

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЛЮДЕЙ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

Ч. И. Фатихов<sup>1</sup> [0000-0002-2548-190X], К. А. Григорян<sup>2</sup> [0000-0001-6470-1832]

<sup>1, 2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 35, г. Казань, 420008

<sup>1</sup>mrchingiz98@gmail.com, <sup>2</sup>karigri@yandex.ru

### **Аннотация**

Пандемия COVID-19 обусловила рост актуальности исследования проблемы мониторинга и анализа перемещений людей внутри помещений с целью своевременного выявления контактировавших с заболевшими и пресечения дальнейшего распространения инфекции.

В статье предложен один из способов решения данной проблемы – разработка системы определения и сохранения истории местоположения людей внутри помещения. Также рассмотрены методы, параметры и технологии, которые могут быть использованы для решения задачи локализации внутри помещений.

**Ключевые слова:** местоположение, локализация, система внутреннего позиционирования, местоположение внутри помещения, IPS

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия произошло быстрое развитие беспроводных систем геопозиционирования, особенно сильно они повлияли на развитие сферы интернета вещей (IoT) [1]. Такие современные системы активно используются не только для навигации, но и в различных отраслях для определения местоположения клиентов, устройств или вещей, будь то финансовый сектор, логистика или транспортный сектор [2].

Пандемия COVID-19 также сделала системы IPS очень актуальными в наши дни. Карантин и дистанционная модель работы способствуют сдерживанию распространения вируса. Как только такие ограничения снимаются, появляется необходимость перезапуска бизнес-процессов на очный формат. Это, в свою очередь,

влечет за собой риск заражения вирусом сотрудников на рабочих местах, что подвергает опасности их жизни [3].

При помощи системы отслеживания местоположения людей внутри помещений возможно своевременно находить контактных лиц и ограничивать их перемещение выборочно, а не закрывать все предприятие на карантин. Таким образом возможно внесение контроля в процесс распространения вируса.

Благодаря активному развитию IoT-технологий в последнее время [4], взаимодействие датчиков и устройств между собой стало стоить гораздо дешевле. Это также может помочь в разработке подобной незаметной и удобной для пользователей системы отслеживания и предупреждения контактных лиц внутри помещений.

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Основные параметры, используемые для локализации в IPS**

Для оценки местоположения радиомаяков внутри помещений могут быть использованы различные физические характеристики сигналов, которые будут рассмотрены далее.

1. **RSSI** (англ. received signal strength indicator) – показатель уровня принимаемого сигнала. Представляет собой сравнительное измерение уровня принимаемого сигнала. Расстояние между двумя узлами вычисляется по потере мощности сигнала. Для оценки расстояния достаточно лишь пары узлов [5].

2. **TOA** (англ. Time of Arrival) – оценка времени прибытия сигнала. Описывается как первый период, в течение которого сигнал достигает приемника. С помощью него можно оценить расстояние до узла, вычислив время трансляции беспроводного радиосигнала [6, 7].

3. **TDOA** (англ. Time Difference of Arrival) – разность времени принятия сигналов. Основан на измерении разницы во времени передачи сигнала от мобильного устройства до базовых станций, с синхронизированными часами и заранее известным местоположением. Зная разницу во времени получения сигнала с помощью математической обработки, можно получить расстояние от мобильного устройства до базовых станций [8].

4. **AOA** (англ. angle of arrival) – угол прибытия сигнала. Получив направление на источник сигнала от базовых станций, можно определить местоположение.

Чем больше количество базовых станций, тем точнее можно определить эту зону [8]. Сложность и необходимость в специализированном оборудовании являются основными недостатками применения этого параметра [9].

5. **POA** (англ. Phase Of Arrival) – фаза принятого сигнала. Параметр связан с задержкой распространения и расстоянием через длину волны и скорость света [19]. Подходы на основе PoA используют фазу или разность фаз несущего сигнала для оценки расстояния между передатчиком и приемником [10].

