

Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

Самостоятельная работа №1

Сети и телекоммуникации

Выполнили студенты
группы 5130904/20101.....Коба А.Ю.

Вдовина С.А.

ПреподавательМедведев Б.М.

I. Цель

Провести анализ параметров радиосвязи и свойств сигналов сетей 2G, 3G, 4G и Wi-Fi, включая мощность, показатели подключений, скорость передачи данных и задержку, в пределах заданной зоны исследования.

II. Задание

1. Установить программное обеспечение Network Cell Info Lite
2. Изучить руководство пользователя
3. Измерить мощность принимаемого сигнала (RSRP для 4G или RSSI для 3G, 2G, Wi-Fi) в 3 местах (в пределах помещения или в диапазоне 10 метров на улице)
4. Записать результаты оценки статистики подключения к сети между 2G, 3G, 4G для контроля включения соответствующего режима работы сети.
5. Измерить расстояние до базовой станции по карте
6. Измерить скорость передачи данных, задержку (ping) и вариацию задержки (jitter) для одного места измерения мощности сигнала 5 раз с интервалом 2 минуты

III. Обработка результатов

1. Рассчитать ожидаемую мощность сигнала по применимым моделям для 2G, 3G, 4G при следующих параметрах:
 - о Частота сигнала определяется как середина используемого в эксперименте диапазона частот Downlink
 - о Мощность передатчика базовой станции сотовой сети 43 дБм.
 - о Коэффициент усиления антенны базовой станции 15 дБ, сотового телефона 0 дБ.
 - о При отсутствии возможности оценить высоту установки антенны базовой станции использовать типовое значение для макросоты или микросоты.
2. Рассчитать ожидаемую мощность сигнала для Wi-Fi при следующих параметрах:
 - о Мощность передатчика точки доступа Wi-Fi 20 дБм.
 - о Коэффициент усиления антенны точки доступа и Wi-Fi телефона 0 дБ
3. Сравнить результаты расчета мощности сигнала на входе приемника с измерениями
4. Определить вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема при условии:
 - о измеренные значения мощности сигнала являются средними значениями случайной величины с нормальным законом распределения и стандартным отклонением, определенным в моделях для 2G, 3G, 4G;
 - о мощность сигнала на входе приемника должна быть больше – 100 дБм – типового значения чувствительности приёмника, при котором достигается вероятность приема кадра без ошибки не менее 90%.
5. Определить среднюю скорость передачи и диапазон изменения скорости для всех режимов работы. Сравнить с максимальной достижимой скоростью передачи и с типовыми значениями из табл. 1.9.
6. Определить среднюю задержку (ping) передачи и диапазон изменения задержки для всех режимов работы. Сравнить с типовыми значениями из табл. 1.10. Рассчитать задержку сигнала в радиолинии и определить долю этой величины в общей задержке передачи кадров.

