

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

Самостоятельная работа №1

по дисциплине «Сети и телекоммуникации»

Выполнил:

Группа:

Проверил:

Яровой В. Д
5130904/00104

Медведев Б. М.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

1 Цель работы	1
2 Постановка задачи	2
3 Сбор данных	4
3.1 Измерение мощности сигнала	4
3.2 Расстояния до базовых станций	5
3.3 Скоростные измерения	6
4 Обработка результатов	7
4.1 Расчет ожидаемой мощности сигнала	7
4.2 Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема	10
4.3 Обработка скорости	11
4.4 Обработка задержки	12
5 Вывод	13

1 Цель работы

Изучение моделей линий в сотовых сетях и беспроводных локальных сетях Wi-Fi, которые позволяют рассчитать затухание сигнала в линии и ожидаемую мощность сигнала в месте приема.

2 Постановка задачи

- Подготовка к работе
 1. Установить программное обеспечение Network Cell Info Lite.
 2. Изучить руководство пользователя.
- Порядок выполнения работы

При помощи программы Network Cell Info Lite для каждого режима работы сети 2G, 3G, 4G и Wi-Fi выполнить следующие измерения по пунктам 1 – 4 Переключение режима работы сети осуществляется в настройках телефона, например, Настройки/SIM-карты и мобильные сети/SIM-карта (для которой выбирается режим)/Предпочтительный тип сети/Только 2G или Предпочтительно 3G или Предпочтительно 4G. Изменить режим работы можно также через меню программы Network Cell Info Lite: Настройки/Общие/Настройки системной сети.

 1. 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). Программа Network Cell Info Lite, начиная с версии v.6.1.32, имеет большой интервал усреднения 10 секунд при измерении мощности сигнала. Записывать результаты измерения нужно после завершения интервала усреднения.
 2. Записать результаты оценки статистики подключения к сети между 2G, 3G, 4G для контроля включения соответствующего режима работы сети. После переключения режима 2G, 3G, 4G нужно нажать кнопку Сброс на вкладке Статистика. Проверить установку нужного режима и отсутствие переключения режима работы под управлением базовой станции сети: 100% подключения должно соответствовать выбранному режиму работы.
 3. Измерить расстояние до базовой станции по карте. Определить местоположение базовой станции и телефона на вкладке Карта. Измерить расстояние можно, например, при помощи Яндекс карты.
 4. Измерить скорость передачи данных, задержку (ping) и вариацию задержки (jitter) для одного места измерения мощности сигнала 5 раз с интервалом 2 минуты. При включении Wi-Fi в телефоне программа Network Cell Info Lite автоматически переключает измерение скорости передачи на эту сеть.
- Обработка результатов
 1. Рассчитать ожидаемую мощность сигнала по применимым моделям для 2G, 3G, 4G при следующих параметрах:
 - Частота сигнала определяется как середина используемого в эксперименте диапазона частот Downlink.
 - Мощность передатчика базовой станции сотовой сети 43 дБм.
 - Коэффициент усиления антенны базовой станции 15 дБ, сотового телефона 0 дБ.
 - 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:
 - Мощность передатчика точки доступа Wi-Fi 20 дБм.
 - 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:
 - измеренные значения мощности сигнала являются средними значениями случайной величины с нормальным законом распределения и стандартным отклонением, определенным в моделях для 2G, 3G, 4G;
 - 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.

