

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

РУСТИНОВ В.А., СОРОКИН А.Р.

Много технологий и методов предложено для локализации подвижных объектов как внутри, так и снаружи зданий. Однако каждый метод имеет недостатки. В статье предлагается объединить несколько технологий, которые обеспечат более высокие результаты точности определения текущего положения подвижного объекта. Чтобы продемонстрировать данный подход, предлагается прототип системы на базе ОС Android с использованием iBeacon и акселерометра. Результаты экспериментов показывают улучшение точности позиционирования по сравнению с каждой технологией в отдельности.

Ключевые слова: локализация, навигация, подвижные объекты.

Key words: localization, navigation, mobile objects.

1. Введение

Проблемы локализации и навигации являются фундаментальными в работе с подвижными объектами. Они должны иметь четкое представление о том, где они находятся в настоящее время и по какому маршруту они должны следовать, чтобы достичь своей цели. Человек, в силу своих интеллектуальных навыков и способности ориентироваться в пространстве, требует относительно низкую точность данных о своем местоположении, в то время как роботам или другим подвижным объектам часто требуется максимально возможная точность данных об их местоположении. В больших современных городах плотность зданий очень высока. Как следствие, сигнал от спутников не достигает принимающие устройства, и такие системы как GPS или GNSS становятся практически неработоспособными. Это означает, что определение местоположения объекта даже на улице становится достаточно сложным, а процесс локализации объектов в здании и вовсе невозможен. В связи с этим в 2012 году был создан Альянс по разработке системы локализации внутри помещений. Данный альянс включает в себя такие гиганты мировой индустрии, как Samsung, Google, Qualcomm, Cisco, Sony [1]. Создание этого альянса подтверждает актуальность данной проблемы. Кроме того, над решением задачи определения местоположения подвижных объектов в помещениях активно работает компания Apple, которая разработала и выпустила технологию iBeacon [2].

Цель исследования – создание комбинированного метода локализации подвижного объекта для повышения точности его позиционирования с использованием беспроводных технологий, поддерживаемых платформами на базе ОС Android.

В данной работе решаются следующие задачи:

- 1) Экспериментальные исследования RSS (Уровень Принимаемого Сигнала) для WiFi, Bluetooth и iBeacon.
- 2) Разработка прототипа системы локализации подвижных объектов на базе смартфонов и планшетов метода под управлением ОС Android.
- 3) Выбор метода оптимального расположения передатчиков в пространстве.

2. Обзор технологий и методов локализации объектов

В данной статье представлен свой подход к решению упомянутой выше проблемы. Следует отметить, что главным критерием выбора методов и технологий, используемых в процессе определения местоположения подвижных объектов, является поддерживаемость той или иной технологии большинством современных устройств связи, таких как мобильные телефоны или планшетные компьютеры. Основанием данного критерия является распространенность указанных устройств, а также требование к отсутствию дополнительного оборудования для выполнения процесса локализации подвижных объектов. Также следует отметить, что под понятием подвижного объекта в большей степени следует принимать человека.

Предполагается, что процесс определения текущего местоположения человека в пространстве происходит с использованием тех устройств и датчиков, которые присутствуют в среднестатистическом переносном компьютере.

Среди датчиков можно выделить следующие:

- акселерометр, который служит для измерения ускорения устройства по трем осям в том случае, когда устройство перемещается;
- гироскоп, с помощью которого можно определять положение устройства в пространстве (угол наклона по трем осям) даже в неподвижном состоянии, в отличие от акселерометра;
- магнитометр, который служит для реакции на магнитное поле Земли, а также для определения стороны света. Частным случаем данного датчика является датчик Холла;
- датчик приближения для определения какого-либо препятствия вблизи устройства;
- датчик освещенности, с помощью которого можно определить уровень освещенности окружающей среды.

Среди технологий, поддерживаемых большинством современных переносных компьютеров, можно выделить следующие:

Wi-Fi – торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка

(Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую»;

Bluetooth – технология, которая была первоначально разработана для решения соединения личных, портативных и карманных электронных устройств между собой;

GSM – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени (TDMA) и частоте (FDMA). GSM на сегодняшний день является наиболее распространённым стандартом связи;

NFC – технология беспроводной высокочастотной связи малого радиуса действия, которая дает возможность обмена данными между устройствами, находящимися на расстоянии около 10 сантиметров. Эта технология – простое расширение стандарта бесконтактных карт (ISO 14443), которая объединяет интерфейс смарт-карты и считывателя в единое устройство;

iBeacon – технология, позволяющая передачу данных между беспроводными устройствами – маяками и устройствами, поддерживающими технологию Bluetooth LE, торговая марка Apple, Inc.

