

М.С. ЩЕКОВ
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОЗИЦИОНИРОВАНИЮ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРИЛАТЕРАЦИИ СИГНАЛОВ WI-FI

Щекотов М.С. Анализ подходов к позиционированию внутри помещений с использованием трилатерации сигналов Wi-Fi.

Аннотация. В статье рассмотрены два основных метода позиционирования внутри помещений с помощью мобильного устройства: метод трилатерации сигналов Wi-Fi и метод радиотпечатков (fingerprinting). Кроме того, рассмотрены подходы к позиционированию внутри помещений, различающиеся определением расстояния до источника сигнала, которые основываются на вышеуказанных методах и открывают перспективу создания комбинированного метода позиционирования.

Ключевые слова: определение местоположения внутри помещений, метод радиотпечатков, триангуляция, Wi-Fi.

Shchekotov M.S. Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique.

Abstract. This paper describes two main indoor positioning methods for mobile devices based on Wi-Fi trilateration and fingerprinting. Two indoor positioning approaches based on these methods and having different schemes of distance between transmitter and receiver calculation are considered. These approaches open a possibility of hybrid indoor positioning method implementation.

Keywords: indoor localization, fingerprinting, triangulation, Wi-Fi.

1. Введение. Разработка систем для решения проблем позиционирования и навигации внутри зданий является перспективной, актуальной и наукоемкой задачей. Данная проблема требует создания карт на основе поэтажных планов помещений, выбора эффективной технологии позиционирования и алгоритмов, а также развертывания соответствующей инфраструктуры для позиционирования внутри зданий. Современные системы определения местоположения внутри помещений, например, как Navizon [1] или Wi-FiSLAM [2], могут обеспечить точность позиционирования до 3 метров. Системы определения местоположения внутри помещений могут использовать различные беспроводные технологии передачи данных для определения местоположения, например, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee [3] и сигналы сетей сотовой связи. Использование Wi-Fi более предпочтительно для решения задачи позиционирования мобильного устройства пользователя (смартфона, планшета и т.п.) в зданиях, так как технология Wi-Fi имеет в настоящий момент широкое распространение как на современных мобильных устройствах, так и в большинстве зданий, что позволяет действовать для этих целей уже существующую инфраструктуру [4].

Подходы к определению местоположения внутри помещения с помощью беспроводных технологий передачи данных могут основыв-

ваться на геометрии распространения сигнала, вероятностных моделях или построении карт сигналов (метод радиопечатков). Трилатерация – метод определения абсолютных или относительных местоположений геодезических пунктов, с помощью построения системы смежных треугольников [5]. Данный метод широко используется в геодезии. Для того чтобы определить координаты точки на местности, необходимо знать координаты не менее трех точек, а также расстояния до них. Далее, используя систему уравнений трех сфер (1), можно найти точку их пересечения, которая и будет соответствовать искомой точке:

$$\begin{aligned}r_1^2 &= (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2, \\r_2^2 &= (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2, \\r_3^2 &= (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2,\end{aligned}\tag{1}$$

где $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$ – координаты точки доступа, r_1, r_2, r_3 – радиусы сфер. При позиционировании в радионавигации, используется тот же способ, но вместо опорных точек на местности используются координаты базовых станций связи или координаты точек доступа Wi-Fi, как в нашем случае. Однако встает вопрос о том, как определить расстояния до источников сигнала, на основе которых рассчитывается область местоположения (область локализации). Расстояния до точек доступа могут быть определены с помощью измерения уровня принятого сигнала (RSS) [6], времени прибытия радиосигналов от передатчиков (ToA) [7] или определения разницы моментов времени прихода радиосигналов (TDoA) [8].

Метод радиопечатков [9], в свою очередь, основывается на построенной карте уровней сигналов в помещении, и не требует использования моделей распространения радиосигнала внутри помещения. Для того чтобы определить местоположение этим методом, создается база данных, содержащая информацию об уровнях сигнала в различных участках помещения, а также план помещения. Карта уровня сигналов должна состоять из реальных координат и связанных с этими значениями уровней сигналов от доступных точек доступа Wi-Fi. Местоположение пользователя может быть оценено с помощью измерения уровня сигналов точек доступа, и поисков точных совпадений в базе данных или ближайшей к приемнику точки, для которой измерены уровни сигнала [10, 11]. Данный метод обеспечивает высокую точность определения местоположения, однако требует поддержки карты сигналов в актуальном состоянии.

