

УДК 004.738:004.45

## МОБИЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ИЗЛУЧЕНИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

**Самойленко Борис Игоревич,**

студент кафедры автоматике и компьютерных систем  
Института кибернетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: boris-1991@mail.ru

**Вичугов Владимир Николаевич,**

канд. техн. наук, заведующий лабораториями кафедры автоматике  
и компьютерных систем Института кибернетики Национального  
исследовательского Томского политехнического университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: vlad@tpu.ru

**Вичугова Анна Александровна,**

канд. техн. наук, доцент кафедры автоматике и компьютерных систем  
Института кибернетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: vichugovaaa@tpu.ru

*Актуальность работы обусловлена повсеместным распространением беспроводных сетей и необходимостью анализа степени их воздействия на человека, что относится к прикладным задачам геоэкологии и геоинформатики. Исследуется плотность электромагнитного загрязнения окружающей среды посредством определения количества источников излучения и их радиуса действия.*

**Цель работы:** поиск и анализ информации об электромагнитном излучении, исходящем от окружающих беспроводных сетей различных типов: сотовой связи, Wi-Fi и Bluetooth, с использованием разработанного программного обеспечения для мобильных устройств на платформе Android.

**Методы исследования:** методы и средства проектирования и разработки программного обеспечения, геоинформационных систем, формального описания информационных процессов и систем, математические методы триангуляции, многомерной оптимизации и фильтрации сигналов, закон обратных квадратов, экспериментальные измерения.

**Результаты.** Поставлена и решена задача поиска и анализа информации об электромагнитном излучении, исходящем от окружающих беспроводных сетей различных типов: сотовой связи, Wi-Fi и Bluetooth. Описаны используемые методы и средства, технологии программирования и математические основы разработанного мобильного приложения на платформе Android. Рассмотрены вопросы приема, триангуляции и фильтрации сигналов излучения. Приведены результаты экспериментальных измерений для определения калибровочного коэффициента. Выполнены расчеты мощности источника излучения, а также радиуса действия беспроводных сетей анализируемых типов. Разработанное программное приложение для мобильных устройств протестировано в различных районах города Томска. Описаны функциональные возможности разработанного программного обеспечения, приведены скриншоты интерфейса. На основании данных, полученных в результате тестирования, сделаны выводы относительно возможного влияния беспроводных сетей на здоровье людей.

### **Ключевые слова:**

Геоэкология, геоинформатика, мобильное приложение, беспроводные сети, триангуляция сигнала.

### **Введение**

В дополнение к пользе функционального назначения, повсеместное распространение беспроводных сетей в среде обитания современного человека приводит к повышению уровня электромагнитного неионизирующего излучения, которое негативно влияет на здоровье людей. Таким образом, под влиянием данного антропогенного фактора изменяется естественное состояние экосистемы. Всемирная организация здравоохранения и Международное агентство по изучению рака классифицировали радиоизлучение сотовых телефонов как потенциальный канцероген, определив его в группу 2В – «возможно канцерогенных для человека» факторов [1].

В России, как и в ряде других стран, введены нормы, регулирующие максимально допустимую плотность радиоизлучения на единицу площади [2–4]. Однако, в связи с невозможностью точного прогнозирования последствий этого излучения на организм человека, данные нормы носят исключительно предупредительный характер [5]. Согласно [6], использование мобильных телефонов в развитых странах варьируется в среднем от 0,6 до более чем 1,2 единицы на душу населения. В России этот показатель выше, чем в Европе, и составляет 1,3. Поэтому вопрос сбора и предоставления данных об излучении от беспроводных сетей является своевременным и актуальным. Автоматизация этого процесса относится к прикладным задачам геоинформатики и разработки программного обеспечения.

### Постановка задачи

Нестационарный (в плане географического местоположения) характер рассматриваемой проблемы накладывает определенные требования к методам и средствам ее решения. В частности, техническое устройство для отображения данных об обнаруженных беспроводных сетях должно быть мобильным и широко распространенным. Эти качества сочетает в себе современный сотовый телефон или другое мобильное устройство (планшетный компьютер, смартфон) с возможностью установки дополнительного программного обеспечения (ПО) для поиска, анализа и представления данных об окружающих беспроводных сетях.

Выполненный анализ рынка мобильных приложений показал отсутствие подобного ПО. Поэтому была поставлена цель создания мобильного приложения для поиска и анализа информации о беспроводных сетях и следующих их параметрах: тип, текущая мощность сигнала (в данной точке), расстояние до источника и радиус действия. В связи с пространственной ориентацией объекта анализа целесообразно выполнять географическое позиционирование источника и приемника излучения, т. е. показывать на карте их местонахождение и радиус действия сигнала.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- выбор платформы и среды разработки приложения для мобильных устройств, поддерживающих взаимодействие с радиомодулями различных беспроводных сетей и сервисами определения текущего географического местоположения;
- организация сбора данных о беспроводных сетях, в зоне действия которых находится мобильное устройство;

- разработка алгоритмов определения расстояния до источника излучения по текущей мощности сигнала с учетом влияния искажений и помех;
- реализация разработанных алгоритмов в виде ПО для мобильного устройства.

### Типы анализируемых беспроводных сетей

Наиболее распространенными в современной городской среде являются следующие типы беспроводных сетей: Wi-Fi, Bluetooth и сети сотовой связи. Последние принято делить по поколениям (табл. 1), причем некоторые из них сегодня считаются устаревшими и практически не используются [7, 8].