IV. Результаты

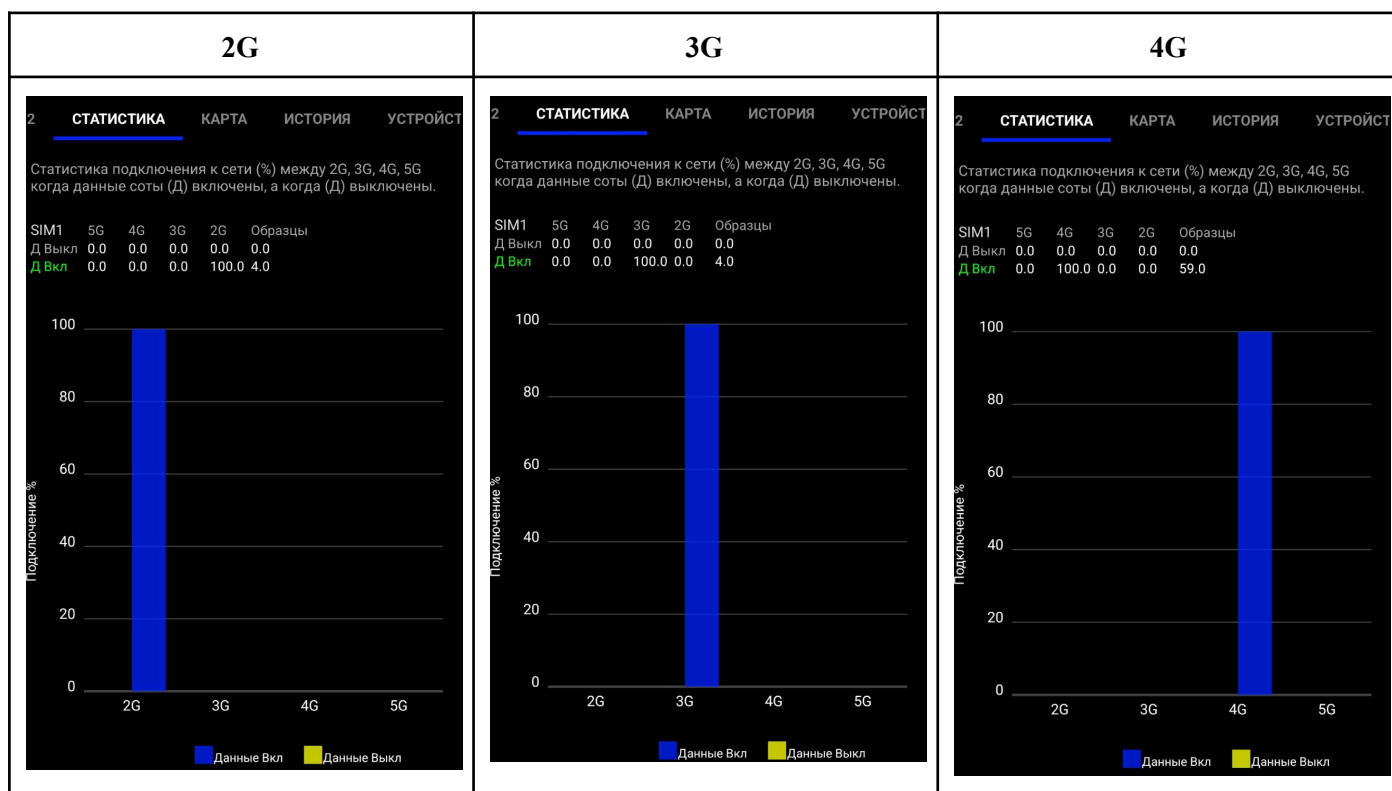
1. Ожидаемая мощность

Были проведены измерения в пределах помещения в трех местах, после завершения интервала усреднения записывались результаты

Мощность					
Режим работы сети	Стандарт	Тип	№1 (Дбм)	№2 (Дбм)	№3 (Дбм)
2G	EDGE	RSSI	-69	-83	-77
3G	HSPA+	RSSI	-81	-93	-81
4G	LTE+	RSRP	-101	-111	-97
Wi-Fi	WiFi6	RSSI	-52	-30	-60

2. Результаты оценки статистики подключения

Для гарантии активации корректного сетевого режима была выполнена проверка настройки нужного режима, а также отсутствие изменений режима работы, управляемых базовой станцией сети, что должно было соответствовать 100%



3. Расстояние до станций

Режим работы сети	№1 (м)	№2 (м)	№3 (м)
2G	220	225	215
3G	150	155	145
4G	150	155	145

4. Скоростные измерения передачи данных

Измерение						
Режим работы сети		№1	№2	№3	№4	№5
2G	Upload (Кбит/с)	56.2 Кбит/с	58.6 Кбит/с	65.8 Кбит/с	57.8 Кбит/с	57.9 Кбит/с
	Download (Кбит/с)	200.2 Кбит/с	212.6 Кбит/с	207.3 Кбит/с	232.2 Кбит/с	217.6 Кбит/с