Далее будут рассмотрены подходы к позиционированию внутри помещений с помощью трилатерации сигналов Wi-Fi, и комбинации трилатерации и построения карты зон уровней сигналов Wi-Fi.

2. Подходы к определению местоположения. Метод трилатерации используется в соответствии с тем же принципом, что и в геодезии,

но с той разницей, что он использует сигналы беспроводных сетей передачи данных. Основной проблемой является разработка способа определения расстояния между источником сигнала и приемником. В качестве исходных данных для трилатерации используются такие параметры известных сетей Wi-Fi, как частота Wi-Fi сигнала, его уровень, сетевой MAC-адрес и реальные координаты точек доступа Wi-Fi. Полученные с помощью мобильного устройства уровни сигнала могут быть использованы для оценки расстояния между точкой доступа и мобильным устройством. При использовании этого метода рассматриваются три или более точек доступа, находящихся в здании на одном этаже. Уровни сигналов этих точек понижаются экспоненциально в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником, и от фактора шума. Таким образом, эту зависимость можно рассматривать, как функцию от расстояния. Расстояние по оценкам силы сигнала представлено в виде круга с радиусом вокруг точки доступа. Пересечение трех точек доступа радиусов определяют точку или зону приемника. Эта модель может быть представлена в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2, \\ r_2^2 &= (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 \\ r_3^2 &= (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

где $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3$ – координаты точки доступа, r_1, r_2, r_3 – оцененные расстояния. Решение этой системы уравнений дает точки пересечения окружностей, определяющих область локализации (рисунок 1).

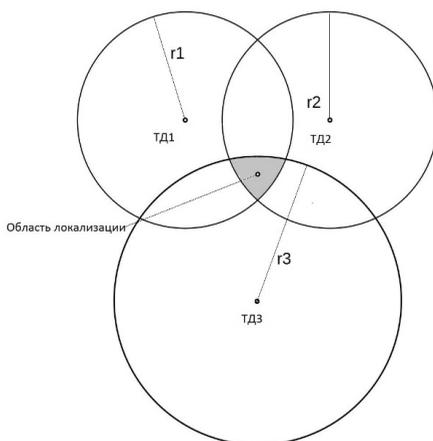


Рис. 1. Определение области местоположения объекта методом трилатерации

Однако для этого необходимо определить расстояния между приемником и каждой точкой доступа, используя данные об уровнях сигнала. На рисунке 1 каждый из трех радиусов соответствует уровню сигнала внутри окружностей. Эта задача может быть решена с помощью создания модели распространения сигнала внутри здания. Отражение и поглощение препятствиями при распространении внутри помещения являются основными причинами ошибок определения местоположения. Затухание зависит от частоты сигнала, расположения приемника относительно препятствий и отражающих поверхностей и многих других факторов [10]. Один из возможных подходов для оценки расстояния между приемником и передатчиком является использование модели распространения сигнала в свободном пространстве, для чего может использоваться формула потерь мощности сигнала в свободном пространстве [11, 12]:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 27.55, \quad (3)$$

где, d – расстояние между источником и приемником сигнала, f – частота сигнала, FSPL – потеря мощности сигнала в дБ.

В ходе исследования, с помощью приложения, написанного для Android-смартфона, были измерены средние значения уровня сигнала Wi-fi для одной точки доступа. В таблице 1 измерения, произведенные с помощью Android-устройства, сравниваются с измерениями, рассчитанными на основе уравнения 1, при которых из начального уровня сигнала, измеренного Android-устройством, вычитаются потери мощности сигнала.

