

УДК 622.276.001

П.А. Богуренко, М.Е. БурлаковСамарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева,
Самара, Россия

ОБЗОР МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В WI-FI-СЕТЯХ

В статье рассматриваются различные методы локального позиционирования объектов с использованием инфраструктуры Wi-Fi-сетей. Продемонстрировано преимущество локальных систем позиционирования на базе Wi-Fi над системами глобального позиционирования при определении местоположения объектов внутри помещений. Обосновано преимущество систем Wi-Fi-позиционирования перед другими системами локального позиционирования. Показан параметр RSSI, на основании которого работают методы, и обоснован выбор данного параметра. Исследованы критерии выбора фреймов, подходящих для решения задач позиционирования. Показан процесс формирования набора измерений, необходимого для работы методов. Проанализирована возможная частота получения набора измерений от клиента и показана зависимость частоты от генерации трафика клиентом. Дан вывод о возможности использовать данные от клиента для позиционирования в реальном времени. Выделены основные методы, применяющиеся при позиционировании объектов в Wi-Fi-сетях, а также описаны функциональные особенности данных алгоритмов. Продемонстрирован процесс нахождения дистанции от точки доступа до клиента в зависимости от величины параметра RSSI и частоты, на которой принимает или передает точка доступа. Описаны сильные и слабые стороны алгоритмов. Сделан акцент на точности работы алгоритмов. Выделены методы, требующие стадию предварительных вычислений. Сделан вывод о том, что каждый алгоритм обладает критическими минусами, мешающими точному позиционированию в реальных условиях. Дан вывод о необходимости создания метода, который является комбинацией рассматриваемых алгоритмов, для повышения точности позиционирования и уменьшения зависимости от изменения в среде распространения сигнала.

Ключевые слова: позиционирование, точка доступа, методы, Wi-Fi.

P.A. Bogurenko, M.E. BurlakovSamara National Research University named after S.P. Korolev,
Samara, Russian Federation

THE OVERVIEW OF LOCAL POSITIONING METHODS THE OBJECTS IN WI-FI NETWORKS

The article considers various methods of local positioning of objects using the infrastructure of Wi-Fi networks. The advantage of local positioning systems based on Wi-Fi over global positioning systems in determining the location of objects inside the premises is demonstrated. Substantiated advantage of Wi-Fi positioning system over other local positioning systems. The RSSI parameter is shown, on the basis of which the methods work, and the choice of this parameter is justified. Studied

selection criteria of frames that are suitable for solving positioning tasks. Shows a process of forming a set of measurements necessary for working methods. The possible frequency of obtaining a set of measurements from the client is analyzed and the dependence of the frequency on the generation of traffic by the client is shown. Given the conclusion about the possibility to use the data from the client for positioning in real-time. Selected main methods used in the positioning in Wi-Fi networks and describes the functional characteristics of these algorithms. Demonstrated the process of finding the distance from the access point to the client depending on the value of the parameter RSSI and frequency on which the receiving or transmitting access point. The emphasis is on the accuracy of the algorithms. Highlighted methods that require a stage of preliminary calculations. It is concluded that each algorithm has critical drawbacks that make it difficult to accurately position in real conditions.

Given the conclusion about the need to create a method, which is a combination of the algorithms, to improve positioning accuracy and reduce the dependence on changes in the environment of signal propagation.

Keywords: positioning, access point, methods, Wi-Fi.

Введение. В настоящее время наблюдается рост интереса к решению задачи определения местоположения различных объектов. Местоположение может быть вычислено как в глобальных, так и в локальных координатах. Системы глобального позиционирования, такие как GPS и ГЛОНАСС, получили большое распространение благодаря широкому охвату и достаточно высокой точности вне помещений. Однако такие системы оказываются несостоятельными внутри зданий из-за помех от аппаратуры в помещениях, а также поглощения сигнала корпусом самого здания [1].

Решить данные проблемы предстоит системам локального позиционирования. Основным предназначением данных систем является определение местоположения объектов внутри помещений [2]. Одним из важнейших преимуществ систем локального позиционирования является возможность развернуть эту услугу на основе уже построенной сети [3].