Поскольку сотовые сети поколения 1G уже не используются, а сети 4G на настоящее время еще не получили повсеместного распространения, в данной работе они не рассматриваются [7, 8]. Таким образом, объектом анализа являются следующие типы беспроводных сетей: Wi-Fi (на базе стандарта IEEE 802.11), Bluetooth (3 и 4 версии) и сети сотовой связи поколений 2G и 2,5G (на базе стандарта GSM: GPRS, EDGE и на базе стандарта CDMA: CDMA, 1xRTT), а также 3G и 3,5G (на базе стандарта GSM: UMTS, HSPA, HSUPA, HSDPA, HSPA+ и на базе стандарта CDMA2000: CDMA200, EVDO).

### Методы и средства

#### (выбор программных технологий)

Начальным этапом разработки мобильного приложения является выбор платформы – операционной системы (ОС), под управлением которой функционирует устройство. В настоящее время на рынке ОС для мобильных устройств можно выделить пять основных лидеров: Android, iOS, Win-

**Таблица 1.** Поколения мобильной телефонии и их особенности

**Table 1.** Generations of mobile telephony and their features

Поколение Generation	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Начало разработок Start of development	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Реализация Implementation	1984	1991	1999	2002	2006–2007	2008–2010
Сервисы Services	аналоговый стандарт, речевые сообщения analog standard, voice messages	цифровой стандарт, поддержка коротких сообщений (SMS) digital standard, short message support (SMS)	большая ёмкость, пакетная передача данных high capacity, packet data transmission	повышенная ёмкость, увеличение скорости передачи данных extended capacity, increase of data transmission rate	увеличение скорости передачи данных increase of data transmission rate	повышение ёмкости, IP-ориентированность, поддержка мультимедиа increase of capacity, IP-direction, multimedia support
Скорость передачи Transmission rate	1,9	9,6–14,4	115–384	2	3–14	100 Мбит/с (Mb/s) – 1 Гбит/с (Gb/s)
	Кбит/с Kb/s			Мбит/с Mb/s		
Стандарты Standards	AMPS, TACS, NMT	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE (2.75G), 1xRTT	WCDMA, CDMA2000, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE-Advanced, WiMax Release 2 (IEEE 802.16m), WirelessMAN-Advanced

dows Phone/Windows Mobile и Linux [9], среди которых превалирует ОС Android.

На рынке средств разработки ПО для мобильных устройств существуют решения для создания приложений, функционирующих под управлением различных ОС. Однако подобный переход к мультиплатформенности еще не стал массовым и не является основным критерием поиска программных технологий для достижения поставленных в данной работе задач.

В дополнение к поддержке и регулярным обновлениям ОС для мобильных устройств их производители предоставляют специальный документированный комплект средств разработки ПО, называемый SDK (от англ. Software Development Kit). Например, для Android компания Google предлагает Android SDK, для Windows Phone корпорация Microsoft предоставляет Windows Phone SDK, iOS сопровождается iOS SDK от фирмы Apple.

Таким образом, важным критерием отбора платформы разрабатываемого мобильного приложения было наличие развитого набора средств SDK. В соответствии с поставленными задачами относительно поиска и анализа информации о беспроводных сетях, определяющими факторами при выборе SDK являлись следующие:

- наличие в SDK/NDK средств для сбора и обработки данных с радиомодулей GSM/CDMA, Wi-Fi, Bluetooth;
- наличие документации и поддержки для SDK;
- высокий уровень распространения платформы на рынке мобильных устройств;
- стоимость устройств с установленной платформой;
- предполагаемая перспективность платформы.

Из выбора исключена платформа Blackberry, так как она имеет невысокую долю на рынке и уступает место динамично развивающейся ОС Windows Phone от Microsoft. Распространение последней платформы увеличивается за счёт устройств от Nokia, HTC и других производителей. Однако текущие функциональные возможности Windows Phone SDK не содержат средств для определения уровня сигнала беспроводных сетей и потому исключают эту платформу из доступных к применению. Apple iOS не рассматривалась по причине высокой стоимости мобильных устройств, работающих на ней.

Таким образом, выбор платформы Android для разработки мобильного приложения поиска и анализа излучения от беспроводных сетей обусловлен следующим факторами:

- наличие SDK, имеющей необходимые средства для работы с сигналами сетей, начиная с версии 15 (соответствует ОС Android 4.0.3);
- наличие средств геопозиционирования: модуля GPS, средств соединения с Интернет для доступа к картам Google Maps и увеличения точности;
- подробная документация от разработчиков Android и в сети Интернет;

- лидирующая доля на рынке разнообразных мобильных устройств (смартфоны, планшетные компьютеры и т. д.).

В результате работы создано мобильное приложение WirelessScanner для платформы Android 4.0.3 и выше. Разработка выполнялась при помощи: Android SDK API level 15, Google Maps for Android API v2, Google Location API, IDE Eclipse Android Tools и Android Studio (IntelliJ IDEA). Тестирование выполнялось на следующих мобильных устройствах: смартфоны ZTE V880E и HTC Desire S, планшетный компьютер Google Nexus 9.

#### Геопозиционирование

Задача определения местоположения, т. е. геопозиционирования, решается двумя способами: встроенными средствами приемника сигнала (мобильного устройства – телефона, планшета и пр.) и с помощью веб-сервиса Google. В первом случае в рамках выбранной платформы для разработки мобильного приложения используется решения Android SDK. Второй способ предполагает доступ мобильного устройства в Интернет и обращение к сервисам Google.

Google Location APIs является частью Google Play Services и позволяет получить данные о текущем географическом положении мобильного устройства за счет триангуляции по значениям мощностей сигналов от источников близлежащих беспроводных сетей. Применение подобной технологии позволяет значительно увеличить точность определения текущего местоположения в местах с высокой плотностью беспроводных сетей.