Таблица 1. Сравнение измеренного и оцененного уровней сигнала

Расстояние, м	Реальный уровень сигнала, дБм	Оцененный уровень сигнала, дБм
1	-33.3	-51.0
2	-45.7	-58.0
3	-50.9	-61.5
4	-51.7	-64.0
5	-51.8	-65.9
6	-53.4	-67.5

Измерения сделаны на расстоянии от 1 до 6 метров в 6 точках по одной линии в пределах помещения, в котором расположена точка доступа Wi-Fi. Уровень сигнала измеряется 10 раз в каждой из этих 6 точек. Площадь помещения составляет 25 квадратных метров. Измерение производится для сети с частотой сигнала 2412 МГц.

Представленное в таблице 1 сравнение показывает, что модель распространения сигнала в свободном пространстве является не эф-

фективной для использования в пределах одной комнаты. Этот подход требует создания модели, учитывающей отражение и преломление сигнала, которая будет обеспечивать более высокую точность. Кроме того, одним из решений проблемы повышения точности является использование вероятностной оценки параметров распространения сигнала.

Другим подходом может служить создание карты радиосигналов точек доступа Wi-Fi. Предлагается, однако, делать не полную карту радиосигналов, а определить средний сигнал на заданном расстоянии от источника. В данной работе уровни сигнала измерялись по расстоянию приемника от трех точек доступа, распределенных в трех комнатах в пределах одного этажа. Необходимые данные об уровнях сигнала на различном удалении от точек доступа были предварительно собраны, для оценки расстояния. Измерения были произведены в 15 точках в интервале 1 метр для каждой точки доступа с использованием разработанной программы для Android-устройства. Это приложение обнаруживает три различных точки доступа по заранее заданным MAC-адресам и измеряет уровни сигнала 10 раз для каждой из 15 точек от каждой точки доступа. Так как величина уровня сигнала изменяется во времени, то было использовано ее среднее значение. Уровни сигналов для всех точек доступа отражены в таблице 2.

Таблица 2. Уровни сигналов трех рассмотренных точек доступа (ТД)

Расстояние, м	Уровень сигнала ТД 1, дБм	Уровень сигнала ТД 2, дБм	Уровень сигнала ТД 3, дБм
1	-33.3	-38.8	-55.3
2	-45.7	-43.1	-50.3
3	-50.9	-48.9	-65.7
4	-51.7	-55.2	-61.2
5	-51.8	-75.1	-62,5
6	-53.4	-75.5	-66.4
7	-57.8	-76.4	-70.5
8	-62.4	-80.8	-72.3
9	-65.7	-80.8	-74.7
10	-62.9	-76.0	-78.0
11	-72.9	-88.6	-76.07
12	-72.7	-88.2	-86.02
13	-63.9	-91.0	-79.03
14	-74.0	-91.9	-85.08
15	-76.7	-92.1	-82.05

Полученные измерения на заданных расстояниях могут быть выбраны для оценки расстояния между источником и приемником в

качестве опорных точек. Опорные точки являются точками с разницей уровня сигнала большей, чем ошибка измерения, рассчитанная для каждой из 15 точек измерения. Таким образом, можно определить расстояние по уровню сигнала, действующему в области между двумя концентрическими окружностями (рисунок 2).

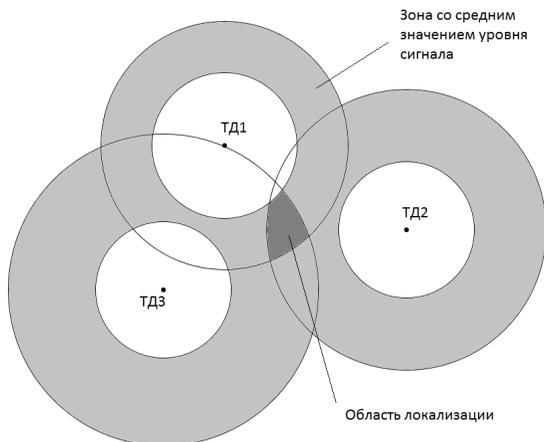


Рис. 2. Определение области вероятного местоположения приемника

Уровни сигнала измеряются с помощью написанного для этой цели приложения для Android-смартфона, которое определяет уровень сигнала сети Wi-Fi с заданным MAC-адресом, используя системные функции Android. Для определения области местоположения приемника рассчитывается пересечение областей между концентрическими окружностями, которые, в свою очередь, соответствуют заранее измеренным уровням сигналов Wi-Fi. Данное приложение использует `java.awt` библиотеку для построения геометрических фигур.