1. Объекты исследования. В качестве исследования алгоритмов определения местоположения были выбраны алгоритмы на базе сетей Wi-Fi. Технология Wi-Fi выбрана, исходя из того, что данный тип WLAN наиболее распространен на сегодняшний день [4, 5]. В качестве ключевого параметра для решения задачи выбрана мощность сигнала (RSSI – Received Signal Strength Indicator), потому как он показывает высокую точность позиционирования [6]. Отметим, что алгоритмы, использующие данный параметр, позволяют адаптировать систему под уже готовую инфраструктуру, а также добиться быстрого отклика системы [7].

2. Основные определения. Для дальнейшего анализа методов введем следующие определения:

- клиент-объект, принимающий Wi-Fi-сигнал (мобильные устройства, ноутбуки, устройства с активным Wi-Fi-оборудованием);
- показатель уровня принимаемого сигнала (RSSI) – полная мощность принимаемого приёмником сигнала. Измеряется приёмником по логарифмической шкале в дБм [8];
- позиционирование – определение координат клиента на основе данных о мощности сигнала, принимаемого клиентом.

3. Задача получения информации от клиента. Для решения задачи позиционирования необходимо иметь набор измерений RSSI как минимум, от 3 точек доступа. Точки доступа, измерения с которых формируют набор, в общем случае работают на трех разных каналах: первый, шестой и одиннадцатый (это связано с работой стандартов IEEE 802.11). Если точка доступа не передает и не принимает, она находится в режиме мониторинга своего канала [9].

Если клиент находится в зоне уверенного приема одной точки доступа, то он передает и принимает на одном канале. Тогда возникает проблема получения набора измерений с трех разных каналов. Эта проблема продемонстрирована на рис. 1.

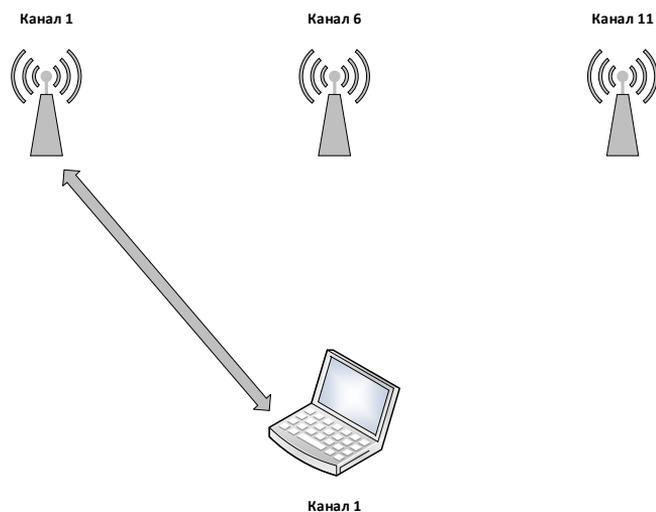


Рис. 1. Проблема получения набора измерений

Поставленную задачу измерения набора позволяет решить режим активного сканирования: клиент сканирует все доступные каналы, посылая пакеты Probe Request для обнаружения сети с наибольшим уровнем сигнала [10].

Клиент посылает Probe Request на первом канале и запускает Probe Timer. Величина Probe Timer не стандартизована и в зависимости от реализации драйверов сетевого адаптера может отличаться, но в общем случае она составляет 10 мс. В течение этого времени беспроводной клиент обрабатывает ответы Probe Response от точки доступа. Далее переходит на следующий канал, и процесс повторяется для всех каналов [11], после чего клиент решает, к какой точке доступа подключиться. Принцип работы активного сканирования представлен на рис. 2. В табл. 1 показана частота посылки пакетов Probe Request, полученных при тестировании для телефонов Sony C2105 и Lenovo S90 без генерации трафика.