При помощи Google Location APIs становится возможным определение положения устройств, в которых отсутствует модуль GPS [10]. Точность геопозиционирования внутри здания бывает выше, чем за его пределами, из-за наличия большого количества беспроводных сетей. Однако работа Google Location APIs основана на обращении к встроенным средствам мобильного устройства, доступным через Android SDK. Поэтому использование Google Location APIs неэффективно при определении местоположения в местах, где количество беспроводных и мобильных сетей мало.

Использование встроенных средств мобильного устройства редко позволяет добиться высокой точности (менее 50 м), особенно при отключении функции определения координат по сети в настройках ОС Android. В этом случае необходимо использовать модуль GPS, запуск которого может требовать длительного времени.

#### Технологии программирования

Выбранные средства разработки Android SDK позволяют получить данные об окружающих беспроводных сетях путем обращения к модулям телефонии, Wi-Fi и Bluetooth мобильного устройства. В общем случае для решения этой задачи следует использовать специальные обработчики событий, которые подписываются на обновления со-

стояния объекта анализа и следят за ними с помощью так называемых широковещательных приемников – специальных программных компонентов.

Событие изменения сигнала используется для повторного чтения информации об окружающих вышках сотовой связи. Android SDK позволяет получать информацию только о той сети сотовой связи, в которой мобильное устройство зарегистрировано в данный момент путем использования SIM-карты. Информация о соте включает следующие данные: Location Area Code (LAC) и номер соты для сотовых сетей сотовой связи второго поколения, PSC-код и для сетей третьего поколения [7].

Принцип действия модулей Bluetooth и Wi-Fi отличается от принципа действия модуля телефонии. Если модуль телефонии получает информацию о доступных сотах сети постоянно, то модули Bluetooth и Wi-Fi следует инициализировать для поиска сетей. Для этого необходимо использовать переопределенный широковещательный приемник BroadcastReceiver, который подключается к любому контексту и использует фильтры намерения (IntentFilter) для определения событий, на которые необходимо отреагировать.

Wi-Fi и Bluetooth модули начинают сканирование сетей и прекращают его, генерируя глобальное событие, видимое всем подключенным к ним широковещательным приемникам. Последние, помимо сбора информации, обеспечивают накопление и обработку данных о найденных сетях.

#### Математические основы алгоритмического обеспечения

Задача определения расстояния от текущего местоположения до источника излучения по мощности сигнала в данной точке является базовой и не зависит от типа беспроводной сети. Согласно закону обратных квадратов, мощность сигнала обратно пропорциональна квадрату расстояния. Поэтому расстояние до источника излучения определяется формулой:

$$a = \sqrt{\frac{k}{R}}, \quad (1)$$

где  $k$  – калибровочный коэффициент;  $R$  – мощность сигнала.

Выражение (1) предполагает известную мощность сигнала в абсолютных величинах (ватт). Однако практически измерение мощности выполняется в относительной логарифмической величине дБм (децибелл на милливат). Поэтому выражение (1) трансформируется в следующую формулу:

$$a = 10^{\frac{R_{дБм} - s}{10k}}, \quad (2)$$

где  $R_{дБм}$  – мощность (дБм);  $s$  – мощность в текущей точке, измеренная на расстоянии 1 м от источника излучения (дБм);  $k$  – калибровочный коэффициент.

Выражение (2) показывает экспоненциальную зависимость двух искомых переменных друг от друга: расстояния до источника излучения и мощ-

ности сигнала в точке измерения [11]. Поэтому вычисление местоположения источника излучения производится относительно известных точек. Таким образом, для определения координат источника сигнала необходимо решить задачу триангуляции. При этом расстояние до источника излучения определяется по трём (в двумерном случае) или четырём (в трёхмерном случае) и более точкам, в которых измерена мощность согласно формуле (2).

Геометрически (в двумерном случае) задача представляет собой нахождение точки  $S$ , которая расположена на минимальном расстоянии от центров окружностей  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ,  $n \geq 3$ , с радиусом, равным предполагаемым расстояниям до источника (рис. 1). В трехмерном пространстве, где  $n \geq 4$ , каждая точка, помимо координат широты и долготы, имеет также значение высоты.

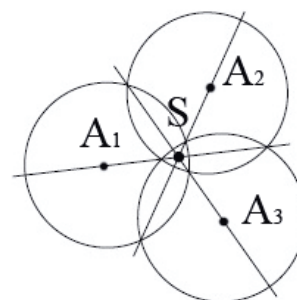


Рис. 1. Двумерная триангуляция источника  $S$

Fig. 1. Two-dimensional triangulation of the source  $S$

Таким образом, по методу наименьших квадратов [12], необходимо решить задачу многомерной минимизации функции суммы расстояний от всех имеющихся точек:

$$\sum_{i=1}^n ((x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 - A_i^2)^2 \rightarrow \min(x_s, y_s), \quad (3)$$

где  $(x_i; y_i)$  – координаты  $i$ -й точки,  $1 \leq i \leq n$ .

Для решения минимизации функции по выражению (3) был использован метод многомерной оптимизации Марквардта, представляющий собой комбинацию методов градиентного спуска и метода Ньютона. Метод Марквардта имеет высокую сходимость за счет двунаправленного решения: с одной стороны движение происходит в сторону, противоположную градиенту функции в точке, удаленной от точки минимума, а с другой – направление эффективного поиска в окрестностях точки минимума определяется по методу Ньютона. Метод Марквардта был использован для первичной триангуляции источника, последующей минимизации ошибки и определения радиуса излучения.

Согласно выражению (2), вычисление предполагаемого расстояния до источника излучения зависит от калибровочного коэффициента, при котором результирующее расстояние будет соответствовать действительности при допущении, что для каждого типа анализируемых беспроводных сетей (Wi-Fi, Bluetooth, сети сотовой связи) мощности излучателей являются одинаковыми.