3 Сбор данных

3.1 Измерение мощности сигнала

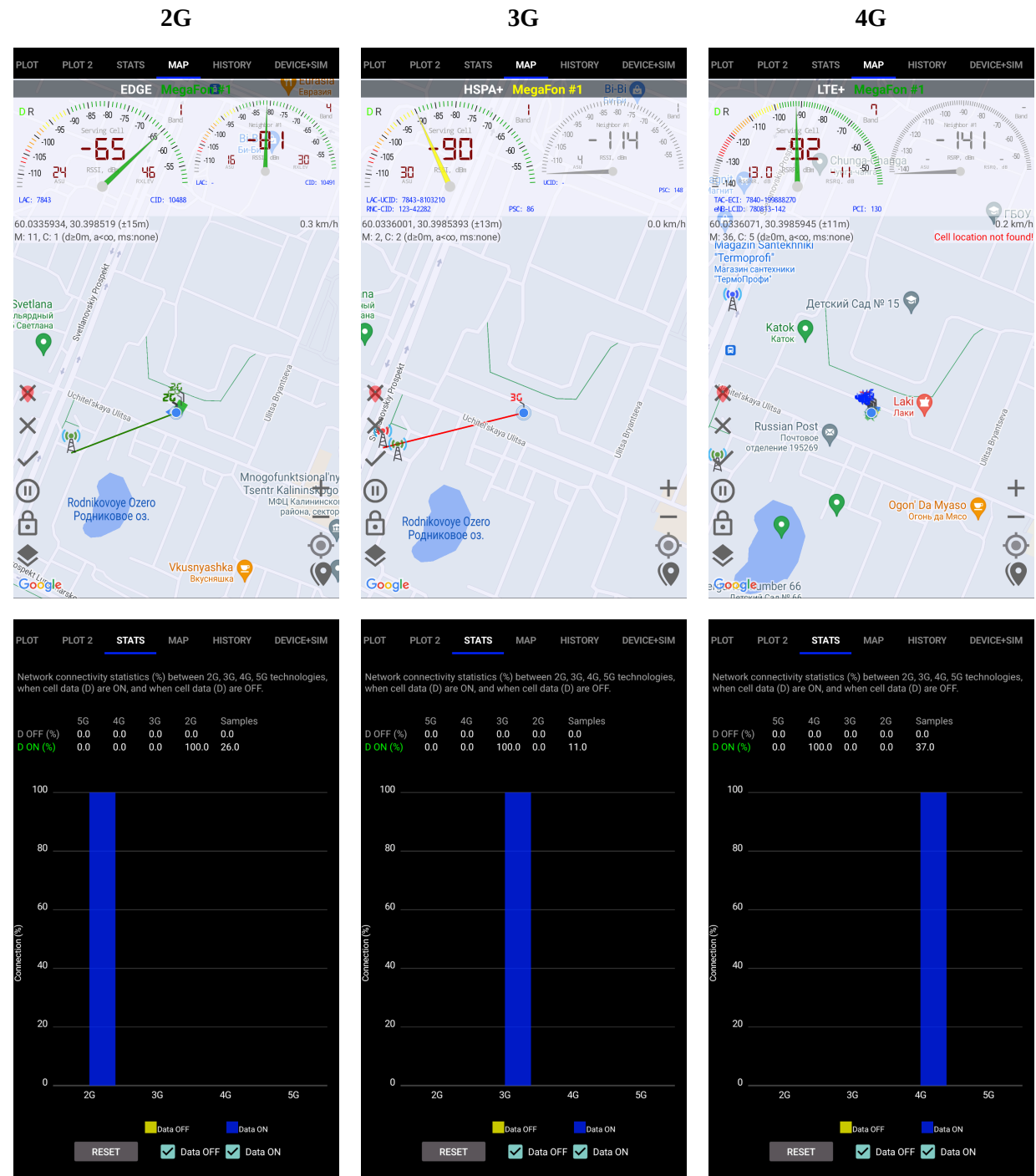
Все три места для измерений были выбраны внутри помещения

Мощность					
Поколение	стандарт	тип	Место 1	Место 2	Место 3
2G	EDGE	RSII	−63 dBm	−59 dBm	−65 dBm
3G	HSPA+	RSII	−81 dBm	−83 dBm	−78 dBm
4G	LTE+	RSRP	−81 dBm	−94 dBm	−89 dBm
			Место 1	Место 2	Место 3
Wi-Fi	Wi-Fi 6	RSII	−53 dBm	−85 dBm	−61 dBm

Для контроля включения соответствующего режима сети, была проверена установка нужного режима и отсутствие переключения режима работы под управлением базовой станции сети (должно было соответствовать 100%).

3.2 Расстояния до базовых станций

Во всех трех местах и на всех трех поколениях сотовой связи было осуществлено подключение к одной и той же базовой станции. Расположение сети 4G не указано на предоставленном скриншоте, однако она находится в том же местоположении. Было проверенно с помощью поиска по номеру базовой станции в открытых источниках.



Скриншоты остальных двух точек в которых проводились измерения не приведены, так как они ничем не отличаются

Расстояние до базовых станций было измеренно в Яндекс картах

Поколение	Место 1	Место 2	Место 3
2G	155 m	152 m	158 m
3G	155 m	152 m	158 m
4G	155 m	152 m	158 m