	Ping (мс)	190 мс	197 мс	213 мс	204 мс	194 мс
	Jitter (мс)	23 мс	80 мс	43 мс	34 мс	85 мс
3G	Upload (Мбит/с)	3.9 Мбит/с	1.1 Мбит/с	4.0 Мбит/с	2.1 Мбит/с	2.2 Мбит/с
	Download (Мбит/с)	3.9 Мбит/с	3.3 Мбит/с	4.2 Мбит/с	3.4 Мбит/с	4.0 Мбит/с
	Ping (мс)	42 мс	42 мс	38 мс	53 мс	41 мс
	Jitter (мс)	8 мс	25 мс	21 мс	24 мс	31 мс
4G	Upload (Мбит/с)	19.4 Мбит/с	18.1 Мбит/с	13.8 Мбит/с	18.1 Мбит/с	15.2 Мбит/с
	Download (Мбит/с)	11.9 Мбит/с	10.9 Мбит/с	12.4 Мбит/с	13.7 Мбит/с	7.0 Мбит/с
	Ping (мс)	30 мс	42 мс	30 мс	31 мс	36 мс
	Jitter (мс)	8 мс	8 мс	11 мс	8 мс	7 мс

5. Расчет ожидаемой мощности

Требования по расстоянию не выполнены. Честно воспользоваться формулами не могу, но попробую:

Мощность сигнала на входе приемника записывается:

$$P_r = P_t - PL(d) \text{ дБм},$$

Вычислим затухание:

- **2G**

Воспользуемся формулой для расчета затухания сигнала в условиях города:

$$PL(d) = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(f_c) - 13,82 \cdot \lg(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{te})) \cdot \lg(d) + C_m \text{ дБ}, \quad (1.15)$$

где $a(h_{re})$ определяется формулой (11),

$C_m = 0$ дБ для городов средних размеров и пригородов со средней

плотностью деревьев,

$C_m = 3$ дБ для крупных городов.

$a(h_{re})$ – корректирующий фактор для эффективной высоты мобильной антенны, который является функцией величины зоны обслуживания.

В нашем случае:

$$a(h_{re}) = 3.2(\lg(11.75h_{re}))^2 - 4.97, \text{ дБ}$$

- **3G**

Модель затухания сигнала внутри здания (в логарифмическом масштабе, дБ) представлена в следующей упрощенной версии, основанной на модели COST для помещений.

$$PL(d) = 37 + 30\lg(d) + 18.3n^{\frac{(n+2)}{(n+1)}-0.46}, \text{ дБ}$$

d – расстояние между датчиком и приемником в метрах, а n – количество этажей на пути

- **4G**

В этом случае используем следующую формулу:

$$PL_{3D-UMa-NLOS} = 161.04 - 7.1 \lg(W) + 7.5 \lg(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \lg(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \lg(h_{BS})) (\lg(d_{3D}) - 3) + 20 \lg(f_c) - (3.2 (\lg(17.625))^2 - 4.97) - 0.6(h_{UT} - 1.5) \text{ дБ}, \quad (1.23)$$

где расстояние d_{3D} измеряется в метрах, частота сигнала f_c – в ГГц,
 h – средняя высота зданий в диапазоне $5 \text{ м} < h < 50 \text{ м}$, типовое значение $h = 20 \text{ м}$,

W – ширина улицы в диапазоне $5 \text{ м} < W < 50 \text{ м}$, типовое значение $W = 20 \text{ м}$,

типовое значение $h_{BS} = 25 \text{ м}$ и $10 \text{ м} < h_{BS} < 150 \text{ м}$,

$1.5 \text{ м} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ м}$,

- **Wi-Fi**

Для расстояния от точки меньше 5м:

$$PL(d) = PL_{FS}(d) + x \text{ дБ}, \text{ при } d \leq d_{BP}$$

Для расстояния больше 5м:

$$PL(d) = PL_{FS}(d_{BP}) + 3.5 * 10 \log_{10}(d/d_{BP}) + x \text{ дБ}, \text{ при } d > d_{BP}, \quad (1.25)$$

где d – расстояние между передатчиком и приемником в метрах,

Затухание сигнала в свободном пространстве найдем по формуле:

$$PL(d) = -20 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right] - G_t(\text{дБ}) - G_r(\text{дБ})$$

при этом коэффициент усиления антенны 0дБ, $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$, $f_c = 5 \text{ ГГц}$. Мы применяем модель В – сеть малого размера. Мощность сигнала может быть рассчитана по формуле:

$$P_r = P_t - PL(d)$$

P_t при этом равна 43дБм

Таблица с полученной мощностью:

Режим работы сети	№1		№2		№3	
	Измерение (дБм)	Расчет (дБм)	Измерение (дБм)	Расчет (дБм)	Измерение (дБм)	Расчет (дБм)
2G	-69	-52	-83	-87	-77	-85
3G	-81	-69	-93	-69	-81	-71
4G	-101	-83	-111	-56	-97	-67
Wi-Fi	-52	-46	-30	-47	-60	-46

Расчетные значения мощности сигнала, полученные с помощью стандартных моделей распространения показали ожидаемый порядок величин. Наблюдаемые расхождения между расчетом и измерением (особенно для 3G и 4G) обусловлены влиянием конкретных условий распространения в месте измерения (планировка помещения, материалы стен), не полностью учитываемых усредненными моделями, а также неизвестными точными параметрами базовых станций (реальная высота подвеса, мощность). Наиболее точно модель предсказала уровень сигнала Wi-Fi, что связано с малыми размерами зоны обслуживания и контролируемыми параметрами домашней точки доступа.

6. Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема

Стандартное отклонение, используемое при расчете, равно 12дБ для 2G и 3G, а для 4G 6дБ соответственно. Мощность сигнала на входе должна быть больше 100дБм

- 2G
Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{2G} = 0.9759$
- 3G
Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{3G} = 0.8943$
- 4G
Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{4G} = 0.3085$

Рассчитанная вероятность нахождения в зоне уверенного приема показала, что условия для сетей 2G и 3G в точках измерения являются отличными (вероятность > 90%). Для сети 4G ситуация хуже: в одной из точек вероятность опускается до ~30%, что указывает на нестабильность покрытия и возможные периодические обрывы связи или снижение скорости. Это согласуется с теорией: высокочастотные сигналы (4G Band 7 ~2.6 ГГц) сильнее затухают и хуже проникают через стены, чем низкочастотные (2G Band 3 ~1.8 ГГц).

7. Определение средней скорости и диапазон изменения скорости для всех режимов

Скорости загрузки:

Режим работы сети	Измерения				
	1	2	3	4	5
2G	0.2	0.21	0.21	0.23	0.22
3G	3.9	3.3	4.2	3.4	4.0
4G	11.9	10.9	12.4	13.7	7.0

Средняя скорость, диапазон изменения, типовые значения:

Режим работы сети	Диапазон (Мбит/с)	Средняя скорость (Мбит/с)	Максимальная скорость	Типовое значение
2G	0.2-0.23	0.214	0.3	0.1
3G	3.3-4.2	3.76	21	4
4G	7-13.7	11.18	150	15

Мы видим, что значения у всех режимов работы сети близки к типовым значениям,ю

8. Определение задержки

Получим среднюю задержку и диапазон ее изменений для всех режимов, а также приведем типовые значения

Режим работы сети	Диапазон (мс)	Средняя задержка (мс)	Типовое значение
2G	190-213	199.6	500
3G	38-53	43.2	100
4G	30-42	33.8	50

Можно увидеть, что измеренные значения меньше типовых значений

Рассчитаем задержку сигнала в радиолинии, как расстояние до вышки, разделенное на скорость света:

Режим работы сети	Расстояние (м)	Задержка сигнала в радиолинии (мс)
2G	220	7.33841e-7
3G	150	5.00346e-7
4G	150	5.00346e-7

Задержка сигнала в радиоканале составляет незначительную долю от общей задержки передачи для всех типов сетей. Основную часть задержки создают технические устройства сотовых операторов.

V. Вывод

На основе проведенных измерений и расчетов было установлено, что расчетные значения мощности сигнала, хотя и отличаются от измеренных, корректно отражают общую тенденцию более сильного затухания в сетях более высоких поколений. Анализ вероятности нахождения в зоне уверенного приема подтвердил высокую надежность сетей 2G и 3G в зоне исследования и выявил потенциальные проблемы с покрытием сети 4G на частоте 2600 МГц внутри помещения. Основные задержки в сетях формируются на сетевом оборудовании оператора, а не в радиоканале. Полученные практические навыки измерения и анализа параметров сетей связи могут быть использованы для оценки качества обслуживания и планирования сетей.