3. Заключение. В статье были проанализированы два подхода к позиционированию внутри помещений. Подход, основанный на трилатерации сигналов Wi-Fi для определения местоположения внутри помещений, описанный в данной статье, и использующий модель распространения сигнала, основанную на формуле потерь мощности в свободном пространстве, не способен обеспечить приемлемую точность. Использование подхода, основанного на методе радиопечатков, является приемлемым и может значительно увеличить точность. Для ее улучшения необходимо расширить выборку измерений уровней сигнала за счет увеличения количества опорных точек или точек доступа. Более того, дальнейшая работа может быть продолжена на основе использования метода радиопечатков, так как подход к определению

нию местоположения, описанный выше, можно рассматривать как частный случай метода радиопечатков. Реализация метода радиопечатков требует большего числа измерений уровня сигнала и создание карты радиопечатков, что может обеспечить высокую точность определения местоположения.

Литература

1. Официальный сайт NAVIZON. URL: www.navizon.com (дата обращения: 20.11.2014).
2. Ferris B., Fox D., Lawrence N. WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models // Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). 2007.
3. Benkic K., Malajner M., Planinšic P., Cucej Ž. Using RSSI value for distance estimation in Wireless sensor networks based on ZigBee // Proceedings of IWSSIP Conference. 2008. pp. 303–306.
4. Kashvevnik A., Shchekotov M. Comparative Analysis of Indoor Positioning Systems Based on Communications Supported by Smartphones // Proceedings of FRUCT Conference. 2012. pp. 43–48.
5. Ахромеев С. Ф. Институт военной истории Военный энциклопедический словарь // Воен. изд-во. 1986. 863 с.
6. Kaemarungsi K., Krishnamurthy P. Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting // Proceedings of INFOCOM Conference. 2004. pp. 1012–1022.
7. Ali A.A., Omar A.S. Time of Arrival Estimation for WLAN Indoor Positioning Systems using Matrix Pencil Super Resolution Algorithm // Proceedings of the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication. 2005.
8. Aatique M. Evaluation of TDOA Techniques for Position Location in CDMA Systems // Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. 1997.
9. Oguejiofor O., Okorogu V., Adewale A., Osuesu B. Outdoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network // Proceedings of International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2013. pp. 1–6.
10. Henniges R. Current approaches of Wi-Fi Positioning // TU-Berlin. 2012. pp. 1–8.
11. Aleshly F., Mohd Sabri R., Sevak Z., Arslan T. Improving Indoor Positioning Accuracy through a Wi-Fi Handover Algorithm // Proceedings of International Technical Meeting of the Institute of Navigation. 2010. pp. 822–829.
12. Debus W. RF Path Loss & Transmission Distance Calculations // Axonn. Technical Memorandum. 2006. pp. 1–13.

References

1. Official'nyj sajт NAVIZON [Official web site of Navizon, Inc.]. Available at: www.navizon.com. (accessed 20.11.2014). (In Russ.).
2. Ferris B., Fox D., Lawrence N. WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models. Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). 2007.
3. Benkic K., Malajner M., Planinšic P., Cucej Ž. Using RSSI value for distance estimation in Wireless sensor networks based on ZigBee. Proceedings of IWSSIP Conference. 2008. pp. 303–306.