6. **CSI** (англ. channel state information) – информация о состоянии канала. Частотная характеристика канала каждой поднесущей в системе OFDM в частотном поле [1]. Использование CSI показывает хорошую стабильность и может обеспечить более высокую точность определения местоположения, чем методы на основе RSSI [7, 12].

В результате проведенного обзора литературных источников была составлена следующая классификация параметров (рис.1).

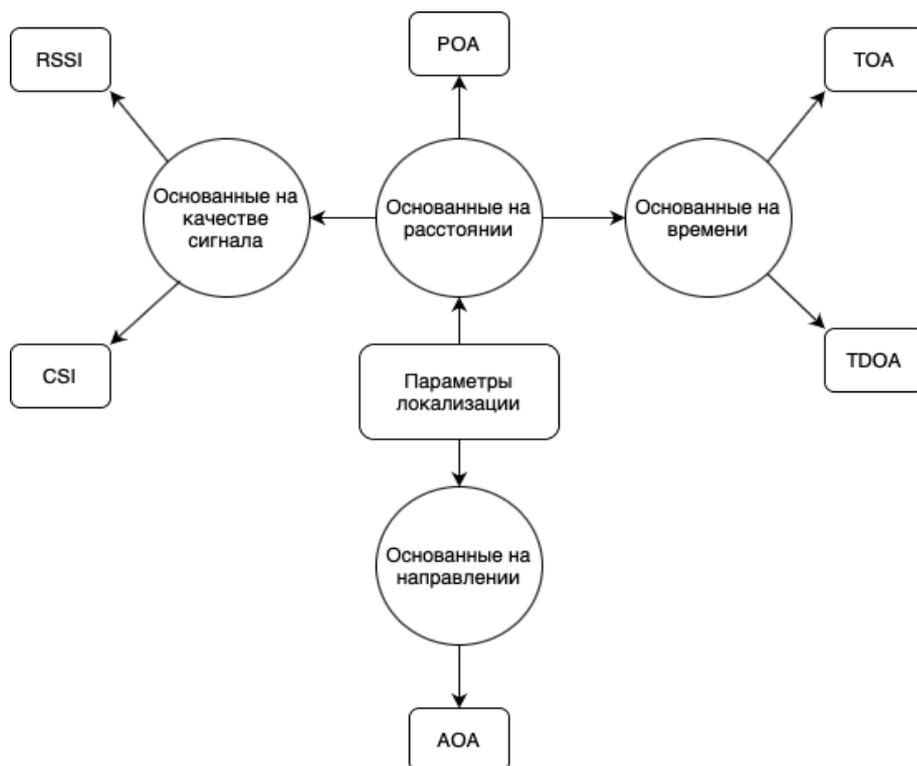


Рис. 1: Классификация физических характеристик радиосигналов

## **Технологии беспроводной связи, используемые для локализации в IPS**

Далее будут рассмотрены основные технологии, которые могут быть использованы в системах позиционирования внутри помещений.

1. **WLAN** (англ. wireless local area network) – беспроводная локальная сеть. Хорошо известная технология в широкополосной связи, особенно для схем межмашинного взаимодействия [13]. Сигналы в этой сети передаются на частотах 2,4 ГГц и 5 ГГц [14]. Для локализации при помощи WLAN применяются различные алгоритмы: алгоритм на основе AOA (триангуляция) [15], алгоритм трилатерации [16], алгоритм фингерпринтинга на основе RSSI [17] и на основе CSI [18].

2. **BLE** (англ. Bluetooth Low Energy) – bluetooth с низким энергопотреблением. Технология на сегодняшний день поддерживается почти всеми смарт-устройствами и работает на частотах от 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц [19]. В системах определения местоположения в помещениях на основе Bluetooth в основном применяются методы трилатерации и фингерпринтинга.

3. **ZigBee** – технология беспроводной связи малого радиуса действия, основанная на стандарте IEEE 802.15.4. Работает на частоте 2,4 ГГц с низкой скоростью передачи данных. Классифицируют три типа ZigBee устройств: координатор, маршрутизатор и конечное устройство [21]. По сравнению с BLE, ZigBee имеет чуть более высокое энергопотребление [20], и технология не получила столь широкого распространения в IoT-решениях.

