

Министерство образования и науки РФ
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

Работа №1
по дисциплине «Сети и телекоммуникации»

Выполнил
студент гр. 5130904/10101
Абраамян А. М.

Преподаватель
Медведев Б. М.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Цель работы.....	3
Подготовка к работе.....	3
Порядок выполнения работы.....	3
Обработка результатов.....	4
Полученные результаты.....	5
Мощность принимаемого сигнала.....	5
Результаты оценки статистики подключения к сети между 2G, 3G, 4G.....	5
Расстояние до базовых станций.....	6
Измерение скорости передачи данных.....	6
Расчет ожидаемой мощности сигнала.....	6
Сравнение ожидаемых и полученных значений мощности.....	8
Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема.....	9
Определение средней скорости передачи и диапазона изменения скорости.....	10
Определение средней задержки (ping) передачи и диапазона изменения задержки.....	10
Вывод.....	10

Цель работы

Изучить характеристики и свойства радиолиний связи, параметры сигналов сетей 2G, 3G, 4G, Wi-Fi (мощность, статистику подключения, скорость передачи данных, задержку) на ограниченной территории исследования.

Подготовка к работе

1. Установить программное обеспечение Network Cell Info Lite
2. Изучить руководство пользователя

Порядок выполнения работы

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)
2. Записать результаты оценки статистики подключения к сети между 2G, 3G, 4G для контроля включения соответствующего режима работы сети.
3. Измерить расстояние до базовой станции по карте
4. Измерить скорость передачи данных, задержку (ping) и вариацию задержки (jitter) для одного места измерения мощности сигнала 5 раз с интервалом 2 минуты

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.