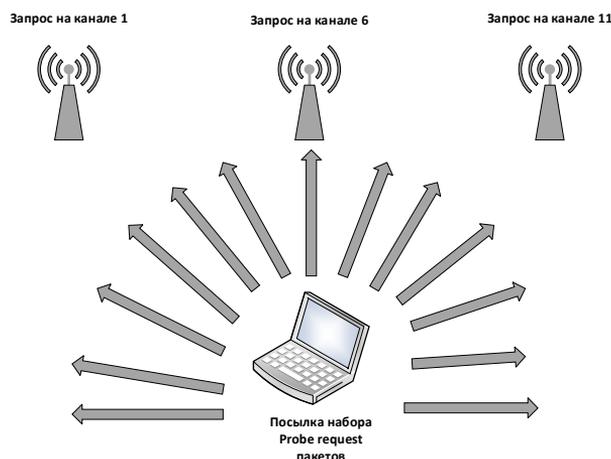


Рис. 2. Режим активного сканирования

Таблица 1

Результаты измерений при генерации трафика

Время между посылкой Probe Request	Отправитель	Получатель
18:14:19	SonyMoby_a1:db:59	Broadcast

Из проведенного опыта видно, что интервал между посылками Probe Request пакетов зависит от генерации трафика и составляет от 1 до 8 мин, что недостаточно для позиционирования в реальном времени.

4. Метод ближайшей точки доступа. В данном алгоритме клиенту присваиваются координаты той точки доступа, от которой ему поступает сигнал наибольшей мощности [12]. Данный алгоритм используется для определения клиентом ближайшей точки доступа [13]. Схема работы алгоритма продемонстрирована на рис.3.

Рассмотрим пример: в помещении находятся три точки доступа ТД₁-ТД₃, и сигнал наибольшей мощности принят клиентом от ТД₂. Тогда клиенту приписываются координаты ТД₂.

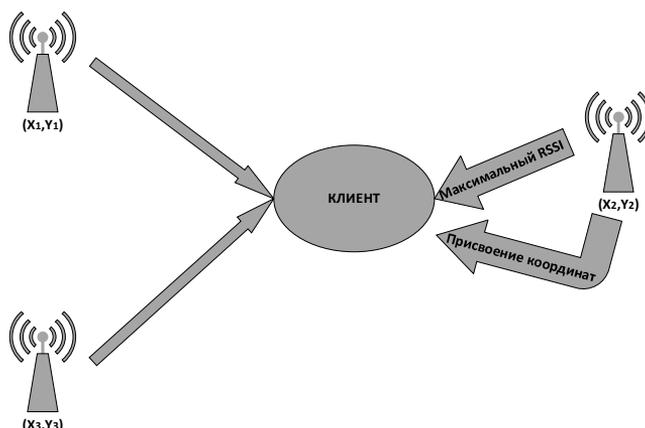


Рис. 3. Схема работы алгоритма ближайшей точки доступа

Преимуществами данного алгоритма являются простота реализации и необходимость знания только двух параметров: мощности сигналов, поступающих от точек доступа, и координаты этих точек.

Главным недостатком данного алгоритма является его низкая точность. Погрешность определения местоположения клиента может достигать дальности распространения сигнала от точки доступа. Отсюда вытекает существенный недостаток: чтобы алгоритм показывал удовлетворительные результаты, необходимо использовать избыточное количество точек доступа.

5. Метод триангуляции. Алгоритм триангуляции – это геометрический подход, позволяющий по трем или более точками доступа позиционировать клиента. Он основан на вычислении расстояний между клиентом и, как минимум, тремя точками доступа [14].

Расстояние можно вычислить, используя формулу Фрииса [15]:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{G_t G_r \lambda^2}, \quad (1)$$

где P_t – мощность сигнала передающей антенны; P_r – мощность сигнала, поступающая на антенну приемника; λ – длина волны несущей, равная c/f , где c – скорость света, а f – центральная частота, определяемая по табл. 3; G_t – коэффициент усиления мощности сигнала на передающей сигнал антенне; G_r – коэффициент усиления мощности сигнала на принимающей сигнал антенне; R – расстояние, пройденное сигналом между двумя антеннами.

Таблица 3

Соответствие каналов и частот
для Wi-Fi-оборудования

Канал	Центральная частота (МГц)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472

Мощность излучателя можно найти, зная производителя точки доступа, а мощность производителя точки доступа получается путем сопоставления их с OUI MAC-адреса, зарезервированного для каждого производителя. Для того чтобы работал алгоритм триангуляции в части масштабирования, необходимо иметь базу данных с OUI MAC-адресами, закрепленными за производителями. Ознакомиться с OUI MAC-адресами популярных производителей можно в табл. 4.