4. **RFID** (англ. Radio Frequency Identification) – радиочастотная идентификация. Технология RFID состоит из считывающего устройства, меток и вычислительного устройства [22]. RFID основаны на технологии активных меток [23] и технологии пассивных меток [24]. Технология не совсем применима для определения местоположения в реальном времени, при использовании пассивных меток, а активные RFID-метки слишком энергозатратны. Кроме того, из-за дифракции и отражения передача сигнала RFID в помещении является затрудненной и сильно подверженной шумам [25].

5. **UWB** (англ. Ultra-Wide Band, сверхширокая полоса) – привлекательная быстроразвивающаяся технология в беспроводных сенсорных сетях. Передача сигналов производится в диапазоне от 3,1 до 10,6 ГГц и обеспечивает более точ-

ное позиционирование каждого целевого устройства в сети [26]. Основным недостатком данной технологии является ее слабая распространённость, из чего следует высокая цена компонентов.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Основой всех систем позиционирования внутри помещений являются методы локализации, которые можно разделить на две основные категории:

1. Локализация с использованием диапазона передачи (range-based);
2. Локализация без использования диапазона передачи (range-free) [27].

Первая категория методов основана на использовании значения расстояния между маячком и базовыми станциям для оценки местоположения. Их преимущество заключается в более высокой точности по сравнению с методами без использования диапазона передачи. Представителями таких методов являются трилатерация и триангуляция.

В методах второй категории местоположение оценивается без каких-либо измерений, а только путем определения того, находятся ли маячок и базовая станция в пределах досягаемости [28]. Примером такого метода является фингер-принтинг. Обычно системы, использующие такие методы, стоят гораздо дешевле систем, основанных на методах с использованием диапазона передачи, однако не обладают достаточной точностью, как методы первой категории.

### Идея метода трилатерации

Метод трилатерации — популярный метод, используемый для позиционирования. Идея метода показана на рис. 2, где  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$  — координаты базовых станций 1, 2 и 3 соответственно. Параметры  $d_1, d_2, d_3$  — расстояния между базовыми станциями и маячком. Искомые координаты маячка —  $(x_e, y_e)$  [29].

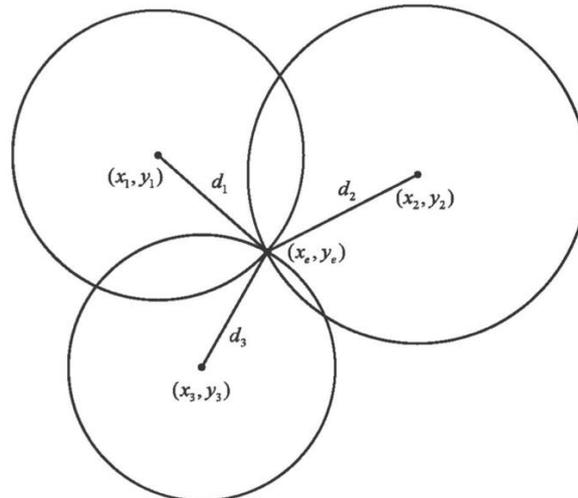


Рис. 2: Метод трилатерации

Координаты маячка могут быть найдены путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} (x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2 = d_1^2, \\ (x_e - x_2)^2 + (y_e - y_2)^2 = d_2^2, \\ (x_e - x_3)^2 + (y_e - y_3)^2 = d_3^2. \end{cases}$$

### Идея метода триангуляции

При триангуляции определяется направление от опорных узлов до целевого, и положение целевого узла будет на пересечении лучей, проведенных от опорных узлов в направлении целевого.

Определение местоположения маячка происходит путем измерения углов пришедших сигналов от базовых станций к маячку [11]. Для локализации целевого узла достаточно двух узлов опорных точек.

