Building to Enable WiFi Signal Indoor.	Suherman	Измерение характеристик влияния различных материалов на сигнал и структура "hole-in-the-wall".
Toward a Self-Positioning Access Point for WiFi Networks.	Jian et al.	Динамическое позиционирование точки доступа как способ увеличения эффективности сети.
О проектировании и оптимизации сетей Wi-Fi.	Альшаев И.А. и др.	Классическая работа по проектированию сетей, использующая TamoGraph Site Survey.
Learning Wi-Fi Performance.	Herzen et al.	Применение машинного обучения для "предсказания" оптимальной инфраструктуры сети.

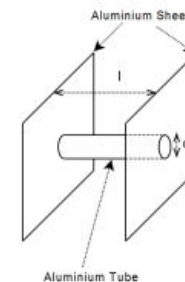
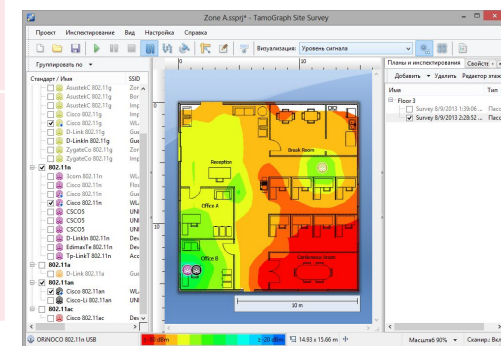


Figure 4. A hole-in-the-wall structure



Figure 1: A self-positioning AP system



Теоретическая база исследования

Название труда	Автор(ы)	Резюме	
The Effect of People Movement on Wi-Fi Link Throughput in Indoor Propagation Environments.	Sarkar & Mussa	Влияние Line-of-Sight и человеческих обструкций на качество сигнала Wi-Fi.	LoS-критерий и позиционирование AP
Performance studies of 802.11g for various AP configuration and placement.	Sarkar & Lo	Влияние конфигурации и позиционирования точки доступа на качество сигнала Wi-Fi.	
A Close Assessment and Analysis of Public Wifi	Abdul Rauf Khan et al	Рассмотрение и анализ публичных сетей стандарта 802.11.	Рекомендация LoS
Качество обслуживания в сетях IP	Яновский Г.Г.	Описание классов и способов обеспечения QoS.	Требования Y.1541

Изменения требований QoS

ITU-T Y.1541

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка, мс	100	400	100	400	1000	Н
Джиттер, мс	50	50	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потери	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	Н
Коэффициент ошибок	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	Н


Учебный
трафик

Сетевые характеристики	Классы QoS		
	3	4	5
Задержка, мс	400	1000	Н
Джиттер, мс	Н	Н	Н
Коэффициент потери	1E-03	1E-03	Н
Коэффициент ошибок	1E-04	1E-04	Н

Требования к Показателю Уровня Принимаемого Сигнала (RSSI)

Сила сигнала, dBm	Описание	Необходима для
-30	Максимальная сила сигнала, достижимая только в непосредственной близости. Нетипична для реального мира.	Н/Д
-67	Минимальная сила для приложений, требующих надежную, своевременную доставку.	VoIP/VoWiFi, стриминг видео
-70	Минимальная сила для надежной передачи.	Email, web
-80	Минимальная сила для базового соединения, передача может быть ненадежна.	Н/Д
-90	Уровень исключительно шума. Любая функциональность маловероятна.	Н/Д

Требования ученического трафика к сетевым характеристикам

Сила сигнала, dBm	Задержка, мс	Коэффициент потерь	Коэффициент ошибок
≥ -70	≤ 400	$\leq 1E-03$	$\leq 1E-04$

Измерения покрытия

Условия проведения эксперимента:

- Длительность одного замера – 30 секунд.
- Замеры проводились во время перерывов, т.е. в аудитории находились студенты, создающие конкурирующие подключения.
- Если площадь аудитории превышала 20 м², проводилось несколько замеров, результаты которых усреднялись.

В ходе измерений была установлена целесообразность использования LoS ввиду толщины и материала стен.

Аудитория	Статус	Сила сигнала, dBm	Скорость, Mbps	Пинг, мс	Джиттер, мс
429	Reliable/Acceptable	-64	81	265	117
427	Excellent/Good	-52	42	303	249
304	Acceptable	-78	32	277	215
302	Good	-58	271	66	50



Анализ расписания

ifmo.ru

Расписание занятий в аудитории 375

Всё расписание | Личное расписание | Личное расписание

Пн

Время	Аудитория	Группа	Преподаватель
08:20-09:50	375	P41101	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛЕК) Дегтярев Андрей Михайлович
08:20-09:50	375	P41111	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛЕК) Дегтярев Андрей Михайлович
11:40-13:10	375	P41101	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛАБ) четная неделя Дегтярев Андрей Михайлович
11:40-13:10	375	P41111	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛАБ) четная неделя Дегтярев Андрей Михайлович
15:30-15:00	375	P41101	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛАБ) четная неделя Дегтярев Андрей Михайлович
15:30-15:00	375	P41111	ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ (ЛАБ) четная неделя Дегтярев Андрей Михайлович
18:40-20:10	375	R3484	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ (ЛЕК) С 2 ПО 12 НЕДЕЛИ Овсеганов Александр Аркадьевич
20:20-21:50	375	R3484	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ (ЛАБ) С 2 ПО 12 НЕДЕЛИ четная неделя Овсеганов Александр Аркадьевич