Были проведены измерительные эксперименты получения значений мощностей, соответствующих значениям расстояний до источника излучения. При этом для каждого выбранного расстояния выполнялось пять измерений, из которых выбиралось среднее арифметическое. Измерения производились с интервалом 5 секунд при последовательном размещении двух разных смартфонов: излучателя и измерителя с помощью встроеного программно-аппаратного обеспечения типового мобильного устройства. Пример экспериментальных измерений для сети типа Bluetooth приведен в табл. 2.

**Таблица 2.** Измерения мощностей сигнала сети Bluetooth на различных расстояниях

**Table 2.** Measurement of a signal of Bluetooth network at different distances

Расстояние, м Distance, m	0,05	0,3	0,6	1,0	1,5	2,0
Мощность, дБм Power, dBm	-38	-38	-45	-60	-68	-78
	-40	-44	-46	-62	-73	-75
	-36	-46	-46	-55	-66	-73
	-36	-38	-50	-51	-67	-78
	-38	-39	-41	-57	-62	-75
Средняя мощность, дБм Average power, dBm	-38,0	-41,0	-45,6	-57,0	-67,2	-75,8

Согласно [5], для анализируемых типов сетей значение мощности сигнала, как правило, варьируется в диапазоне от -30 до -113 дБм. Анализ результатов измерительных экспериментов (табл. 2) показывает, что среднее значение мощности сигнала  $s$ , измеренное на расстоянии одного метра от источника излучения, равно -57 дБм.

Преобразуя формулу (2), получаем выражение для вычисления калибровочного коэффициента  $k$  как среднего арифметического коэффициентов для каждого полученного показателя мощности:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_i - s}{10 \log a_i}}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – число групп измерений;  $R_i$  – средняя мощность сигнала в данной точке (дБм);  $a_i$  – расстояние от источника сигнала до данной точки (м).

В результате полученный коэффициент  $k = -3,61$ . Подставляя его и значение  $s = -57$  в формулу (2), получаем функцию расчёта расстояния по мощности сигнала:

$$a_1(R_{dBm}) = 10^{\frac{R_{dBm} + 57}{-36,1}}. \quad (5)$$

Дальнейшая триангуляция расстояния до источника излучения и оптимизация калибровочных коэффициентов состояла из следующих этапов:

- 1) минимизация функции (3) по полученным входным данным методом Марквардта;
- 2) если точек больше  $n$ , то для каждой точки вычисляется значение  $\varepsilon_i$  – отклонение расстояния

до вычисленного в ходе шага 1 источника от измеренного ранее:

$$\varepsilon_i = |(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 - A_i^2|, \quad (6)$$

где  $x_s$  и  $y_s$  – координаты источника, найденные при триангуляции,  $n=3$  для двумерного случая задачи,  $n=4$  для трёхмерного случая. После этого происходит отбрасывание точки с наибольшим значением  $\varepsilon_i$  и переход к шагу 1, иначе – переход к шагу 3. Для триангуляции используется 15 лучших точек;

- 3) используя полученные значения  $x_s$  и  $y_s$  как константы и описывая значения расстояния  $A_i$  в выражении (3) через формулы (2), (5), (6), формулируем задачу минимизации функции относительно калибровочных коэффициентов:

$$\sum_{i=1}^n \left( (x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 - 10^{\frac{2(R_i - s)}{10k}} \right)^2 \rightarrow \min(s, k), \quad (7)$$

где  $s$  и  $k$  – калибровочные коэффициенты, начальные значения которых соответствуют предустановленным значениям для данного типа сети. После завершения минимизации функции (7) методом Марквардта калибровочные коэффициенты сети обновляются.

Таким образом, входными данными для триангуляции служат координаты и высоты точек, значения сигналов в этих точках и калибровочные коэффициенты сети. Триангуляция источника повторяется в том случае, если обновляется состав точек сети или значений сигналов в них. Для решения матричных уравнений, присутствующих в алгоритме метода Марквардта, используется библиотека JAMA [13]. Вычисление производных первого и второго порядков в методе Марквардта реализовано в качестве отдельных функций.

Для трёхмерной триангуляции требуется четыре точки, однако для ускорения процесса при наличии трёх точек предварительно выполняется двумерная триангуляция. Это обусловлено тем, что в реальности значение высоты редко существенно влияет на координаты широты и долготы источника, особенно в случае сетей сотовой связи.

Для триангуляции источника сети важно, чтобы при сканировании сетей было сохранено как можно меньше точек, содержащих ложные или искажённые данные. Встроенными средствами мобильного устройства и Android SDK невозможно установить качество получаемого сигнала, поскольку обработка данных выполняется программным образом. Также возможны искажения в геопозиционировании мобильного устройства [14], что следует учесть при сборе точек.

Первый этап минимизации и сглаживания искажения исходных данных состоит в определении минимальной точности геопозиционирования для каждой группы сети. Соответственно, чем больше предполагаемая зона покрытия для данной группы сетей, тем менее существенно значение искажений в измерениях местоположения и тем выше показатели точности. Определены следующие значе-

ния точности для расчета расстояний до источника беспроводной сети: 100 м для сетей сотовой связи, 30 м для Wi-Fi и 15 м для Bluetooth.

Далее необходимо снизить воздействие случайных помех. Вследствие неоднородности окружающей среды для одной и той же географической точки могут быть получены совершенно разные значения сигнала сети. В таком случае выполняется обновление параметров уже существующей точки с вычислением среднего арифметического значения всех измерений сигналов в ней.