4. Kashevnik A., Shchekotov M. Comparative Analysis of Indoor Positioning Systems Based on Communications Supported by Smartphones. Proceedings of FRUCT Conference. 2012. pp. 43–48.
5. Akhromeev S. F. *Voennyj jenciklopedicheskij slovar'* [Military Encyclopaedic Dictionary]. Moscow: Voenizdat. 1986. p.863 (In Russ.).
6. Kaemarungsi K., Krishnamurthy P. Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting. Proceedings of INFOCOM Conference. 2004. pp. 1012–1022.
7. Ali A.A., Omar A.S. Time of Arrival Estimation for WLAN Indoor Positioning Systems using Matrix Pencil Super Resolution Algorithm. Proceedings of the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication. 2005.
8. Aatique M. Evaluation of TDOA Techniques for Position Location in CDMA Systems. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. 1997.
9. Oguejofor O., Okorogu V., Adewale A., Osuesu B. Outdoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network. Proceedings of International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2013. pp. 1–6.
10. Henniges R. Current approaches of Wi-Fi Positioning. TU-Berlin. 2012. pp. 1–8.
11. Aleshly F., Mohd Sabri R. Sevak Z., Arslan T., Improving Indoor Positioning Accuracy through a Wi-Fi Handover Algorithm. Proceedings of International Technical Meeting of the Institute of Navigation, 2010. pp. 822–829. (In Russ.).
12. Debus W. RF Path Loss & Transmission Distance Calculations. Axonn. Technical Memorandum. 2006. pp. 1-13.

Щекотов Максим Сергеевич — младший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации федерального государственного бюджетного учреждения Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, системы навигации. Число научных публикаций — 5. shekotov@iias.spb.su, www.spiiras.nw.ru; 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-0685.

Shchekotov Maxim Sergeevich — junior researcher of the laboratory of computer aided integrated systems institution of the St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: knowledge management, smart-spaces, navigation systems. The number of publications — 5. shekotov@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line V.O., 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-0685.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-07-00336-а).

Acknowledgements. This research is supported by RFBR (grant # 13-07-00336-а).

РЕФЕРАТ

Щекотов М.С. **Анализ подходов к позиционированию внутри помещений с использованием трилатерации сигналов Wi-Fi.**

Создание систем для решения проблем позиционирования и навигации внутри зданий является перспективной, актуальной и сложной задачей. Данная проблема требует создания карт на основе поэтажных планов в помещении, выбор эффективной технологии и алгоритмов позиционирования, и развертывания соответствующей инфраструктуры для позиционирования. Современные системы определения местоположения внутри помещений могут предложить не только позиционирование с приемлемой точностью, но и решение задач навигации внутри помещения, обеспечения пользователя контекстной информацией в текстовом, аудио- или видео-формате, сбор статистической информации о плотности и перемещениях людей в зданиях и другое. Таким образом, имеется большой потенциал для создания различных сервисов на базе систем позиционирования внутри помещений.

В статье рассмотрены два основных метода позиционирования внутри помещений с помощью мобильного устройства: метод трилатерации сигналов Wi-Fi и метод радиоотпечатков (fingerprinting). Кроме того, рассмотрены подходы к позиционированию внутри помещений, различающиеся определением расстояния до источника сигнала, которые основываются на вышеуказанных методах и открывают перспективу создания комбинированного метода позиционирования. Данные подходы основаны на модели распространения сигнала в свободном пространстве и методе радиоотпечатков. Было установлено, что модель распространения сигнала в свободном пространстве является не эффективной для использования даже в пределах одной комнаты.

В заключении были сделаны выводы о точности предлагаемого метода, и сделаны предложения по дальнейшей работе в целях увеличения точности метода.

SUMMARY

Shchekotov M.S. **Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique.**

Creating systems and solutions for solving the problem of indoor positioning and navigation is a complex task. This problem requires of creating maps based on floor plans of indoors, choosing the effective positioning technology and algorithms, and deploying the appropriate positioning devices inside buildings. Modern systems can offer much more than just positioning with acceptable accuracy. For example, the tasks of navigation, providing context information in text-, audio- or video-format, collection statistical information about the movements of people in buildings. The functions of these systems are depending on location type. Thus, the developing companies have great potential for creating various services.

This paper describes two main indoor positioning methods for mobile devices based on Wi-Fi trilateration and fingerprinting. In addition, two indoor positioning approaches based on these methods and having different schemes of distance between transmitter and receiver calculation are considered. These approaches are based on free-space path loss model and received signal strength measurement collection. It was found the signal propagation problem is not effective to positioning within one room.

Conclusion includes ways of further work and increasing positioning accuracy of this method.