isu.ifmo.ru

Список группы 22.04.2019

№ п/п	№ таб.	Ф.И.О.
1	207546	Абызов Айдар Альбертович
2	208302	Бурангулов Аскар Азаматович
3	208303	Гапоненко Дарья Сергеевна
4	207551	Магдиева Зела Хазбулатовна
5	208304	Орлов Иван Максимович
6	207553	Панарина Дарья Николаевна
7	207220	Рогов Ярослав Сергеевич
8	207555	Сапожников Борис Константинович
9	207556	Сорокин Александр Андреевич

get_groups.py

groups.txt

calc_isu.py

isu_groups.txt

calc_load.py

load.txt

format_to_csv.py

script.sh

result.csv

SLOC=337

Результат:

Аудитория	Сумма студенто-часов	Наибольшее число студентов одновременно
285	3280	220
466	3148	155
302	2496	124
403	2485	162

3D-модель LoS

- LoS (Line-of-Sight) – способность субъекта «видеть» объект; с геометрической точки зрения – существование такого отрезка, который соединяет их:
 - 1) пересекая только человеческие обструкции (*нестрогий LoS*);
 - 2) не пересекая обструкций вовсе (*строгий LoS*).

Данная модель, за исключением упрощений и допущений, отображает столовую корпуса ИТМО на Кронверкском пр., д. 49.

3D-модель LoS. Вид сверху



Рекомендации по улучшению Wi-Fi

- Покрытие столовой является первостепенной задачей.
- Необходимо решить, целесообразно ли покрывать компьютерные классы.
- При планировании модернизации необходимо учитывать текущее качество покрытия (измерения в Приложении А).
- Желательный порядок покрытия аудиторий указан в результате анализа расписания (Приложение В).

Результаты

- Разработаны требования QoS/RSSI для трафика, который может быть использован в процессе обучения.
- Измерено покрытие корпуса сетью itmonet, 30 из 55 зон отвечают требованиям по задержке и уровню сигнала.
- Разработано программное решение, автоматизирующее процесс анализа загруженности аудиторий. Наиболее загруженными являются аудитории 466 и 285.
- Составлен план модернизации столовой на основе 3D-модель LoS.
- Разработаны рекомендации по улучшению Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО.

Апробация результатов исследования

- Выступление на конференции:

VIII Конгресс молодых ученых Университета ИТМО, Компьютерные технологии и управление / Компьютерные системы, сети и технологии.

- Публикация:

Орлов И.М. (науч. рук. Соснин В.В.) Построение эффективной Wi-Fi-инфраструктуры Университета ИТМО // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. - 2019 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/2125>, своб.

Спасибо за внимание!

www.ifmo.ru

Расчёт “стоимости”

Допущения:

- рассматриваются студенты-бакалавры;
- “цена студента” приравнивается цене его обучения;
- так как тендеризацию и оптовые закупки товаров/услуг точно проанализировать невозможно, расчёт проводится без них;
- рассчитывается рассмотренная зона – столовая;
- рассматривается худший случай: max затраты, min прибыль;

Источники:

- стоимость обучения — http://edu.ifmo.ru/file/pages/8/prikaz_121-od_ot_28.02.2018.pdf
- стоимость установки — <http://pchlp.ru/nastroyka-interneta-nastroyka-routera.html>
- роутер выбирается из подборок:
<https://www.kp.ru/putevoditel/tekhnologii/luchshie-routery-dlya-doma-wi-fi/>
<https://geeksus.ru/rejtingi/luchshij-router-dlya-doma-2017/>

Расчёт “стоимости”

- Усредненная стоимость обучения студента на основе списка групп первого курса с парами на Кронверкском пр., д. 49 и приказа 121-од составляет приблизительно *208354 рубля 43 копейки*.
- Стоимость выбранного роутера Asus RT-AC86U равна *17000 рублей*. Работы по установке — *1500 рублей* за точку доступа.

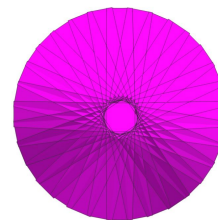
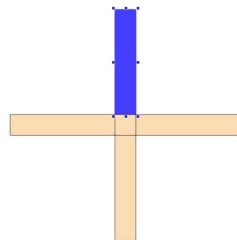
Итого для столовой в худшем случае:

$$B(N)-C(N)=(1*208354)-(3*[17000+1500])=152854 \text{ рублей}$$

Либо 48677 за первый семестр (плата вносится в два этапа)

3D-модель LoS

- Упрощения и допущения:
 - 1) студенты представлены бесполыми манекенами ростом 175 см, они занимают всю столовую (244 места);
 - 2) зоны кассы кафе и очереди на получение еды не требуют покрытия и поэтому не моделируются;
 - 3) роутеры представлены в виде конусообразных источников света из 33 элементов (32 прямоугольника, повернутые на 45° вверх относительно 1 квадратного дна)



3D-модель LoS. Перспектива