Однако возможен случай, когда точки одной сети находятся очень близко друг к другу, но определяются как разные по причине отличия их географических координат. Более того, из-за искажений геопозиционирования точки практически никогда не будут совпадать, даже находясь в нескольких сантиметрах друг от друга. В таком случае принцип обновления существующей точки не имеет смысла и целесообразно объединять такие точки [15–19]. Для этого используется метод, принцип действия которого изображён на рис. 2.

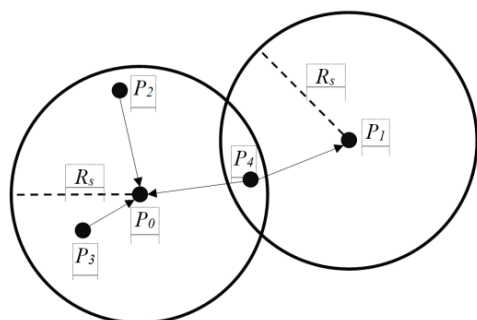


Рис. 2. Объединение близкорасположенных точек

Fig. 2. Join of nearby points

Для каждого типа сетей было определено значение радиуса объединения  $R_s$ . Если новая точка  $P_i$  находится в пределах радиуса одной или большего количества уже сохранённых точек  $P_j$ , то, вместо сохранения новой точки, будут обновлены значения сигналов существующих точек, в радиус объединения которых попадает новая. Для случая, представленного на рис. 3, в списке точек будут сохранены только  $P_0$  и  $P_1$ . Значения сигналов в  $P_0$  будут обновлены в зависимости от значений сигналов в точках  $P_2$ ,  $P_3$  и  $P_4$ , а значение сигнала в  $P_1$  – в зависимости от значения в точке  $P_4$ .

Радиус объединения выбран так, чтобы предотвратить накопление лишних данных и сохранить достаточно точек для дальнейшей триангуляции источника. Таким образом, для сетей малого радиуса действия (Wi-Fi и Bluetooth) целесообразно установить небольшой радиус объединения. И наоборот, для сетей сотовой связи имеет смысл установить большее значение, поскольку вероятность резкого изменения мощности сигнала на малом расстоянии открытой местности невелика. Определены следующие значения радиусов объединения точек для рассматриваемых типов беспроводных

сетей: 30 м для сетей сотовой связи, 5 м для сетей Wi-Fi и 1 м для сетей Bluetooth.

### Программная реализация

Мобильное приложение включает несколько модулей (управляющих объектов), реализующих функции поиска и анализа беспроводных сетей:

- TelephonyDevice: отвечает за взаимодействие с модулем телефонии;
- WiFiDevice: отвечает за взаимодействие с модулем Wi-Fi;
- BluetoothDevice: отвечает за взаимодействие с модулем Bluetooth;
- LocationDevice: абстрактный класс взаимодействия с одним из сервисов местоположения, реализациями которого могут быть:
  - OnBoardLocation – взаимодействие со встроенными в ОС Android средствами определения местоположения (модуль GPS, геопозиционирование по координатам);
  - GoogleLocation – взаимодействие с сервисом Google Location.

В соответствии с заявленными функциональными требованиями к мобильному приложению поиска и анализа беспроводных сетей, определено шесть вариантов использования приложения, представленных на рис. 3 в виде соответствующей UML-диаграммы [20]. Графический интерфейс является основным и единственным средством взаимодействия пользователя с мобильным приложением в ОС Android [21] (рис. 4, а).

Реализация представленных на рис. 3 вариантов использования выполнена в рамках графических окон-вкладок с возможностью переключения между ними. Раздел *Состояние* содержит элементы интерфейса, позволяющие получить доступ к текущему состоянию приложения и параметрам процесса сканирования беспроводных сетей. Также отображаются данные геопозиционирования: текущие координаты, высота и точность. Выбор типа сети для поиска доступен в режиме реального времени. При нажатии на запись выводится окно с дополнительной информацией о выбранной сети (рис. 4, б).

Раздел *Карта* представляет собой визуализацию покрытия найденных беспроводных сетей, включая данные об источниках и зонах покрытия (рис. 4, в). Каждая найденная сеть отмечена окружностью, цвет которой завит от типа сети: желтым отмечены сотовые сети 2G, красным – 3G, зеленым – Wi-Fi, синим – Bluetooth. В разделе *Анализ* приводится перечень сетей, сохраненных в течение сеанса работы приложения. Для управления настройками приложения используется раздел *Настройки*.

### Заключение

В рамках поставленной задачи геоинформатики в результате работы создано мобильное приложение на платформе Android для визуализации