3.3 Скоростные измерения

В качестве места для измерения скорости было выбрано место №1

		Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3	Измерение 4	Измерение 5
2G	Upload	57.2 Kb/s	57.3 Kb/s	52.7 Kb/s	57.3 Kb/s	57.2 Kb/s
	Download	130.3 Kb/s	132.8 Kb/s	101.3 Kb/s	120.2 Kb/s	131.1 Kb/s
	Ping	183 ms	197 ms	394 ms	234 ms	194 ms
	Jitter	15 ms	100 ms	521 ms	22 ms	85 ms
3G	Upload	1.1 Mb/s	2.6 Mb/s	1.8 Mb/s	3.5 Mb/s	2.7 Mb/s
	Download	1.8 Mb/s	1.6 Mb/s	4.4 Mb/s	5.5 Mb/s	5.1 Mb/s
	Ping	32 ms	35 ms	28 ms	31 ms	29 ms
	Jitter	9 ms	10 ms	47 ms	8 ms	8 ms
4G	Upload	40.0 Mb/s	47.6 Mb/s	33.0 Mb/s	50.6 Mb/s	32.9 Mb/s
	Download	25.9 Mb/s	55.3 Mb/s	99.2 Mb/s	81.3 Mb/s	74.4 Mb/s
	Ping	47 ms	47 ms	57 ms	43 ms	44 ms
	Jitter	9 ms	9 ms	17 ms	7 ms	7 ms

4 Обработка результатов

4.1 Расчет ожидаемой мощности сигнала

Мощность сигнала на входе приемника в логарифмическом масштабе по отношению к измерительному уровню 1 мВт (записывается как дБм):

$$P_r = P_t - PL(d), \text{ дБм}$$

где мощность сигнала на выходе передатчика P_t задана в дБм.

Модели для вычисления затухания:

• 2G

Формула для расчета затухания сигнала в условиях города записывается следующим образом

$$PL(d) = 46.3 + 33.9 \lg(f_c) - 13.82 \lg(h_{te}) - a(h_{re}) + \\ + (44.9 - 6.55 \lg(h_{te})) \lg(d) + C_m, \text{ дБ}$$

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

Для крупных городов:

$$a(h_{re}) = 3.2(\lg(11.75h_{re}))^2 - 4.97, \text{ дБ} \\ C_m = 3, \text{ дБ}$$

Входные данные:

Место	f_c (МГц)	h_{te} (м)	h_{re} (м)	d (км)	C_m (дБ)	P_t (дБм)	P_{crit} (дБм)
1	960	30	10	0.1564	3	43	100
2	960	30	10	0.1534	3	43	100
3	960	30	10	0.1594	3	43	100

• 3G

Модель потерь на трассе внутри помещения (в логарифмическом масштабе, дБ) представлена в следующей упрощенной форме, которая получена из модели COST внутри помещения:

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

Где:

1. d – расстояние между передатчиком и приемником (м),
2. n – количество этажей на пути.

Входные данные:

Место	d (м)	n	P_t (дБм)	P_{crit} (дБм)
1	156.4	0	43	100
2	153.4	0	43	100
3	159.4	0	43	100

• 4G

Для случая отсутствия прямой видимости расчет затухания сигнала в 3D-УМа учитывает характеристики городской среды:

$$\begin{aligned}
PL_{3D-UMa-NLOS} = & 161.04 - 7.1 \lg(W) + 7.5 \lg(h) - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2 \right) \\
& \lg(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \lg(h_{BS}))(\lg(d_{3D}) - 3) + 20 \lg(f_c) - \\
& - (3.2(\lg(17.625))^2 - 4.97) - 0.6(h_{UT} - 1.5) , \text{ dB}
\end{aligned}$$

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 $W = 20$ м, типовое значение $h_{BS} = 25\text{м}$ и $10\text{м} < h_{BS} < 150\text{м}$, $1.5\text{м} \leq h_{UT} \leq 22.5\text{м}$,

Входные данные:

Место	f_c (ГГц)	h (м)	W (м)	d (м)	h_{BS} (м)	h_{UT} (м)	P_t (дБм)	P_{crit} (дБм)
1	2.6	25	20	156.4	30	17.5	43	100
2	2.6	25	20	153.4	30	17.5	43	100
3	2.6	25	20	159.4	30	17.5	43	100

Полученные мощности и сравнение с измеренными значениями:

		Место 1				Место 2				Место 3			
		Эксперимент		Расчет		Эксперимент		Расчет		Эксперимент		Расчет	
2G	—63 dBm	—64 dBm	—59 dBm	—64 dBm	—65 dBm	—64 dBm	—65 dBm	—65 dBm	—65 dBm	—65 dBm	—65 dBm	—65 dBm	—65 dBm
3G	—81 dBm	—74 dBm	—83 dBm	—74 dBm	—78 dBm	—74 dBm	—78 dBm	—78 dBm	—75 dBm	—75 dBm	—75 dBm	—75 dBm	—75 dBm
4G	—81 dBm	—73 dBm	—94 dBm	—72 dBm	—89 dBm	—72 dBm	—89 dBm	—89 dBm	—73 dBm	—73 dBm	—73 dBm	—73 dBm	—73 dBm
Wi-Fi	—53 dBm	—53 dBm	—85 dBm	—75 dBm	—61 dBm	—61 dBm	—66 dBm	—66 dBm	—66 dBm	—66 dBm	—66 dBm	—66 dBm	—66 dBm

Сравним результаты расчета мощности сигнала на входе приемника с измерениями.