Таблица 4

Примеры OUI MAC-адресов различных производителей

Производитель	OUI MAC-адрес
TP-LINK TECHNOLOGIES CO, LTD	E0-05-C5, A0-F3-C1,8C-21-0A, EC-17-2F, EC-88-8F, 14-CF-92
D-Link Corporation	00-50-BA, 00-17-9A, 1C-BD-B9 90-94-E4
ZyXEL Communications Corporation	E8-37-7A, 04-BF-6D, 00-A0-C5 10-7B-EF, 60-31-97
NETGEAR	00-09-5B,00-0F-B5, 80-37-73

После вычисления расстояния между точками доступа координаты клиента определяются путем решения системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 = R_1^2, \\ (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 = R_2^2, \\ \dots \\ (X - X_n)^2 + (Y - Y_n)^2 = R_n^2. \end{cases} \quad (2)$$

Схема работы алгоритма показана на рис. 4.

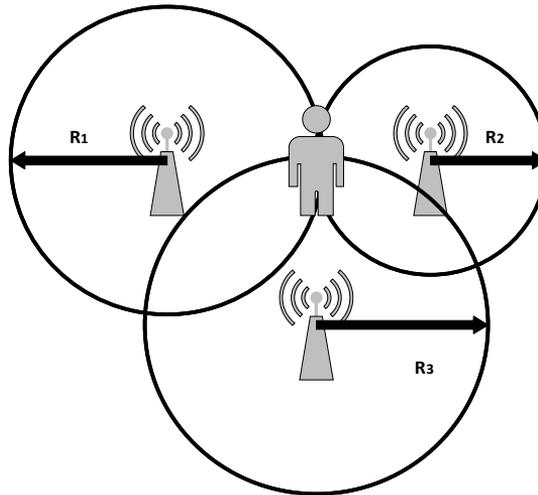


Рис. 4. Принцип работы алгоритма триангуляции

К основным достоинствам алгоритма можно отнести высокую точность и независимость от предварительных вычислений. Основными недостатками являются необходимость тщательного построения модели распространения сигнала и необходимость постоянной калибровки параметров среды, в которой распространяется Wi-Fi-сигнал.

6. Метод дифференциации пространственных образцов. Алгоритм снятия отпечатков основан на измерении мощности сигнала от всех точек доступа и сравнение полученных значений с образцами измерения мощности сигнала в заранее определенных координатах помещения [16].

Выделяют два этапа в процессе работы алгоритма:

- предварительные измерения векторов, состоящих из значений мощности сигнала от всех точек доступа. На данном этапе происходит измерение образцов в различных координатах и сохранение их в базе данных [17];

- определение местоположения клиента. На данном этапе происходит измерение вектора сигналов от клиента и последующее сравнение его с образцами, хранящимися в базе данных [17].

Этапы работы алгоритма показаны на рис. 5.

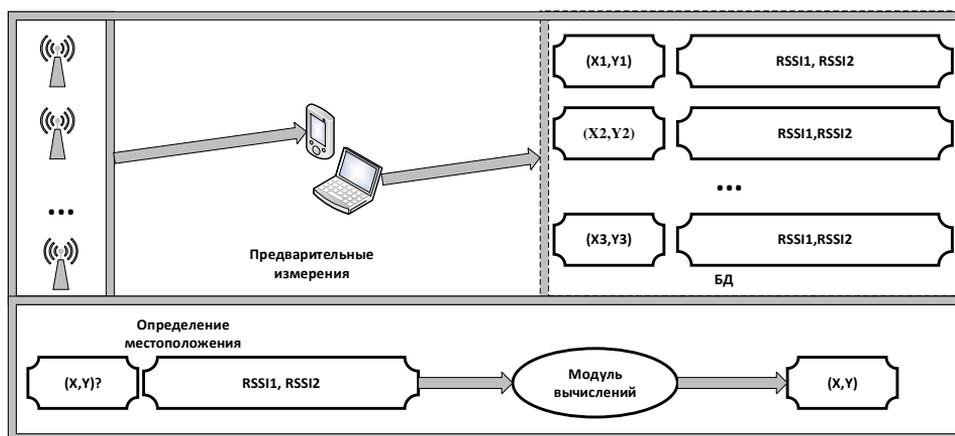


Рис. 5. Этапы в процессе работы алгоритма дифференциации пространственных образцов

К преимуществам алгоритма относят высокую точность. При достаточно большой плотности предварительных измерений погрешность можно свести практически до нуля. Однако из преимуществ данного метода вытекают и его недостатки: необходимость большого объема предварительных измерений и обновление их с учетом изменений в среде [18].