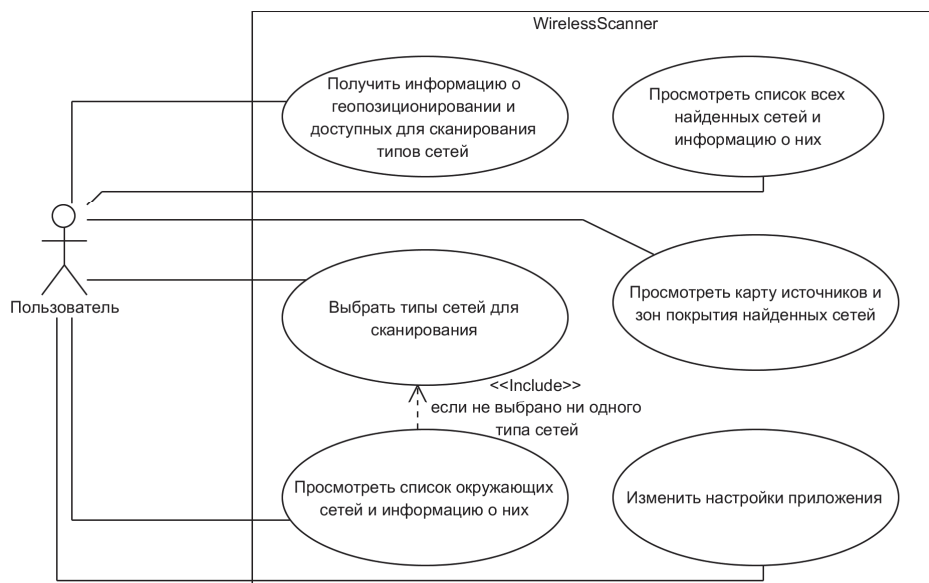


Рис. 3. UML-диаграмма вариантов использования приложения

Fig. 3. UML-diagram of using applications

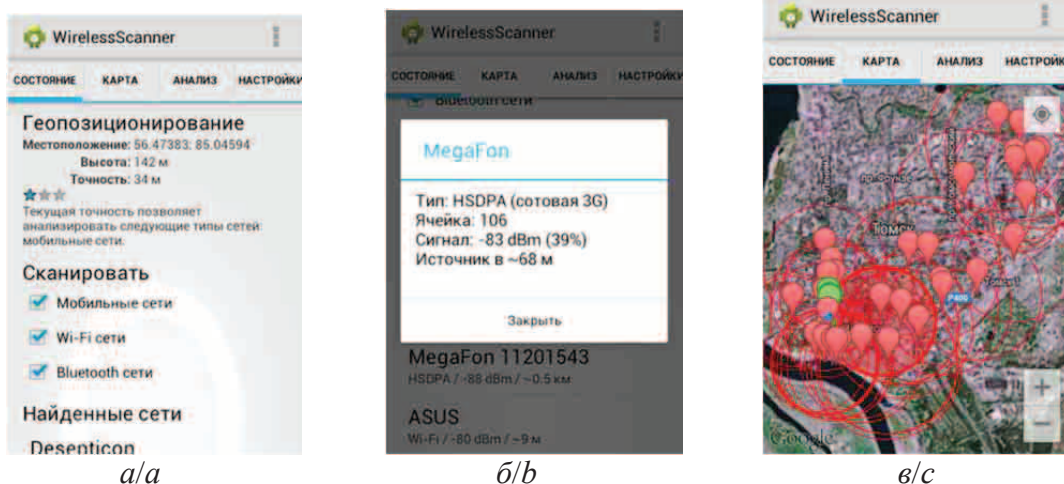


Рис. 4. Интерфейс мобильного приложения: а) внешний вид приложения после запуска; б) информация о соте № 106 сети MegaFon; в) отображение источников излучения и радиусов их действия на карте

Fig. 4. Interface of the mobile application: a) outside view of the application after launch; b) information on cell № 106 of MegaFon network; c) displaying radiation sources and radius of their effect on a map

покрытия беспроводных сетей. Приложение позволяет по усмотрению пользователя и при наличии соответствующих модулей оборудования в мобильном устройстве проводить сбор данных по окружающим сетям сотовой связи 2G и 3G, а также Wi-Fi и Bluetooth. Выполняется триангуляция источника и оценка зоны покрытия излучения. Полученные данные о действующих беспроводных сетях и плотности электромагнитного загрязнения предоставляются пользователю в наглядном виде посредством размещения объектов на карте, представленной сервисом Google Maps.

Полученная с помощью разработанного мобильного приложения информация об источниках электромагнитного излучения в ближайшем ради-

усе действия в разных районах г. Томска показала достаточно высокую плотность покрытия данной территории беспроводными сетями. Поэтому возникает вопрос о влиянии этого факта на здоровье горожан. Согласно [1–6], вред радиосигнала зависит от его частотного диапазона. Например, обыкновенный радиоприёмник работает в диапазоне 50–150 МГц, военные радиостанции – в диапазоне до 500 МГц, сотовые телефоны в сетях 4G – около 1900 МГц. Частота функционирования сетей Wi-Fi составляет 2,4–5 ГГц.

Разумеется, любой радиосигнал по природе оказывает влияние на атомы и молекулы, в том числе и на живые клетки организма. Однако для нанесения ощутимого вреда здоровью частотный ди-

апазон излучаемого сигнала должен колебаться с постоянной амплитудой, быть сфокусированным на объект и воздействовать на него постоянно и целенаправленно.

На практике высокая частота излучения сетей Wi-Fi рассеивается и не оказывает ощутимого влияния на организм, даже при наличии у точки доступа большого количества антенн, которые работают в различных диапазонах и раздают сигнал на принимающие устройства (телефон, компьютер).