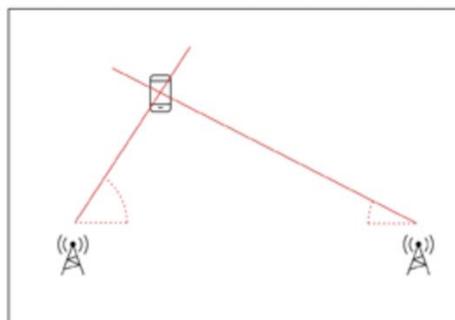


Рис. 3: Идея метода триангуляции

## РЕЗУЛЬТАТЫ

После изучения различных параметров технологий и методов, которые могут быть использованы для определения местоположения внутри помещений, был разработан и протестирован следующий прототип системы:

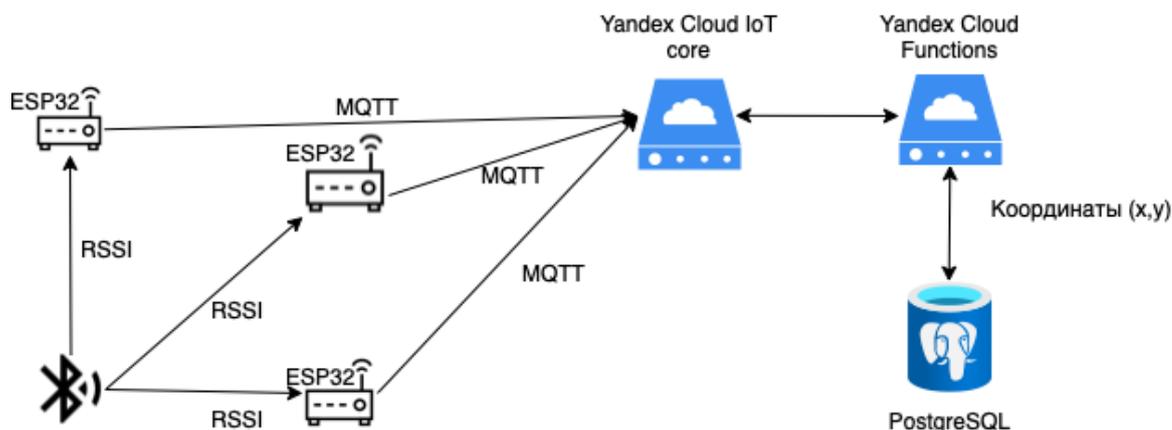


Рис. 4. Схема прототипа IPS системы

Работа системы выполняется в несколько этапов:

1. В качестве отслеживаемых устройств используются BLE iBeacon маячки, которые транслируют с интервалом от долей секунды до нескольких секунд пакеты объявления.

2. Базовые станции на базе микроконтроллера ESP32, которые расставлены по трем углам помещения, сканируют Bluetooth-эфир.

3. Зафиксированные значения RSSI iBeacon маячков передаются MQTT-брокеру. В качестве прототипа был использован Yandex Cloud IoT core [30].

4. Сервер, в качестве которого выступает Yandex Cloud Functions [31], подписан на MQTT-топик брокера и при получении трех значений RSSI от базовых станций рассчитывает координаты методом трилатерации.

5. Рассчитанные координаты записываются в БД – PostgreSQL в виде мас-адреса iBeacon-маячка, x и y координат, времени фиксации координат:

#	id	beacon_mac	x	y	time
0	945	"c1:80:fe:59:19:68"	120.00	90.00	"2022-03-27T16:05:27.409"
1	946	"f1:22:1e:1e:23:61"	144.00	43.00	"2022-03-27T16:06:24.344"
2	947	"f1:22:1e:1e:23:61"	152.00	53.00	"2022-03-27T16:07:39.455"
3	948	"c1:80:fe:59:19:68"	120.00	90.00	"2022-03-27T16:08:20.179"

Рис. 5: Результат работы системы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование показало, что на практике для решения задачи определения местоположения внутри помещений могут применяться различные технологий беспроводной связи, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны. Кроме того, были выделены две основные категории методов локализации, которые можно применять в связке с этими технологиями связи: range-based и range-free.