Выводы. Каждый из методов позиционирования обладает как плюсами, так и минусами. Алгоритмы, в которых отсутствует стадия предварительных вычислений, показывают более низкую точность

по сравнению с методами, у которых она есть. Однако методы, использующие предварительные вычисления, являются сложными в конфигурации базы данных и подразумевают статичную среду либо требуют регулярную калибровку измерений, хранящихся в базе данных. Для создания системы локального позиционирования, не имеющей перечисленных недостатков, необходимо разработать алгоритм, который комбинирует все рассмотренные методы. Комбинирование различных методов позволит значительно повысить точность результата и меньше зависеть от изменений в среде распространения сигнала.

Библиографический список

1. Игнатенко П.А. Разработка системы позиционирования в закрытых помещениях с использованием метода ангуляции источников Wi-Fi-сигнала / Ухтинский гос. техн. ун-т. – Ухта, 2016.
2. Системы локального позиционирования [Электронный ресурс] // Мир беспроводных решений. – URL: <http://www.wless.ru/technology/?tech=11> (дата обращения: 02.05.2017).
3. Gints Jekabsons¹, Vadim Kairish, Vadim Zuravlyov An Analysis of Wi-Fi Based Indoor Positioning Accuracy // Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science. – 2010.
4. Bin Hu Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Smartphones / Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) University. – 2013.
5. Бурлаков М.Е., Осипов М.Н. Аудит безопасности локальной вычислительной сети с помощью динамической системы на нейронах с реакцией на последовательности // ИБ-2013: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 85–91.
6. Волков А.Н., Сиверс М.А., Сухов В.А. Позиционирование в сетях Wi-Fi // Вестник связи. – 2010.
7. Bardwell J. Converting Signal Strength Percentage to dBm Values // WildPackets. – 2002.
8. An Improved Wi-Fi Indoor Positioning Algorithm by Weighted Fusion / R. Ma, Q. Guo, C. Hu, J. Xue // Sensors. – 2015. DOI: 10.3390/S150921824
9. Wi-Fi-позиционирование «дешево и сердито». О частоте замеров или возможно ли Wi-Fi-позиционирование в реальном времени? [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/post/309308/> (дата обращения: 05.05.2017).

10. WLAN Timers-TSF, SMK, probedelay, NAV, Backoff, MSDU, MMPDU timer [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/WLAN-probe-request-and-response-frame.html> (дата обращения: 07.05.2017).

11. WLAN Probe Request Frame [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/WLAN-timers.html> (дата обращения: 10.05.2016).

12. Andrzej Kwiecień, Piotr Gaj, Piotr Siera Computer Networks // 18th Conference, CN. – 2009.

13. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications // IEEE Standard for Information Technology. – 2016.

14. Старцев С.С. Модели распространения радиосигнала Wi-Fi // MIT-conference. – 2013.

15. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. – М.: Вильямс, 2004.

16. An Improved Algorithm to Generate a Wi-Fi Fingerprint Database for Indoor Positioning / L. Chen, B. Li, K. Zhao, C. Rizos, Z. Zheng // Sensors. – 2013. DOI: 10.3390/s130811085.

17. Indoor Wi-Fi Positioning System for Android-based Smartphone / Beom-Ju Shin, Kwang-Won Lee, Sun-Ho Choi, Joo-Yeon Kim, Woo Jin Lee [и др.] // Department of Information and Communication Engineering. – 2010.

18. Henniges Robin. Current approaches of Wi-Fi Positioning // TU-Berlin. – 2012.

References

1. Ignatenko P.A. Razrabotka sistemy pozitsionirovaniia v zakrytykh pomeshcheniiakh s ispol'zovaniem metoda anguliatzii istochnikov Wi-Fi signala [On the development of positioning systems in closed rooms using Wi-Fi signal sources]. Ukhtinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2016.