Кроме того, накопленных статистических данных за двадцатилетнюю историю повсеместного распространения беспроводных сетей пока недостаточно для однозначного формулирования степени вреда от различных источников излучения. Таким образом, разработанное мобильное приложение решает, в первую очередь, задачу визуализации покрытия беспроводных сетей и отображения радиуса их действия, не фокусируясь на их влиянии на живой организм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотовый телефон и рак мозга: есть ли связь? // RevelMob. 2015. URL: <http://www.revelmob.com/ru/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3/сотовый-телефон-и-рак-мозга-есть-ли-связь> (дата обращения: 28.04.2015).
2. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4/2.1.8.055 96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)». – М: Минздрав России, 1996. – 10 с.
3. Гигиенические нормативы ГН 2.1.8./2.2.4.019–94 «Временные допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи». – М: Минздрав России, 1994. – 12 с.
4. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191–03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». – М: Минздрав России, 2003. – 10 с.
5. Дунаев В.Н. Электромагнитные излучения и риск популяционному здоровью при использовании средств сотовой связи // Гигиена и санитария. – 2007. – Вып. 6. – С. 56–57.
6. The shocking demographics of cell phone use // Visually. URL: <http://visual.ly/shocking-demographics-cell-phone-use> (дата обращения: 10.02.2015).
7. Что такое 1G, 2G, 3G, 4G и все что между ними // Хабрахабр. URL: <http://habrahabr.ru/post/112535/> (дата обращения: 10.02.2015).
8. Поколения мобильной телефонии // Википедия – свободная энциклопедия. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Поколения\\_мобильной\\_телефонии](http://ru.wikipedia.org/wiki/Поколения_мобильной_телефонии) (дата обращения: 10.02.2015).
9. Рынок мобильных ОС в 2012 году по версии IDC // 3DNews. Daily Digital Digest. URL: <http://www.3dnews.ru/news/641673> (дата обращения: 10.02.2015).
10. HYPERLINK «<https://developers.google.com/maps/documentation/webservices?hl=ru>» Веб-службы API Google Карт // Google Developers. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/?hl=ru> (дата обращения: 10.02.2015).
11. Bardwell J. Converting signal strength percentage to dBm values. URL: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fmadwifi-project.org%2Fattachment%2Fwiki%2FUserDocs%2FRSSI%2FConverting\\_Signal\\_Strength.pdf%3Fformat%3Draw&ei=HplAVZj-BsqxygOpg4DQVw&usq=AFQjCNG\\_jtFJ1116Hnr1OU3KxHFVIAjAXQ&sig2=tpV3x0jQjuFZG4wG5n\\_LKQ&bvm=bv.91665533,d.bGQ&cad=rjt](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fmadwifi-project.org%2Fattachment%2Fwiki%2FUserDocs%2FRSSI%2FConverting_Signal_Strength.pdf%3Fformat%3Draw&ei=HplAVZj-BsqxygOpg4DQVw&usq=AFQjCNG_jtFJ1116Hnr1OU3KxHFVIAjAXQ&sig2=tpV3x0jQjuFZG4wG5n_LKQ&bvm=bv.91665533,d.bGQ&cad=rjt) (дата обращения: 10.02.2015).
12. Метод наименьших квадратов // Википедия – свободная энциклопедия. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_наименьших\\_квадратов](http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_наименьших_квадратов) (дата обращения: 10.02.2015).
13. JAMA. Национальный институт стандартов и технологии // JAMA: A Java Matrix Package. 2012. URL: <http://math.nist.gov/javanumerics/jama/> (дата обращения: 10.02.2015).
14. Высокоточное определение местоположения пользователя в режиме реального времени с помощью системы слежения в помещении и на улице / Бун-Глин Ли, Сын Чул Ли, Ван-Янг Чунг, Эрин-е-е-Лин Лай // International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. – 2008, ноябрь. – Вып. 2. – № 1. – С. 534–548.
15. Timko I., Dyreson C., Bach Pedersen T. A probabilistic data model and algebra for location-based data warehouses and their implementation. New York: Springer Science+Business Media, 2013. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10707-013-0180-4/fulltext.html> (дата обращения: 10.02.2015).
16. Ксю Дж., Гёттинг Р. Общая модель данных для движущихся объектов // Геоинформатика. – 2013. – № 17. – С. 125–172.
17. Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное картографирование функциональных зон городских территорий по космическим снимкам // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 55–62.
18. Пространственно-временная модель сжатия траекторий в улично-дорожной сети / Ю. Санду Поп, К. Зайтони, В. Ориа, А. Харатт // Геоинформатика. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 117–145.
19. Информационно-аналитическая система «Интерактивная карта города Дубна» / Е.Н. Черемисина, Л.Ф. Спивак, И.Л. Спивак, В.С. Духанин // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 7–15.
20. Вичугова А.А. Методы и средства концептуального проектирования информационных систем: сравнительный анализ структурного и объектно-ориентированного подходов // Прикладная информатика. – 2014. – № 1. – С. 56–65.
21. We build market research apps // Mobile market research. 2015. URL: <http://www.mobilemarketresearch.net/> (дата обращения: 10.02.2015).

Поступила 09.02.2015 г.



UDC 004.738:004.45

## MOBILE VISUALIZATION OF DATA ON WIRELESS NETWORK ELECTROMAGNETIC RADIATION

**Boris I. Samoylenko,**Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: boris-1991@mail.ru**Vladimir N. Vichugov,**Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: vlad@tpu.ru**Anna A. Vichugova,**Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: vichugovaaa@tpu.ru

The relevance of the discussed issue is caused by the need to analyze the influence of wireless networks to human health. This problem is oriented to such science directions as geocology and geoinformatics. The density of electromagnetic pollution is analyzed through determining the number of radiation sources and their radius of action.

**The main aim of the study** is to search and analyze the information on electromagnetic radiation emanating from surrounding wireless networks: cellular, Wi-Fi and Bluetooth, using specially developed software for mobile devices.

**The methods used in the study:** methods and tools for software design and development, geographic information systems, mathematical methods of triangulation, multivariate optimization and filtering of signals, the inverse square law, practical measurement experiments.

**The results.** The authors have stated and solved the problem of searching and analyzing the information on electromagnetic radiation emanating from the surrounding wireless networks: cellular, Wi-Fi and Bluetooth. The paper describes the methods and tools, technologies, programming and mathematical foundations of the developed mobile Android-application and considers the issues of receiving, triangulation and filtering radiation signals. The developed Android-platform mobile software is described in details; the paper is illustrated by screenshots. The results of experimental measurements and calculations of the radiation source power, and the range of the wireless network (cellular, Wi-Fi and Bluetooth) are analyzed.

**Key words:**

Geocology, geoinformatics, mobile application, wireless networking, signal triangulation.