Результатом исследования является разработка прототипа системы определения местоположения внутри помещения на основе метода трилатерации, которая записывает всю историю перемещений людей с маячками в базу данных. При разработке системы была проведена работа с iBeacon-маячками, микроконтроллерами ESP32 и платформой Yandex Cloud.

В дальнейшем планируется разработка модуля нахождения сближения маячков по истории перемещений в БД, для определения потенциально контактных лиц с зараженным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tsai H.-C., Chiu C.-J., Tseng P.-H., Feng K.-T. Refined Autoencoder-Based CSI Hidden Feature Extraction for Indoor Spot Localization // IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Fall. 2018. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690917>
2. Kawdungta R., Kawdungta S., Torrungrueng D., Phongcharoenpanich C. Switched Beam Multi-Element Circular Array Antenna Schemes for 2D Single-Anchor Indoor Positioning Applications // IEEE Access. 2021. V. 9. P. 58882–58892. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072951>
3. Indoor Location Market global forecast to 2026. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/indoor-location-market-989.html>, last accessed 2021/10/15
4. Spachos P., Plataniotis K. BLE Beacons for Indoor Positioning at an Interactive IoT-Based Smart Museum // IEEE Systems J. 2020. P. 3483–3493. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2969088>
5. Dong Y., Shan F., Dou G., Cui Y. The Research and Application of Indoor Location Algorithm Based on Wireless Sensor Network // IEEE 3rd International Conference Communication Software and Networks. 2011. P. 719–722.

<https://doi.org/10.1109/ICCSN.2011.6014369>

6. *Bharadwaj R., Parini C., Alomainy A.* Experimental Investigation of 3-D Human Body Localization Using Wearable Ultra-Wideband Antennas // IEEE Trans. Antennas Propagation. 2015. P. 5035–5044. <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2478455>

7. *Chen R.A.* Novel Method for Indoor Location Identification. // 2nd International Symposium on Aware Computing. 2010. P. 257–262.

<https://doi.org/10.1109/ISAC.2010.5670486>

8. Методы локального позиционирования.

URL: <https://habr.com/ru/company/realtrac/blog/301706/>, last accessed 2021/11/02.

9. *Yassin A., Nasser Y., Awad M., Al-dubai A.* Simultaneous Context Inference and Mapping using mm-Wave for Indoor Scenarios // IEEE International Conference on Communications (ICC). 2017. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996976>

10. *Zafar F., Gkelias A., Leung K.K.* A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies // IEEE Communications Surveys Tutorials. 2019. P. 2568–2599.

<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>

11. *Laoudias C., Moreira A., Kim S., Lee S., Wirola L., Fischione C.* A Survey of Enabling Technologies for Network Localization, Tracking, and Navigation // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. P. 3607–3644.

<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2855063>

12. *Wang X., Gao L., Mao S., Pandey S.* CSI-based Fingerprinting for Indoor Localization: A Deep Learning Approach // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2016. P. 763–776. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2545523>

13. *Hsieh H.-Y., Prakosa S.W.* Towards the Implementation of Recurrent Neural Network Schemes for WiFi Fingerprint-Based Indoor Positioning // IEEE Vehicular Technology Conference. 2018. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690989>

14. *Ding N., Wagner D., Chen X., Pathak A., Hu Y.C., Rice A.* Characterizing and modeling the impact of wireless signal strength on smartphone battery drain // ACM Sigmetrics Perform. 2013. P. 29–40. <https://doi.org/10.1145/2494232.2466586>

15. *Cidronali A., Maddio S., Giorgetti G., Manes G.* Analysis and Performance of a Smart Antenna for 2.45-GHz Single-Anchor Indoor Positioning // IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech. 2010. P. 21–31.

<https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2035947>

---

16. *Rusli M.E., Ali M., Jamil N., Din M.M.* An Improved Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI-Trilateration Technique for Internet of Things (IOT) // International Conference on Computer and Communication Engineering. 2016. P. 72–77. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.28>
17. *Ren J., Wang Y., Niu C., Song W., Huang S.* A Novel Clustering Algorithm for Wi-Fi Indoor Positioning // IEEE Access. 2019. P. 122428–122434. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937464>
18. *Shi S., Sigg S., Chen L., Ji Y.* Accurate Location Tracking from CSI-Based Passive Device-Free Probabilistic Fingerprinting // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2018. P. 5217–5230. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2810307>
19. *Yu N., Zhan X., Zhao S., Wu Y., Feng R.* A Precise Dead Reckoning Algorithm Based on Bluetooth and Multiple Sensors // IEEE Internet Things Journal. 2018. P. 336–351. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2784386>
20. *Sadowski S., Spachos P.* RSSI-Based Indoor Localization with the IoT // IEEE Access. 2018. P. 30149–30161. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2843325>
21. *Dong Y., Shan F., Dou G., Cui Y.* The Research and Application of Indoor Location Algorithm Based on Wireless Sensor Network // IEEE 3rd International Conference Communication Software and Networks. 2011. P. 719–722.
22. *Lo L., Li C.* Passive UHF-RFID Localization Based on the Similarity Measurement of Virtual Reference Tags // IEEE Trans. Instrum. Meas. 2018. P. 2926–2933. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2869408>
23. *Cha J.H., Kim Y.J.* A Dual-Band Low-Power-Consumption Active RFID Tag Based on a Meander FPCB Antenna for Subway Vehicle Management // J Electromagn. Eng. Sci. 2021. P. 71–77. <https://doi.org/10.26866/jees.2021.21.1.71>
24. *Škiljo M., Šolić P., Blažević Z., Perković T.* Analysis of Passive RFID Applicability in a Retail Store: What Can We Expect? // Sensors. 2020. <https://doi.org/10.3390/s20072038>
25. *Li J.-Q., Feng G., Wei W., Luo C., Cheng L., Wang H., Song H., Ming Z.* PSO-Track: A RFID-Based System for Random Moving Objects Tracking in Unconstrained Indoor Environment // IEEE Internet Things J. 2018. P. 4632–4641. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2795893>

26. *Hanssens B., Plets D., Tanghe E., Oestges C., Gaillot D.P., Lienard M., Li T., Steendam H., Martens L., Joseph W.* An Indoor Variance-Based Localization Technique Utilizing the UWB Estimation of Geometrical Propagation Parameters // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2018. P. 2522–2533.

<https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2810340>

27. *Nemer I., Sheltami T., Shakshuki E.* Performance evaluation of range-free localization algorithms for wireless sensor networks // *Personal and Ubiquitous Computing* 25. 2021. P. 177–203. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01370-x>

28. *Betti Sorbelli F., Pinotti C.M., Silvestri S., K. S.* Measurement Errors in Range-based Localization Algorithms for UAVs: Analysis and Experimentation // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 2020. P. 1291–1304.

<https://doi.org/10.1109/TMC.2020.3020584>

29. *Pakanon N., Chamchoy M., Supanakoon P.* Study on Accuracy of Trilateration Method for Indoor Positioning with BLE Beacons // *6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*. 2020.

<https://doi.org/10.1109/ICEAST50382.2020.9165464>

30. Yandex IoT Core. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/iot-core> last accessed 2022/02/19.

31. Yandex Cloud Functions. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/functions> last accessed 2022/02/25.

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR COLLECTING DATA ON THE MOVEMENT OF PEOPLE INDOORS

Ch. I. Fatikhov<sup>1</sup> [0000-0002-2548-190X], K. A. Grigoryan<sup>2</sup> [0000-0001-6470-1832]

<sup>1,2</sup>Kazan (Volga Region) Federal University, 35 Kremlevskaya str., Kazan,  
420008

<sup>1</sup>mrchingiz98@gmail.com, <sup>2</sup>karigri@yandex.ru

### **Abstract**

The COVID-19 pandemic makes the problem of monitoring and analyzing the movement of people indoors more urgent in order to timely identify those who have been in contact with the sick and prevent further spread of the infection.

The article proposes one of the ways to solve this problem - the development of a system for determining and saving the history of the location of people inside the premises. The article also discusses methods, parameters and technologies that can be used to solve the problem of indoor localization.

**Keywords:** *location, localization, indoor positioning system, indoor location, IPS.*

### **REFERENCES**

1. Tsai H.-C., Chiu C.-J., Tseng P.-H., Feng K.-T. Refined Autoencoder-Based CSI Hidden Feature Extraction for Indoor Spot Localization // IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Fall. 2018. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690917>
2. Kawdungta R., Kawdungta S., Torrungrueng D., Phongcharoenpanich C. Switched Beam Multi-Element Circular Array Antenna Schemes for 2D Single-Anchor Indoor Positioning Applications // IEEE Access. 2021. V. 9. P. 58882–58892. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072951>
3. Indoor Location Market global forecast to 2026. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/indoor-location-market-989.html>, last accessed 2021/10/15
4. Spachos P., Plataniotis K. BLE Beacons for Indoor Positioning at an Interactive IoT-Based Smart Museum // IEEE Systems J. 2020. P. 3483–3493. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2969088>

5. Dong Y., Shan F., Dou G., Cui Y. The Research and Application of Indoor Location Algorithm Based on Wireless Sensor Network // IEEE 3rd International Conference Communication Software and Networks. 2011. P. 719–722.  
<https://doi.org/10.1109/ICCSN.2011.6014369>
6. Bharadwaj R., Parini C., Alomainy A. Experimental Investigation of 3-D Human Body Localization Using Wearable Ultra-Wideband Antennas // IEEE Trans. Antennas Propagation. 2015. P. 5035–5044. <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2478455>
7. Chen R.A. Novel Method for Indoor Location Identification. // 2nd International Symposium on Aware Computing. 2010. P. 257–262.  
<https://doi.org/10.1109/ISAC.2010.5670486>
8. Metody lokal'nogo pozicionirovaniya.  
URL: <https://habr.com/ru/company/realtrac/blog/301706/>, last accessed 2021/11/02.
9. Yassin A., Nasser Y., Awad M., Al-dubai A. Simultaneous Context Inference and Mapping using mm-Wave for Indoor Scenarios // IEEE International Conference on Communications (ICC). 2017. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996976>
10. Zafar F., Gkelias A., Leung K.K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies // IEEE Communications Surveys Tutorials. 2019. P. 2568–2599.  
<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>
11. Laoudias C., Moreira A., Kim S., Lee S., Wirola L., Fischione C. A Survey of Enabling Technologies for Network Localization, Tracking, and Navigation // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. P. 3607–3644.  
<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2855063>
12. Wang X., Gao L., Mao S., Pandey S. CSI-based Fingerprinting for Indoor Localization: A Deep Learning Approach // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2016. P. 763–776. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2545523>
13. Hsieh H.-Y., Prakosa S.W. Towards the Implementation of Recurrent Neural Network Schemes for WiFi Fingerprint-Based Indoor Positioning // IEEE Vehicular Technology Conference. 2018. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690989>
14. Ding N., Wagner D., Chen X., Pathak A., Hu Y.C., Rice A. Characterizing and modeling the impact of wireless signal strength on smartphone battery drain // ACM Sigmetrics Perform. 2013. P. 29–40. <https://doi.org/10.1145/2494232.2466586>

15. *Cidronali A., Maddio S., Giorgetti G., Manes G.* Analysis and Performance of a Smart Antenna for 2.45-GHz Single-Anchor Indoor Positioning // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech.* 2010. P. 21–31.  
<https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2035947>
16. *Rusli M.E., Ali M., Jamil N., Din M.M.* An Improved Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI-Trilateration Technique for Internet of Things (IOT) // *International Conference on Computer and Communication Engineering.* 2016. P. 72–77.  
<https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.28>
17. *Ren J., Wang Y., Niu C., Song W., Huang S.* A Novel Clustering Algorithm for Wi-Fi Indoor Positioning // *IEEE Access.* 2019. P. 122428–122434.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937464>
18. *Shi S., Sigg S., Chen L., Ji Y.* Accurate Location Tracking from CSI-Based Passive Device-Free Probabilistic Fingerprinting // *IEEE Transactions on Vehicular Technology.* 2018. P. 5217–5230. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2810307>
19. *Yu N., Zhan X., Zhao S., Wu Y., Feng R.* A Precise Dead Reckoning Algorithm Based on Bluetooth and Multiple Sensors // *IEEE Internet Things Journal.* 2018. P. 336–351. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2784386>
20. *Sadowski S., Spachos P.* RSSI-Based Indoor Localization with the IoT // *IEEE Access.* 2018. P. 30149–30161. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2843325>
21. *Dong Y., Shan F., Dou G., Cui Y.* The Research and Application of Indoor Location Algorithm Based on Wireless Sensor Network // *IEEE 3rd International Conference Communication Software and Networks.* 2011. P. 719–722.
22. *Lo L., Li C.* Passive UHF-RFID Localization Based on the Similarity Measurement of Virtual Reference Tags // *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2018. P. 2926–2933. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2869408>
23. *Cha J.H., Kim Y.J.* A Dual-Band Low-Power-Consumption Active RFID Tag Based on a Meander FPCB Antenna for Subway Vehicle Management // *J Electromagn. Eng. Sci.* 2021. P. 71–77. <https://doi.org/10.26866/jees.2021.21.1.71>
24. *Škiljo M., Šolić P., Blažević Z., Perković T.* Analysis of Passive RFID Applicability in a Retail Store: What Can We Expect? // *Sensors.* 2020.  
<https://doi.org/10.3390/s20072038>

25. Li J.-Q., Feng G., Wei W., Luo C., Cheng L., Wang H., Song H., Ming Z. PSO-Track: A RFID-Based System for Random Moving Objects Tracking in Unconstrained Indoor Environment // IEEE Internet Things J. 2018. P. 4632–4641.

<https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2795893>

26. Hanssens B., Plets D., Tanghe E., Oestges C., Gaillot D.P., Lienard M., Li T., Steendam H., Martens L., Joseph W. An Indoor Variance-Based Localization Technique Utilizing the UWB Estimation of Geometrical Propagation Parameters // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2018. P. 2522–2533.

<https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2810340>

27. Nemer I., Sheltami T., Shakshuki E. Performance evaluation of range-free localization algorithms for wireless sensor networks // Personal and Ubiquitous Computing 25. 2021. P. 177–203. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01370-x>

28. Betti Sorbelli F., Pinotti C.M., Silvestri S., K. S. Measurement Errors in Range-based Localization Algorithms for UAVs: Analysis and Experimentation // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2020. P. 1291–1304.

<https://doi.org/10.1109/TMC.2020.3020584>

29. Pakanon N., Chamchoy M., Supanakoon P. Study on Accuracy of Trilateration Method for Indoor Positioning with BLE Beacons // 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST). 2020.

<https://doi.org/10.1109/ICEAST50382.2020.9165464>

30. Yandex IoT Core. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/iot-core> last accessed 2022/02/19.

31. Yandex Cloud Functions. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/functions> last accessed 2022/02/25.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**ФАТИХОВ Чингиз Ирекович** – магистрант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань.

**Chingiz Irekovich FATIKHOV** – Master’s student, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan.

email: mrchingiz98@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2548-190X



**ГРИГОРЯН Карен Альбертович** – кандидат экономических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань.

**Karen Albertovich GRIGORIAN** – Candidate of Economics, Associate Professor, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan.

email: karigri@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6470-1832

*Материал поступил в редакцию 27 февраля 2022 года*