2. Sistemy lokal'nogo pozitsionirovaniia [About local positioning system]. *Mir besprovodnykh reshenii*, available at: <http://www.wless.ru/technology/?tech=11> (accessed 02 May 2017).

3. Gints Jakobsons¹, Vadim Kairish, Vadim Zuravlyov An Analysis of Wi-Fi Based Indoor Positioning Accuracy. *Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science*, 2010.

4. Bin Hu Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Smartphones. Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) University, 2013.
5. Burlakov M.E., Osipov M.N. Audit bezopasnosti lokal'noi vychislitel'noi seti s pomoshch'iu dinamicheskoi sistemy na neironakh s reaktсие na posledovatel'nosti [Security audit of LAN with the help of dynamic system on neuron with reaction on patterns]. *Materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (IB-2013)*: Part 1. Taganrog: Iuzhnyi federal'nyi universitet, 2013, pp. 85-91.
6. Volkov A.N., Sivers M.A., Sukhov V.A. Pozitsionirovanie v setiakh Wi-Fi [Positioning in Wi-Fi networks]. *Vestnik sviazi*, 2010.
7. Bardwell J. Converting Signal Strength Percentage to dBm Values. WildPackets, 2002.
8. Ma R., Guo Q., Hu C., Xue J. An Improved Wi-Fi Indoor Positioning Algorithm by Weighted Fusion. *Sensors*, 2015. DOI: 10.3390/S150921824
9. Wi-Fi pozitsionirovanie «deshevo i serdito». O chastote zamerov ili vozmozhno li Wi-Fi pozitsionirovanie v real'nom vremeni? [Wi-Fi positioning is "cheap and nasty". About sampling frequency or is it possible Wi-Fi positioning in real time?]
10. WLAN Timers-TSF, SMK, probedelay, NAV, Backoff, MSDU, MMPDU timer, available at: <https://habrahabr.ru/post/309308/> (accessed 05 May 2017).
11. WLAN Probe Request Frame, available at: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/WLAN-timers.html> (accessed 10 May 2016).
12. Andrzej Kwiecien, Piotr Gaj, Piotr Stera Computer Networks. *18th Conference*, CN, 2009.
13. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. *IEEE Standard for Information Technology*, 2016.
14. Startsev S.S. Modeli rasprostraneniia radiosignala Wi-Fi [Wi-Fi radio signal propagation models]. *MIT-conference*, 2013.
15. Roshan P., Lieri D. Osnovy postroeniia besprovodnykh lokal'nykh setei standarta 802.11 [Fundamentals of 802.11 standard Wireless LAN architecture]. Moscow: Vil'iams, 2004.
16. Chen L., Li B., Zhao K., Rizos C., Zheng Z. An Improved Algorithm to Generate a Wi-Fi Fingerprint Database for Indoor Positioning. *Sensors*, 2013. DOI: 10.3390/s130811085.

17. Shin Beom-Ju, Lee Kwang-Won, Choi Sun-Ho, Kim Joo-Yeon, Lee Woo Jin [et al.] Indoor Wi-Fi Positioning System for Android-based Smartphone. Department of Information and Communication Engineering, 2010.

18. Henniges Robin. Current approaches of Wi-Fi Positioning. TU-Berlin, 2012.

Сведения об авторах

Богуренко Павел Александрович (Самара, Россия) – студент Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева (443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34, e-mail: den1008@bk.ru).

Бурлаков Михаил Евгеньевич (Самара, Россия) – лаборант кафедры безопасности информационных систем Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева (443086, Самара, ул. Московское шоссе, 34, e-mail: knownwhat@gmail.com).

About the authors

Boghenenko Pavel Alexandrovich (Samara, Russian Federation) is a Student Samara National Research University (443086, Samara, 34, Moskovskoye Shosse, e-mail: vesert@gmail.com).

Burlakov Mikhail Evgenyevich (Samara, Russian Federation) is a Labour in Department of information security systems Samara National Research University (443086, Samara, 34, Moskovskoye Shosse, e-mail: knownwhat@gmail.com).

Получено 31.07.2017