Полученные результаты

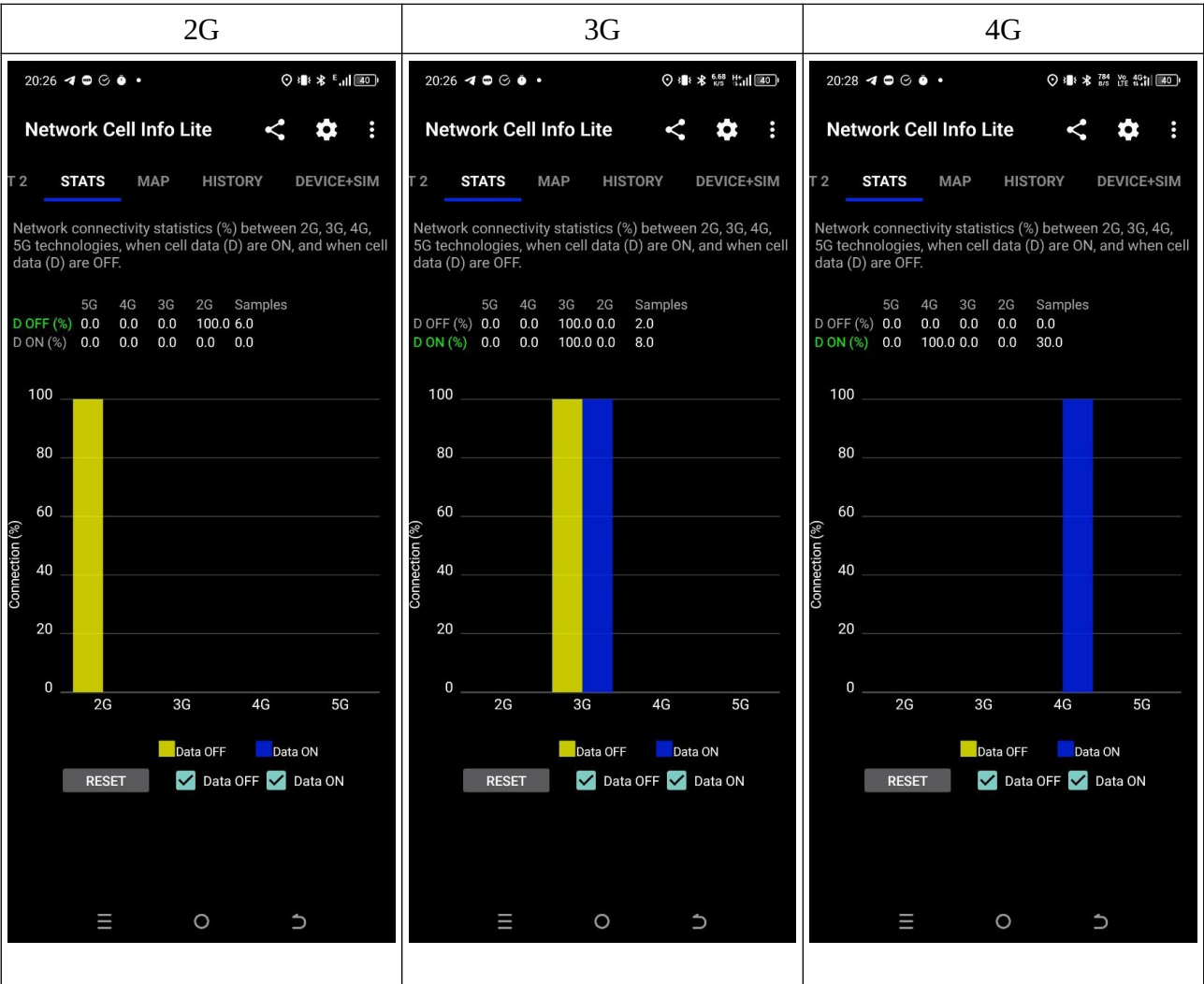
Мощность принимаемого сигнала

Для выполнения работы были проведены измерения в трех местах в общежитии №17. В таблице приведены значения после завершения интервала усреднения.

Между тремя местоположениями расстояние приблизительно 10 метров.

Режим работы сети	Мощность		
	№1	№2	№3
2G	-71	-71	-76
3G	-85	-79	-83
4G	-102	-96	-90
Wi-Fi	-42	-73	-83

Результаты оценки статистики подключения к сети между 2G, 3G, 4G



Расстояние до базовых станций

С помощью Network Cell Info Lite мы вычислили расположение вышки к которой подключился телефон, расстояние посчитали с помощью сторонних навигационных приложений. Подключались мы к одной и той же вышке, расстояние до которой приблизительно 350 метров.

Измерение скорости передачи данных

Режим работы сети	Измерение				
	1	2	3	4	5
2G					
3G					
4G					

Расчет ожидаемой мощности сигнала

Расчет затуханий

1. 2G

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

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.

Допустимые границы параметров в (15):

f_c : 1500...2000 МГц,

h_{te} : 30...200 м,

h_{re} : 1...10 м,

d : 1..20 км.

Корректирующий фактор для эффективной высоты мобильной антенны для крупных городов

$$a(h_{re}) = 3,2 \cdot (\lg(11,75 \cdot h_{re}))^2 - 4,97 \text{ дБ (для } f_c > 400 \text{ МГц)} \quad (1.12)$$

$$h_{te} = 50 \quad h_{я} = 5 \quad f_c = 50$$

2. 3G

Так как базовая станция находится в соседнем здании выберем следующую модель:

Модель потерь для пешеходной среды:

$$PL(d) = 40 \lg(d) + 30 \lg(f) + 49 \text{ дБ}, \quad (1.17)$$

где:

d – расстояние от базовой станции (BTS) до мобильной станции (MS) в км,

f – частота сигнала в МГц (не должна отклоняться далеко от 2 ГГц).

$$f = 1800 \text{ МГц}$$

$$d = 0.3 \text{ км}$$

стандартное отклонение на уровне 12 Дб

3. 4G

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

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 $10 \text{ м} < h_{BS} < 150 \text{ м}$,

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

25

$f_c = 2.14 \text{ ГГц}$ – середина для LTE band 1 диапазона Downlink, $h_{ut} = 1.5$ для уровня земли. Отклонение затухания сигнала возьмем 6 дБ

4. Wi-Fi

Для расстояния до точки Wi-Fi $< 5 \text{ м}$

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

Иначе

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

где d – расстояние между передатчиком и приемником в метрах,

$PL_{FS}(d)$ – затухание сигнала в свободном пространстве (см. формулу (5)),

d_{BP} – расстояние до точки разрыва (breakpoint distance), которое зависит от типа помещения (см. табл. 1.8),

x – случайная величина, имеющая нормальный закон распределения с нулевым средним значением и стандартным отклонением σ (в дБ).

Затухание сигнала найдем по формуле

$$PL(d) = -20 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right] - G_t(\text{дБ}) - G_r(\text{дБ}) \quad (1.5)$$

Коэффициенты усиления антенны точки доступа и Wi-Fi телефона 0 дБ, скорость света $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$, $f_c = 5 \text{ ГГц}$

Применяется модель В

- Модель В: сеть малого размера (домашний сценарий), располагается в комнате и между комнатами.

