

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

3530904/00104

Медведев Б. М.

Санкт-Петербург  
2023

## Содержание

1 Постановка задачи .....	1
2 Сбор данных .....	3
2.1 Измерение мощности сигнала .....	3
2.2 Расстояния до базовых станций .....	3
2.3 Скоростные измерения .....	3
3 Обработка результатов .....	4
3.1 Расчет ожидаемой мощности сигнала .....	4
3.2 Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема .....	6
3.3 Обработка скорости .....	7
3.4 Обработка задержки .....	8
4 Вывод .....	9

# 1 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 WiFi 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, WiFi) 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 WiFi 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 WiFi при следующих параметрах:
  - Мощность передатчика точки доступа WiFi 20 дБм.
  - Коэффициент усиления антенны точки доступа и WiFi 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.

## 2 Сбор данных

### 2.1 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
WiFi	WiFi6	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%).

### 2.2 Расстояния до базовых станций

Расстояние 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

### 2.3 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

## 3 Обработка результатов

### 3.1 Расчет ожидаемой мощности сигнала

$$P_r = P_t - PL(d) , \text{ dBm}$$

Модели для вычисления затухания:

- **2G**

Формула для расчета затухания сигнала в условиях города записывается следующим образом

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

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

Для крупных городов:

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

- **3G**

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

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

Где:

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

- **4G**

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

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

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  $10\text{м} < h_{BS} < 150\text{м}$ ,  $1.5\text{ м} \leq h_{UT} \leq 22.5\text{ м}$ ,

Полученные мощности и сравнение с измеренными значениями:

	Место 1				Место 2				Место 3			
	Эксперимент		Расчет		Эксперимент		Расчет		Эксперимент		Расчет	
<b>2G</b>	−63	dBm	−64	dBm	−59	dBm	−64	dBm	−65	dBm	−65	dBm
<b>3G</b>	−81	dBm	−74	dBm	−83	dBm	−74	dBm	−78	dBm	−75	dBm
<b>4G</b>	−81	dBm	−73	dBm	−94	dBm	−72	dBm	−89	dBm	−73	dBm
<b>WiFi</b>	−53	dBm	−53	dBm	−85	dBm	−75	dBm	−61	dBm	−66	dBm

Сравним результаты расчета мощности сигнала на входе приемника с измерениями.

- **2G** - формула была использована неправильно, но расхождения оказались приемлемыми
- **3G** - расхождения допустимы
- **4G** - расхождение оказалось неверным, для 2 из 3 мест модель некорректна

### 3.2 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  $P_{4G} = 0.936$



### 3.3 Обработка скорости

Выпишем скорости загрузок из экспериментов

	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
<b>2G</b>	0.13	Mbs	0.13	Mbs	0.10	Mbs	0.12	Mbs	0.13	Mbs
<b>3G</b>	1.8	Mbs	1.6	Mbs	4.4	Mbs	5.5	Mbs	5.1	Mbs
<b>4G</b>	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

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

Итого:

- **2G** - соответствует типовому значению
- **3G** - соответствует типовому значению
- **4G** - превосходит типовое значение

### 3.4 Обработка задержки

Выпишем задержки загрузок из экспериментов

	1		2		3		4		5	
<b>2G</b>	183	ms	197	ms	394	ms	234	ms	194	ms
<b>3G</b>	32	ms	35	ms	28	ms	31	ms	29	ms
<b>4G</b>	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
- **4G** - меньше типового значения

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

	Расстояние		Задержка в радиолинии	
<b>2G</b>	155	m	0.00000051766	ms
<b>3G</b>	155	m	0.00000051766	ms
<b>4G</b>	155	m	0.00000051766	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.

## 4 Вывод

В ходе выполнения работы, были измерены мощности принимаемых сигналов для 4G, 3G, 2G, WiFi, 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 WiFi, средняя задержка сигнала в радиолинии, средняя скорость передачи, определена вероятность нахождения телефона в зоне уверенного приема. Так, рассчитанные значения для 4G и 2G имеют недопустимое расхождение с полученными с помощью программы значениями. Модели, с помощью которых мы делали вычисления, не подходят для расчетов. Однако модель для 3G оказалась приемлемой, а расхождение расчётных значений с экспериментальными значениями в пределах 10дБ. Также выяснили, что измерения проводились в зоне уверенного приема, вычислив вероятность.