

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 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 |
| | Download | 130.3 Kb/s | 132.8 Kb/s | 101.3 Kb/s | 120.2 Kb/s |
| | Ping | 183 ms | 197 ms | 394 ms | 234 ms |
| | Jitter | 15 ms | 100 ms | 521 ms | 22 ms |
| 3G | Upload | 1.1 Mb/s | 2.6 Mb/s | 1.8 Mb/s | 3.5 Mb/s |
| | Download | 1.8 Mb/s | 1.6 Mb/s | 4.4 Mb/s | 5.5 Mb/s |
| | Ping | 32 ms | 35 ms | 28 ms | 31 ms |
| | Jitter | 9 ms | 10 ms | 47 ms | 8 ms |
| 4G | Upload | 40.0 Mb/s | 47.6 Mb/s | 33.0 Mb/s | 50.6 Mb/s |
| | Download | 25.9 Mb/s | 55.3 Mb/s | 99.2 Mb/s | 81.3 Mb/s |
| | Ping | 47 ms | 47 ms | 57 ms | 43 ms |
| | Jitter | 9 ms | 9 ms | 17 ms | 7 ms |

3 Обработка результатов

3.1 Расчет ожидаемой мощности сигнала

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

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

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

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

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

Для крупных городов:

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

- **3G**

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

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

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 | |
| 2G | −63 | dBm | −64 | dBm | −59 | dBm | −64 | dBm | −65 | dBm | −65 | dBm |
| 3G | −81 | dBm | −74 | dBm | −83 | dBm | −74 | dBm | −78 | dBm | −75 | dBm |
| 4G | −81 | dBm | −73 | dBm | −94 | dBm | −72 | dBm | −89 | dBm | −73 | dBm |
| WiFi | −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 верным для 2 из 3 мест

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

| | 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 | 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 | |
|-----------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| 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
- **4G** - меньше типового значения

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

| | Расстояние | | Задержка в радиолинии | |
|-----------|------------|---|-----------------------|----|
| 2G | 155 | m | 0.00000051766 | ms |
| 3G | 155 | m | 0.00000051766 | ms |
| 4G | 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.