Модель помещения	d_{BP} (м)	ст. отклонение σ дБ до d_{BP} (LOS)	ст. отклонение σ дБ после d_{BP} (NLOS)
------------------	--------------	--	--

В	5	3	4
---	---	---	---

Мощность сигнала можно рассчитать по формуле

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

где мощность сигнала на выходе передатчика равна 43 дБм

Сравнение ожидаемых и полученных значений мощности

Режим работы сети	№1		№2		№3	
	Измерение, дБм	Расчет, дБм	Измерение, дБм	Расчет, дБм	Измерение, дБм	Расчет, дБм
2G	-71	-78	-71	-78	-76	-78
3G	-85	-85	-79	-83	-83	-82
4G	-102	-86	-96	-85	-90	-84
Wi-Fi	-41	-44	-73	-44	-83	-44

При сравнении было обнаружено, что измеренные уровни мощности принимаемых сигналов отличаются от расчетных значений. Это можно объяснить наличием погрешностей вычислений, а также различными препятствиями на пути распространения сигнала, которые ухудшают его качество, включая рассеивание и дифракцию. Кроме того, для расчетов использовались типовые значения некоторых параметров из-за нехватки точной информации о станциях, что могло привести к отклонению расчетных данных.

Определение вероятности нахождения телефона в зоне уверенного приема

Значение стандартного отклонения используемого при расчете = 12дБ для 2G, 3G и 6дБ для 4G. Мощность сигнала на входе приемника должна быть больше –100дБм – типового значения чувствительности приёмника, при котором достигается вероятность приема кадра без ошибки не менее 90%.

	Местоположение	Вероятность
2G	№1	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 71}{12}\right) = 0.9995$
	№2	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 71}{12}\right) = 0.9998$
	№3	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 76}{12}\right) = 0.9999$
3G	№1	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 85}{12}\right) = 0.9921$
	№2	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 79}{12}\right) = 0.9995$
	№3	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 83}{12}\right) = 0.9997$
4G	№1	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 102}{6}\right) = 0.9977$
	№2	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 96}{6}\right) = 0.9999$
	№3	$P(X_{\sigma} < 100) = \Phi\left(\frac{100 - 83}{6}\right) = 0.9999$

Определение средней скорости передачи и диапазона изменения скорости

Режим работы сети	Диапазон изменения скорости, Мб/с	Средняя скорость загрузки, Мб/с	Максимальная скорость загрузки, Мб/с	Типовая скорость загрузки, Мб/с
2G EDGE	0 – 0,154	0,188	0,227	0,1
3G HSPA+	1.6 — 6.5	4.52	6.5	4
4G LTE+	0.5 — 2.2	1.34	2.2	15

Анализируя полученные результаты, нетрудно заметить, что для 3G средняя скорость загрузки оказалась гораздо выше чем типовая, и чем средняя скорость для 4G. Это может быть связано с тем, что препятствия оказывают более сильное воздействие на 3G чем на 4G. Также это может быть связано с тем, что нагрузка на сеть 4G на тот момент была повышена, поскольку это самая современная технология

Определение средней задержки (ping) передачи и диапазона изменения задержки

Проведено сравнение полученных значений средней задержки с типовыми значениями

Режим работы сети	Диапазон изменения задержки, мс	Средняя задержка, мс	Типовое значение, мс
2G EDGE	113 – 168	139.2	500
3G HSPA+	63 – 194	93.6	100
4G LTE+	70 – 83	73.6	50

Задержку сигнала можно рассчитать поделив расстояние до вышки на скорость света

Режим работы сети	Расстояние, м	Задержка сигнала в радиолинии, мс
2G EDGE	350	0.001167474333
3G HSPA+	320	0.001067405105
4G LTE+	300	0.001000692286

Задержка в радиолинии представляет собой совершенно незначительное значение по сравнению с задержкой которая возникает со стороны операторов сотовой связи

Вывод

В процессе работы были измерены уровни мощности принимаемых сигналов в сетях 2G, 3G, 4G и Wi-Fi, а также получены данные о скорости передачи данных, задержке и джиттере с помощью программы Network Cell Info Lite на устройстве. Для оценки ожидаемой мощности сигнала в сетях использовались теоретические формулы, а также для определения средней задержки, средней скорости передачи данных и вероятности нахождения мобильного устройства в зоне с хорошим приемом сигнала.

Результаты исследования показали, что расчетные значения мощности сигнала для всех сетей не совпадают с измеренными данными. Различия между ожидаемыми и фактическими результатами можно объяснить использованием стандартных значений расстояний до базовых станций из-за недостатка информации о конкретных станциях, ошибками в расчетах и измерениях, применением моделей, которые хотя и подходят для

используемых данных, но не полностью отражают реальные условия измерений, а также наличием неучтенных препятствий, дифракцией и рассеиванием сигналов.

Кроме того, было установлено, что измерения проводились в зоне с хорошим приемом сигнала, что подтверждается высокой вероятностью нахождения мобильного устройства в этой зоне.