## REFERENCES

1. *Sotovye telefony i rak mozga: est li svaz? [Cell phones and brain cancer: is there a connection?]*. Available at: <http://www.revel-mob.com/ru/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3/сотовый-телефон-и-рак-мозга-есть-ли-связь> (accessed 06 February 2015).
2. *Sanitarnye pravila i normy SanPiN 2.2.4/2.1.8.055 96 «Elektromagnitnye izlucheniya radiochastotnogo diapazona (EMI RCh)» [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.2.4/2.1.8.055 96 «Radio frequency energy»]*. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 1993. 10 p.
3. *Gigienicheskie normativy GN 2.1.8./2.2.4.019–94 «Vremennye dopustimye urovni vozdeystviya elektromagnitnykh izlucheny, sozdavaemykh sistemami sotovoy radiosvyazi» [Hygienic standards GN 2.1.8./2.2.4.019–94 «Temporary permissible levels of exposure to electromagnetic radiation produced by cellular radio systems»]*. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 1994. 12 p.
4. *Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy SanPiN 2.2.4.1191–03 «Elektromagnitnye polya v proizvodstvennykh usloviyakh» [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.2.4.1191–03 «Electromagnetic fields in the working environment»]*. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 2003. 10 p.
5. Dunaev V.N. Elektromagnitnye izlucheniya i riskpopulyazionno-my zdorovyyu pri ispolzovanii sredstv sotovoy svyazi [Electromagnetic radiation and the risk of population health with the use of the cellular]. *Hygiene and Sanitation*, 2007, no. 6, pp. 56–57.
6. The Shocking Demographics of Cell Phone Use. *Visually*. Available at: <http://visual.ly/shocking-demographics-cell-phone-use> (accessed 10 February 2015).
7. Chto takoe 1G, 2G, 3G, 4G i vse chto mezhdum nimi [What is 1G, 2G, 3G, 4G and everything between them]. *Habrahabr*. Available at: <http://habrahabr.ru/post/112535/> (accessed 10 February 2015).
8. Pokolenie mobilnoy telefonii [History of mobile phones]. *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_mobile\\_phones](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones) (accessed 10 February 2015).
9. Rynok mobilnykh OS v 2012 godu po versii IDC [The market of mobile operating systems in 2012 by the IDC]. *3DNews. Daily Digital Digest*. Available at: <http://www.3dnews.ru/news/641673> (accessed 10 February 2015).
10. Veb-sluzhby API Google kart [Web-services of API Google maps]. *Google Developers*. Available at: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/?hl=ru> (accessed 10 February 2015).
11. Bardwell J. Converting Signal Strength Percentage to dBm Values. Available at: [https://madwifi-project.org/attachment/wiki/UserDocs/RSSI/Converting\\_Signal\\_Strength.pdf](https://madwifi-project.org/attachment/wiki/UserDocs/RSSI/Converting_Signal_Strength.pdf) (accessed 10 February 2015).
12. Metod naimenshikh kvadratov [Least square method]. *Wikipedia, the free encyclopedia*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Least\\_squares](https://en.wikipedia.org/wiki/Least_squares) (accessed 10 February 2015).
13. JAMA: natsionalny institut standartov i technology [JAMA: National Institute of Standards and Technology]. *JAMA: a Java Matrix Package*. Available at: <http://math.nist.gov/javanumerics/jama/> (accessed 10 February 2015).
14. Boon-Glin Lee, Seung-Chul Lee, Wan-Young Chung, Erin-Ee-Lin Lau. Vysokochastotnoe opredelenie mestopolozheniya polzovate-

- lya v rezhime realnogo vremeni s pomoshchyu sistemy slezheniya v pomeshchenii i na ulitse [Enhanced RSSI-based High Accuracy Real-Time User Location Tracking System for Indoor and Outdoor Environments]. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 2008, November, Iss. 2, no. 1, pp. 534–548.
15. Timko I., Dyreson C., Bach Pedersen T. *A probabilistic data model and algebra for location-based data warehouses and their implementation*. New York, Springer Science+Business Media, 2013. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10707-013-0180-4/fulltext.html> (accessed 10 February 2015).
  16. Xu J., Güting R. Obshchaya model dannykh dlya dvizhushchikhsya obektov [A generic data model for moving objects]. *Geoinformatica*, 2013, no. 1, pp. 125–172.
  17. Khaybrakhmanov T.S. Geoinformatsionnoe kartografirovanie funktsionalnykh zon gorodskikh territoriy po kosmicheskim snimkam [GIS mapping of urban functional zones (types of land use) by satellite images]. *Geoinformatica*, 2014, no. 1, pp. 55–62.
  18. Sandu Pop I., Zeitouni K., Oria V., Kharrat A. Prostranstvenno-vremennoe szhatie traektoriy ulichno-dorozhnoy seti [Spatio-temporal compression of trajectories in road networks]. *GeoInformatica*, 2015, January, vol. 19, Iss. 1, pp. 117–145.
  19. Cheremisina E.N., Spivak L.F., Spivak I.L., Dukhanin V.S. Informatsionno-analiticheskaya sistema «Interaktivnaya karta goroda Dubna» [Information-analytical system «Interactive map of Dubna»]. *Geoinformatica*, 2014, no. 1, pp. 7–15.
  20. Vichugova A.A. Metody i sredstva kontseptualnogo proektirovaniya informatsionnykh sistem: sravnitelny analiz strukturnogo i obektno-orientirovannogo podkhodov [Methods and tools to conceptual design of information systems]. *Journal of Applied Informatics*, 2014, no. 1, pp. 56–65.
  21. We build market research apps. *Mobile market research*. 2015. Available at: <http://www.mobilemarketresearch.net/> (accessed 10 February 2015).

Received: 09 February 2015.