- **2G** - формула была использована неправильно, так как расстояние до базовой станции было меньше 1 км, но расхождения оказались приемлемыми
- **3G** - расхождения допустимы
- **4G** - расхождение оказалось верным для 1 из 3 мест, для двух оставшихся формула оказалась неверной (расхождение более 10 dBm). Причиной таких отклонений может быть плохая модель условий среды (наличие стен, деревьев на пути сигнала).

4.2 Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема

- **2G**

Стандартное отклонение 12 дБ.

Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{2G} = 0.999$

- **3G**

Стандартное отклонение 12 дБ.

Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{3G} = 0.944$

- **4G**

Стандартное отклонение 6 дБ.

Вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема $P_{4G} = 0.936$

Чем современнее сеть тем она более хрупкая, как аргумент можно привести то, что для новых поколений сети мощность сигнала должна быть больше, чтобы обеспечить уверенный прием $> 90\%$ пакетов.

4.3 Обработка скорости

Выпишем скорости загрузок из экспериментов

	1		2		3		4		5	
2G	0.13	Mbs	0.13	Mbs	0.10	Mbs	0.12	Mbs	0.13	Mbs
3G	1.8	Mbs	1.6	Mbs	4.4	Mbs	5.5	Mbs	5.1	Mbs
4G	25.9	Mbs	55.3	Mbs	99.2	Mbs	81.3	Mbs	74.4	Mbs

Определим среднюю скорость передачи и диапазон изменения скорости для всех режимов работы. Также приведем типовые значения

	Диапазон		Средняя скорость		Макс. скорость		Типовое значение	
2G	0.10 — 0.13	Mbs	0.122	Mbs	0.3	Mbs	0.1	Mbs
3G	1.6 — 5.5	Mbs	3.68	Mbs	21	Mbs	4	Mbs
4G	25.9 — 99.2	Mbs	67.22	Mbs	300 — 450	Mbs	30 — 45	Mbs

Итого:

- **2G** - соответствует типовому значению, значения скорости остается примерно неизменным во всех экспериментах
- **3G** - соответствует типовому значению, значения скорости немного отличается между экспериментами, можно сказать что это погрешность, или же влияние некорректно принятых пакетов и их повторный запрос (то есть качество сети)
- **4G** - в среднем превосходит типовое значение, значения скорости отличается между экспериментами, сеть является самой используемой в текущий момент времени, поэтому ресурсы сети напрямую зависят от кол-ва подключенных пользователей и качества сигнала и потерянных пакетов, более того можно предположить что происходит переключение категорий LTE cat, что также влияет на скорость передачи данных, предположительно - LTE cat6/cat9

4.4 Обработка задержки

Выпишем задержки загрузок из экспериментов

	1		2		3		4		5	
2G	183	ms	197	ms	394	ms	234	ms	194	ms
3G	32	ms	35	ms	28	ms	31	ms	29	ms
4G	47	ms	47	ms	57	ms	43	ms	44	ms

Определим среднюю задержку передачи и диапазон изменения задержки для всех режимов работы.

	Диапазон		Средняя задержка		Типовое значение	
2G	183 – 394	ms	240.4	ms	500	ms
3G	28 – 35	ms	31	ms	100	ms
4G	43 – 57	ms	47.6	ms	50	ms

Итого:

- **2G** - меньше типового значения
- **3G** - меньше типового значения, можно также заметить что задержка меньше чем у 4 поколения, что не является очевидным
- **4G** - меньше типового значения, но больше чем у 3 поколения, возможная причина - большее кол-во узлов коммутации на пути до шлюза

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

	Расстояние		Задержка в радиолинии	
2G	155	m	0.00051766	ms
3G	155	m	0.00051766	ms
4G	155	m	0.00051766	ms

Если сравнить это с задержкой (ping), которую рассчитала программа, то увидим, что доля задержки сигнала в радиолинии невелика по сравнению с задержками в технических системах сотового оператора. Основная задержка в маршрутизаторах, обратных шлюзах, которые содержатся в технических средствах сотового оператора.

5 Вывод

В ходе выполнения работы, были измерены мощности принимаемых сигналов для 4G, 3G, 2G, Wi-Fi, а также скорость передачи данных, ping и jitter с помощью программы Network Cell Info Lite. С помощью теоретических формул, была рассчитана ожидаемая мощность сигнала для 4G, 3G, 2G и Wi-Fi, средняя задержка сигнала в радиолинии, средняя скорость передачи, определена вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема.