

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК _____

Проневич
Владимир Алексеевич
Алгоритм динамического измерения расстояния
между мобильными устройствами

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-40 80 02 "Системный анализ, управление и обработка
информации"

Научный руководитель

Навроцкий Анатолий Александрович

кандидат физико-математических наук, доцент

Минск 2019

РЕФЕРАТ

АЛГОРИТМ ПОИСКА ТОЧНОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ:
магистерская диссертация / В. А. Проневич. – Минск: БГУИР, 2019, п.з. – 54 с.,
чертежей (плакатов) – 1 л. формата А4.

В магистерской диссертации решена задачи разработка алгоритма поиска точного местоположения как в глобальной задаче локализации, так и в задачи IPS. Выполнен анализ многих существующих на данный систем и решений в сфере геопозиционировании смартфонов.

Обозначены основные преимущества существующих систем на данный момент, а также их недостатки.

Предложены варианты построения динамической системы позиционирования на минимальном количестве и минимальной стоимости используемых датчиковых систем, а также найден способ локального позиционирования между устройствами не использующий системы спутников и радиовышки.

Также, был разработан алгоритм динамического соединения устройств, позволяющий без действия пользователя в фоновом режиме обмениваться геоданными с устройствами поблизости, что, в конечном счете, позволяет без использования сторонних сетей узнавать свое местоположение.

Для систем IPS представлен алгоритм моделирования зданий с учетом электромагнитной индукции в помещении, за счет чего выстраивается электромагнитная карта помещения, вдобавок при помощи технологии AR, выстраивается 3D модель, что позволяет, при комплексном использовании данных технологии, смартфону находить, по данным признакам, свое местоположение в помещениях.

Система, выстроенная в рамках данной магистерской диссертации, является расширяемой и при увеличении количества задействованных в ней устройств увеличивает свою работоспособности и качество получаемых геолокационных данных.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Автор не ставит единственной целью поиск местоположения пользователя устройства, поскольку благодаря использованию и взаимодействию нескольких таких устройств поиск собственного местоположения станет значительно проще, что дополнительно при помощи поправочных алгоритмов сможет уменьшить разброс координат локализации до минимальных значений. Из чего можно сделать вывод, что автор преследует несколько целей:

- Найти подходящие технологии и датчики для нахождения точного местоположения;
- Найти подходящие технологии и датчики для нахождения точного взаимного местоположения;
- Найти решение проблемы IPS.

Из вышеприведенных целей работы можно выделить основные задачи:

- Поиск и тестирование работы наиболее часто встречающихся датчиков смартфона;
- Постановка задачи для точного местоположения устройств;
- Поиск и тестирование лучших связей взаимодействия датчиков;
- Выделение основной проблематики IPS на данный момент;
- Постановка задачи для IPS;
- Нахождение наиболее дешевого решения для IPS;
- Постановка задачи локации на мировой карте;
- Связывание задачи локации на мировой карте с задачей IPS;
- Решение задачи для точного местоположения устройств.

Решение задачи локализации смартфонов в помещениях и на открытых пространствах будет проведено на устройствах с операционными системами Android. В связи с тем, что у наибольшей группы устройств модули по функциональности одинаковы, будут исключены небольшие группы смартфонов с нестандартной конфигурацией, поскольку их количество незначительно.

Данные расчетов должны быть взяты из реальных наблюдений и тестов над мобильными устройствами и их местоположением. В работе не будут использоваться методы, связанные с позиционированием, основанным на большом количестве внешних стационарных датчиков и устройств подобного типа, поскольку их использование идет вразрез с созданием динамического соединения между устройствами, независимо от их местоположения на мировой

карте, а также, поскольку данные методы несмотря на свою эффективность, являются дорогостоящими.

Актуальность данной работы обусловлена состоянием рынка на данный момент. Огромное количество компаний, включая гигантов индустрии активно занимаются решением задач локализации устройств [7] [8] [9]. Биллинг с высокой степенью конфиденциальности, повсеместные вычисления, контекстно-зависимые информационные услуги, отслеживание и управление сотрудниками - вот лишь некоторые из многих возможных областей применения данного алгоритма. Данный алгоритм может изменить будущее многих отраслей ит-рынка, существующего на данный момент: AR, статистика, IPS, игровая индустрия, смартфоны, VR, транспортная система, торговля, система расчета, навигация, приложения для знакомств, социальные сети и многое другое. Из вышеприведенного можно сказать, что влияние на рынок является колоссальным.

В данной работе, магистрант описывает действующие на практике алгоритмы поиска местоположения устройств, их проблематику и находит несколько решений проблем локализации, существующих на данный момент.

Характер работы: теоретический.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в следующих сборниках:

- 8-ая Международная научно-практическая конференция «Математика. Информационные технологии. Образование» на базе Восточноевропейского университета имени Леси Украинки;
- 53-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР [84];
- 54-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР [85];
- 55-ая Юбилейная Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР [86].

Данный алгоритм апробирован на бизнес-конкурсах:

- Участник 1-ого белорусско-российского молодежного бизнес инкубатора (г. Москва, Плеханово) [83];
- Финалист «Управление стартап-проектами» (г. Минск, Imaguru, ПВТ) [82];
- Финалист Первого всебелорусского конкурса стартап-проектов «Startup-Heart» (г. Минск, БГУ);
- Полуфиналист «100 идей для Беларуси» (г. Минск) [81].

ВВЕДЕНИЕ

Точное позиционирование в помещениях сталкивается с немного другими проблемами, чем на открытом воздухе. В то время как внутренние помещения ограничены по размерам комнатами и зданиями, позиционирования на открытом воздухе требуют регионального или даже глобального охвата. Трудности с приемом спутниковых сигналов внутри помещений привели к появлению высокочувствительных приемников и приемников AGNSS, многие проблемы которых остаются нерешенными.

Требования к точности различаются между внутренней и наружной средой - как правило, существует более высокий спрос на относительную точность в помещении.

Данную магистерскую диссертацию следует рассматривать как поиск текущих и ближайших возможностей позиционирования в помещениях и на открытом воздухе. Однако решения и методы, приведенные в ней, не являются единственными верными. Помимо найденных/созданных методов в данной диссертации существует огромное количество совершенно других решений, которые работают, но, большая часть из которых довольно дорога в построении, либо же их точность является посредственной.

Основное внимание уделяется различным новым системам определения местоположения, обеспечивающим точность на уровне см или выше, что является необходимым условием для большинства геодезических применений.

Сегодня тахеометры охватывают большинство геодезических приложений для определения положения 3D в реальном времени в помещении. В любом случае, для обеспечения большей доступности системы тахеометров по-прежнему присущи различные слабые места, такие как необходимость прямой видимости и ручной настройки относительно крупного и дорогостоящего прибора.

В данной работе рассматриваются как слабые, так и сильные стороны, а также будут рассмотрены и протестированы альтернативные методы позиционирования, которые могут позволить сценарий «миллиметры везде» в ближайшем будущем.

Стоит определить то, что решающей ролью в выборе данной темы для магистерской диссертации является то, что многочисленные мелкие и крупные компании, как Google [8], Apple [7], Яндекс [9] и т.д. активно занимаются решением задач локализации уже несколько лет. Главной проблемой данных систем является отсутствие динамической и точной навигации в помещениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мало кто задается вопросом отказа в IPS системах от стационарных датчиков. Ученые стремятся создать системы, точность которых доходит до миллиметров, но отказ от внешних датчиков у специалистов в данной отрасли не является важной прерогативой, хоть рынок и объем.

В данной работе были выполнены следующие задачи:

- Протестированы наиболее часто встречающиеся датчики смартфона;
- Найдены и протестированы лучшие связки взаимодействия датчиков;
- Выделена основная проблематика IPS на данный момент;
- Найдено наиболее дешевое и качественное решение для IPS;
- Задачи локации на мировой карте с задачей IPS связаны;
- Решена задача для точной локализации устройств.

В следствии того, что для разработки системы поиска точного местоположения с использованием гироскопа, акселерометра, магнитометра, барометра, радио сенсоров WiFi / Bluetooth, GPS, AR и радио-магнитного картографирования помещения с одним стационарным датчиком на входе потребуются более двух лет разработки на низкоуровневых языках программирования, характер данной работы является более теоретическим, чем практическим.

Была проведена работа с известными работами именитых ученых по данной тематике, также, были проанализированы многие методы решения задач локализации как по способу взаимодействия между устройствами, так и по качеству позиционирования датчиков смартфонов. Был разработан алгоритм динамической indoor системы с точностью позиционирования до двух метров.

В работе были проанализированы современные методы решения задач локализации различающиеся как по способу взаимодействия между устройствами, так и по качеству позиционирования датчиков смартфонов. Был разработан алгоритм динамической indoor системы с точностью позиционирования до двух метров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Aoran Xiao. An Indoor Positioning System Based on Static Objects in Large Indoor Scenes by Using Smartphone Cameras // Aoran Xiao, Ruizhi Chen, Deren Li, Yujin Chen and Dewen Wu // Sensors(basel). – 2018. – С. 18(7): 2229.

[2] Hao Xia. Using Multiple Barometers to Detect the Floor Location of Smart Phones with Built-in Barometric Sensors for Indoor Positioning // Hao Xia, Xiaogang Wang, Yanyou Qiao, Jun Jian and Yuanfei Chang // Sensors(basel). – 2015. –С.7857–7877.

[3] Mengyun Liu. Scene Recognition for Indoor Localization Using a Multi-Sensor Fusion Approach // Mengyun Liu, Ruizhi Chen, Deren Li, Yujin Chen, Guangyi Guo, Zhipeng Cao, and Yuanjin Pan // Sensors(basel). – 2017. – С. 2847.

[4] Wless [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.wless.ru/technology/?tech=10>

[5] Márcio Fernando Pacheco de Oliveira. Magnetic Reference for Accurate Indoor Tracking // Márcio Fernando Pacheco de Oliveira // Faculdade de engenharia. – 2014. – 16(2)

[6] Habrahabr [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/realtrac/blog/302650/>

[7] Patently Apple [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.patentlyapple.com/patently-apple/2019/04/apple-invention-regarding-indoor-location-mapping-describes-the-use-of-individual-iphone-store-apps.html>

[8] Google [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>

[9] Yandex [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yandex.ru/adv/news/yandeks-nachal-prodazhu-tsifrovoy-reklamy-v-pomescheniyakh>

[10] Habrahabr [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/278689/>

[11] Jiahong Li. A Novel Robust Trilateration Method Applied to Ultra-Wide Bandwidth Location Systems // Jiahong Li, Xianghu Yue, Jie Chen, and Fang Deng // Sensors (Basel). – 2017. – 17(4)

[12] Rainer Mautz (2009) // Overview of current indoor positioning systems // Geodezija ir Kartografija, 35:1, –С.18-22

[13] Good Practices of Accessible Urban Development [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.un.org/disabilities/documents/desa/good_practices_in_accessible_urban_development_october2016.pdf;

[14] European Conference of Ministers of Transport. Improving Transport Accessibility for All. Guide to Good Practice. OECD Publications Service; Paris, France: –2006. – C. 41–71.

[15] Mitchell C.G.B. Urban Travel, Intelligent Transportation Systems, and the Safety of Elderly and Disabled Travelers // Mitchell C.G.B., Suen S.L. // J. Urban Technol. –1998; – C. 17–43.

[16] Bahl P. V.N. RADAR: An In-building RF-Based User Location and Tracking System// Bahl P., Padmanabhan. // Proceedings of the IEEE 9th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies; Tel Aviv, Israel. –2000; – C. 775–784.

[17] Liu H. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems // Liu H., Darabi H., Banerjee P., Liu J. // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C. –2007 – C. 1067–1080.

[18] Honkavirta V. A Comparative Survey of WLAN Location Fingerprinting Methods; Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication // Honkavirta V., Perälä T., All-Löytty S., Piché R. // Hannover, Germany. –2009; – C. 243–251.

[19] He S. Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons // He S., Chan S.H.G. // IEEE Commun. Surv. –2016; –C. 466–490.

[20] Kaemarungsi K. Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting // Kaemarungsi K., Krishnamurthy P. // Proceedings of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services; Boston, MA, USA. –2004; –C. 14–23.

[21] Dawes B. A Comparison of Deterministic and Probabilistic Methods for Indoor Localization // Dawes B., Chin K.W. // J. Syst. Softw. –2011; –C.442–451.

[22] Torres-Sospedra J. Comprehensive Analysis of Distance and Similarity Measures for Wi-Fi Fingerprinting Indoor Positioning Systems. // Torres-Sospedra J., Montoliu R., Trilles S., Belmonte O., Huerta J. // Expert Syst. Appl. –2015; – C. 9263–9278.

[23] Feng C. Received-Signal-Strength-Based Indoor Positioning Using Compressive Sensing // Feng C., Au W.S.A., Valaee S., Tan Z. // IEEE Trans. Mob. Comput. –2012; – C.1983–1993.

[24] Kjærsgaard M.B. Indoor Location Fingerprinting with Heterogeneous Clients // Kjærsgaard M.B. // Pervasive Mob. Comput. –2011; – C. 31–43.

[25] King T. Deployment, Calibration, and Measurement Factors for Position Errors in 802.11-based Indoor Positioning Systems. // King T., Haenselmann T., Effelsberg W. // Lect. Notes Comput. Sci. –2007; – C. 17–34.

[26] Faragher R. An Analysis of the Accuracy of Bluetooth Low Energy for Indoor Positioning Applications; Proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation // Faragher R., Harle R. // Tampa, FL, USA. –2014; – C. 201–210.

[27] Faragher R. Location Fingerprinting with Bluetooth Low Energy Beacons. // Faragher R., Harle R. // IEEE J. Sel. Areas Commun. –2015; – C. 2418–2428.

[28] Zhuang Y. Smartphone-Based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons // Zhuang Y., Yang J., Li J., Qi L., El-Sheimy N. // Sensors. –2016; – C. 596.

[29] Kajioka S. Experiment of Indoor Position Presumption Based on RSSI of Bluetooth LE Beacon // Kajioka S., Mori T., Uchiya T., Takumi I., Matsuo H. // Proceedings of the IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics; Tokyo, Japan. –2014; – C. 337–339.

[30] Baniukevic A. Hybrid Indoor Positioning with Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and Performance // Baniukevic A., Jensen C.S., Lu H. // Proceedings of the IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management; Milan, Italy. –2013; C. 207–216.

[31] Metola-Moreno E. Comparison of Localization Methods Using Calibrated and Simulated Fingerprints for Indoor Systems Based on Bluetooth and WLAN Technologies // Metola-Moreno E., Aparicio S., Tarrío-Alonso P., Casar-Corredera J.R. // Proceedings of the 3rd International Workshop on User-Centric Technologies and Applications; Salamanca, Spain. –2009.

[32] Au A.W.S. Indoor Tracking and Navigation Using Received Signal Strength and Compressive Sensing on a Mobile Device // Au A.W.S., Feng C., Valaee S., Reyes S., Sorour S., Markowitz S.N., Gold D., Gordon K., Eizenman M. // IEEE Trans. Mob. Comput. –2013; – C. 2050–2062.

[33] Moder T. Indoor Positioning for Visually Impaired People Based on Smartphones // Moder T., Hafner P., Wieser M. // Proceedings of the 14th International Conference Computers Helping People with Special Needs; Paris, France. –2014; – C. 441–444.

[34] Ge T. Indoor Positioning System based on Bluetooth Low Energy for Blind or Visually Impaired Users // Ge T. // KTH Royal Institute of Technology, School of Information and Communication Technology (ICT), Communication Systems (CoS) Department; Stockholm, Sweden: –2015.

[35] Guerrero L.A. An Indoor Navigation System for the Visually Impaired. // Guerrero L.A., Vasquez F., Ochoa S.F. // Sensors. –2012; – C 8236–8258.

[36] Castillo-Cara M. Ray: Smart Indoor/Outdoor Routes for the Blind Using Bluetooth 4.0 BLE. // Castillo-Cara M., Huaranga-Junco E., Mondragón-Ruiz G.,

Salazar A., Barbosa L.O., Antúnez E.A. Castillo-Cara M., Huaranga-Junco E., Mondragón-Ruiz G., Salazar A., Barbosa L.O., Antúnez E.A. // *Procedia Comput. Sci.* –2016; – C. 690–694.

[37] Ladd A.D. Robotics-Based Location Sensing Using Wireless Ethernet. // Ladd A.D., Bekris K.E., Rudys A., Kavraki L.E., Wallach D.S. // *Wirel. Netw.* –2005; – C. 189–204.

[38] Lin H. WASP: An Enhanced Indoor Locationing Algorithm for a Congested Wi-Fi Environment // Lin H., Zhang Y., Griss M., Landa I. // *Lect. Notes Comput. Sci.* –2009; – C. 183–196.

[39] Dickinson P. Indoor Positioning of Shoppers Using a Network of Bluetooth Low Energy Beacons // Dickinson P., Cielniak G., Szymanczyk O., Mannion M. // *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*; Alcalá de Henares, Spain. –2016; – C. 1–8.

[40] Indoor Navigation for Zurich Main Railway Station.

[41] Saraiva R. RF Positioning: Fundamentals, Applications and Tools // Saraiva R., Lovisolio L. // *Artech House Publishers*; Boston, MA, USA: –2015.

[42] Youssef M. The Horus WLAN Location Determination System // Youssef M., Agrawala A. // *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*; Seattle, WA, USA. –2005; – C. 205–218.

[43] García-Villalonga S. Influence of human absorption of Wi-Fi signal in indoor positioning with Wi-Fi fingerprinting // García-Villalonga S., Pérez-Navarro A. // *Proceedings of the 2015 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*; Banff, AB, Canada. –2015; – C. 1–10.

[44] Xie Y. An Improved K-Nearest-Neighbor Indoor Localization Method Based on Spearman Distance // Xie Y., Wang Y., Nallanathan A., Wang L. // *IEEE Signal Process. Lett.* –2016; – C. 351–355.

[45] Zhang L. A Comprehensive Study of Bluetooth Fingerprinting-based Algorithms for Localization // Zhang L., Liu X., Song J., Gurrin C., Zhu Z. // *Proceedings of the 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*; Barcelona, Spain. –2013; – C. 300–305.

[46] Zhu J. RSSI Based Bluetooth Low Energy Indoor Positioning // Zhu J., Chen Z., Luo H., Li Z. // *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*; Busan, Korea. –2014; – C. 526–533.

[47] Deak G. A survey of active and passive indoor localisation systems // Deak G., Curran K., Condell J. // *Comp. Commun.* –2012; –C. 1939–1954.

[48] Cabarkapa D. Comparative analysis of the Bluetooth Low-Energy indoor positioning systems // Cabarkapa D., Grujic I., Pavlovic P. // *Proceedings of the 12th*

International Conference on Telecommunication in Modern Sattelite, Cable and Broadcasting Services; Nis, Serbia. –2015; – C. 76–79.

[49] Gueuning F.E. Accurate distance measurement by an autonomous ultrasonic system combining time-of-flight and phase-shift methods // Gueuning F.E., Varlan M., Eugne C.E., Dupuis P. // Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference; Brussels, Belgium. –1996; – C. 399–404.

[50] Fritsch C. A digital envelope detection filter for real-time operation // Fritsch C., Ibanez A., Parrilla M. // IEEE Trans. Instrum. Meas. –1999; –C. 1287–1293.

[51] Priyantha N.B. The cricket location-support system // Priyantha N.B., Chakraborty A., Balakrishnan H. // Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking; Boston, MA, USA. –2000; – C. 32–43.

[52] Lu Z. Estimating ultrasonic time-of-flight through echo signal envelope and modified Gauss Newton method // Lu Z., Yang C., Qin D., Luo Y., Momayez M. // Measurement. –2016; – C. 355–363.

[53] Zhao Y. ER-CRLB: An Extended Recursive Cramér–Rao Lower Bound Fundamental Analysis Method for Indoor Localization Systems // Zhao Y., Fan X., Xu C.Z., Li X. // IEEE Trans. Veh. Technol. –2017; – C. 1605–1618.

[54] Huang S.S. A high accuracy ultrasonic distance measurement system using binary frequency shift-keyed signal and phase detection // Huang S.S., Huang C.F., Huang K.N., Young M.S. // Rev. Sci. Instrum. –2002; – C. 3671–3677.

[55] Urena J. Advanced sensorial system for an acoustic LPS // Urena J., Hernandez A., Jimenez A., Villadangos J.M., Mazo M., Carcia J.C., Alvarez F.J., Marziani C.D., Perez M.C., Jiménez J.A., et al. // Microproces. Microsyst. –2007; –C. 393–401.

[56] Seco F. Compensation of multiple access interference effects in CDMA-based acoustic positioning systems // Seco F., Prieto J.C., Ruiz A.R.J., Guevara J. // IEEE Trans. Instrum. Meas. –2014; – C. 2368–2378.

[57] Álvarez F.J. CDMA-based acoustic local positioning system for portable devices with multipath cancellation // Álvarez F.J., Aguilera T., López-Valcarce R. // Dig. Signal Process. –2017; – C. 38–51.

[58] Khyam M.O. Multiple Access Chirp-Based Ultrasonic Positioning. // Khyam M.O., Xinde L., Ge S.S., Pickering M.R. // IEEE Trans. Instrum. Meas. –2017; – C. 1–12.

[59] Saad M.M. Robust high-accuracy ultrasonic range measurement system // Saad M.M., Bleakley C.J., Dobson S. // IEEE Trans. Instrum. Meas. –2011; – C. 3334–3341.

[60] Gonzalez J.R. High-precision robust broadband ultrasonic location and orientation estimation // Gonzalez J.R., Bleakley C.J. // IEEE J. Sel. Top. Signal Process. –2009; C. 832–844.

[61] Medina C. Ultrasound indoor positioning system based on a low-power wireless sensor network providing sub-centimeter accuracy // Medina C., Segura J.C., De la Torre A. // Sensors. –2013; C. 3501–3526.

[62] Nickitopoulou A. Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: Accuracy, limitations and promises // Nickitopoulou A., Protopsalti K., Stiros S. // Eng. Struct. –2006; – C. 1471–1482.

[63] Klepeis N.E. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants // Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., Robinson J.P., Tsang A.M., Switzer P., Behar J.V., Hern S.C., Engelmann W.H. // J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. –2001; – C. 231–252.

[64] Sayeef S. Indoor personnel tracking using infrared beam scanning // Sayeef S., Madawala U.K., Handley P.G., Santoso D. // Proceedings of the 2004 Position Location and Navigation Symposium; Monterey, CA, USA. –2004; – C. 698–705.

[65] Xiaohan L. Basic study on indoor location estimation using visible light communication platform // Xiaohan L., Makino H., Maeda Y. // Proceedings of the 2008 30th Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society; Vancouver, BC, Canada. –2008; –C. 2377–2380.

[66] Ingram S.J. Ultrawideband indoor positioning systems and their use in emergencies // Ingram S.J., Harmer D., Quinlan M. // Proceedings of the 2004 Position Location and Navigation Symposium; Monterey, CA, USA. –2004; – C. 706–715.

[67] Mulloni A. Indoor positioning and navigation with camera phones // Mulloni A., Wagner D., Barakonyi I., Schmalstieg D. // IEEE Pervasive Comput. –2009;

[68] Sanpechuda T. A review of RFID localization: Applications and techniques // Sanpechuda T., Kovavisaruch L. // Proceedings of the 2008 Fifth International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology; Krabi, Thailand. –2008; – C. 769–772.

[69] Rai A. Zee: Zero-effort crowdsourcing for indoor localization // Rai A., Chintalapudi K.K., Padmanabhan V.N., Sen R. // Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking; Istanbul, Turkey. –2012; – C. 293–304.

[70] Goncalo G. Indoor location system using ZigBee technology // Goncalo G., Helena S. // Proceedings of the 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications; Athens, Greece. –2009; – C. 152–157.

[71] Collin J. Indoor positioning system using accelerometry and high accuracy heading sensors // Collin J., Mezentsev O., Lachapelle G. // Proceedings of the ION GPS/GNSS 2003; Portland, OR, USA. –2003; – С. 1–7.

[72] Ladetto, Q. On foot navigation: continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering // Ladetto, Q. // Proceedings of ION GPS 2000, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, –2000; – С. 1735-1740.

[73] Leppäkoski, H. Error Analysis of Step Length Estimation in Pedestrian Dead Reckoning // Leppäkoski, H., J. Käppi, J. Syrjärinne and J. Takala // Proceedings of ION GPS 2002, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, –2002; – С. 1136-1142.

[74] B. B. Peterson. Spread spectrum indoor geolocation // B. B. Peterson, C. Kmicik, R. Hartnett, P. M. Thompson, J. Mendoza, and H. Nguyen // J. Inst. Navigat., vol. 45, no. 2, –1998; –С. 97–102.

[75] X. Li. Comparison of indoor geolocation methods in DSSS and OFDM wireless LAN // X. Li, K. Pahlavan, M. Latva-aho, and M. Ylianttila // in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf., – 2000 – vol. 6, – С. 3015–3020.

[76] B. Fang. Simple solution for hyperbolic and related position fixes // B. Fang // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., – vol. 26 – № 5, – С. 748–753, – 1990.

[77] K. Pahlavan. Indoor geolocation science and technology. // K. Pahlavan, X. Li, and J. Makela // IEEE Commun. Mag., – vol. 40, – №2, – С. 112–118, – 2002.

[78] M. Kanaan. A comparison of wireless geolocation algorithms in the indoor environment // M. Kanaan and K. Pahlavan // in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf., – 2004, – vol. 1, – С. 177–182.

[79] C. Drane. Positioning GSM telephones // C. Drane, M. Macnaughtan, and C. Scott // IEEE Commun. Mag., – vol. 36, – №4, – С. 46–54, 59, – 1998.

[80] Cyberleninka [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/opredelenie-mgnovennoy-fazy-sinusoidalnogo-signala-fazovyy-izmeritel-i-fazovyy-obnaruzhitel>

[81] БГУиР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bsuir.by/ru/news/102402-v-bguir-zavershilsya-otborochnyy-etap-republikanskogo-konkursa-100-idey-dlya-belarusi>

[82] БГУиР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bsuir.by/ru/news/101516-v-imaguru-podveli-itogi-sovmestnogo-s-pvt-kursa-upravlenie-startap-proektami>

[83] Российский союз молодежи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ruy.ru/press/news/podvedeny-itogi-raboty-rossiys/>

- [84] БГУиР [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_116226.pdf
- [85] БГУиР [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_128134.pdf