В первую очередь следует сказать, что использование стандарта GSM в решении проблем локализации подвижных объектов с относительно высокой точностью (до 10м) представляется невозможным в силу принципа построения сетей данного типа. Применение технологии NFC, наоборот, дает максимальную точность определения текущего местоположения объекта (20 см) в силу того, что принимающее устройство (считыватель) должно быть в непосредственной близости к NFC метке (порядка 5 см). Однако данная точность является следствием достаточно весомого недостатка. Как упоминалось выше, для работы данной технологии требуется непосредственная близость считывателя и метки. Это значит, что для определения своего текущего местоположения объекту требуется в первую очередь найти метку. Следует также учитывать, что даже в том случае, когда метка найдена, может быть ситуация большого скопления объектов возле одной метки. Одной из наиболее распространенных технологий, служащих для определения текущего местоположения подвижных объектов, является технология Wi-Fi. Wi-Fi RTLS (Система Локализации в Реальном Времени). Она позволяет обнаруживать местоположение объекта с использованием существующих беспроводных маршрутизаторов. Реализация данного метода состоит из двух этапов. Первым является создание карты уровней сигнала от окружающих точек доступа. Частным случаем первого этапа является использование метода “fingerprinting” [3]. Первым шагом данного метода является создание двух массивов данных – один для данных об уровнях принимаемого сигнала, измеренных с помощью принимающего устройства на стороне объекта позиционирования от N точек доступа, другой массив данных требуется для данных о текущих уровнях принятых

сигналов в конкретном месте. Первый вектор обозначим как: $R = [\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_N]$; второй как $\check{R} = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_N]$. Евклидово расстояние между R и \check{R} представлено в формуле:

$$Z = \left[\sum_{i=1}^N (\rho_i - r_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\sum_{i=1}^N q_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Случайная величина X равна квадрату расстояния между выборкой вектора, хранящего текущие уровни принятых сигналов, и среднего значения вектора, хранящего уровни принимаемого сигнала, полученные в процессе калибровки на первом этапе. Она имеет функцию плотности вероятности (PDF), показанную в формуле (2), где $x \geq 0$:

$$p_{X_N^2}(x) = \frac{1}{\sigma^N 2^{N/2} \Gamma(N/2)} e^{-x/(2\sigma^2)} x^{(N/2)-1}. \quad (2)$$

Данный метод состоит в отслеживании местоположения объекта с помощью его радио-сигнатуры. Этот метод представляет собой проверку на соответствие с определенными характеристиками сигнала, которые могут отличаться в зависимости от местоположения объекта. В базе данных хранятся так называемые “отпечатки пальцев” объекта в различных местах, которые проверяются на соответствие с измеряемым “отпечатком пальцев” объекта в текущем местоположении. На втором этапе происходит верификация множества точек и сигналов в базе данных с текущими результатами сканирования окружающей среды. Однако сигнал, поступающий от беспроводных маршрутизаторов, является чрезвычайно чувствительным к различного рода помехам, а также к таким препятствиям, как стены и люди [4].

3. Экспериментальные исследования распространения радиосигналов

Эксперименты, проведенные с помощью одной точки доступа в Харьковском национальном университете радиозлектроники, показали, что извлечь какую-либо закономерность из принимаемого сигнала в каждой точке пространства практически невозможно из-за помех, наводимых сторонним электронным оборудованием, а также в случае большого скопления людей. Рис. 1 показывает зависимость сигнала от расстояния до точки доступа без установленного соединения с ней. Единственным препятствием между точкой доступа и вычислительным устройством был человек.

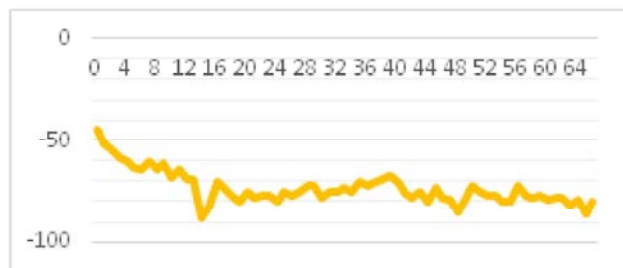


Рис. 1. Зависимость сигнала от расстояния до точки доступа

Спустя три дня было проведено повторное измерение сигналов в тех же условиях. Как видно из рис. 2, сигнал значительно изменился.

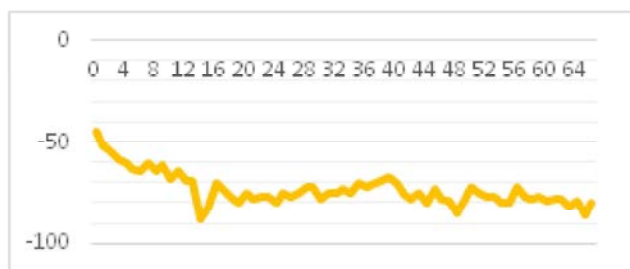


Рис. 2. Обновленная зависимость сигнала от расстояния до точки доступа

Следующей технологией, которую можно использовать в процессе локализации подвижных объектов, является технология Bluetooth (до версии 3 включительно). Она первоначально была разработана для решения связи личных электронных устройств. Bluetooth-метки представляют собой небольшие передающие устройства. Как любое другое устройство технологии Bluetooth, каждый передатчик имеет уникальный MAC-адрес, который может быть использован для определения местоположения Bluetooth-передатчиков. Система локализации подвижных объектов с помощью данной технологии может быть основана на принципе проверки MAC-адреса ближайшего передатчика с базой данных доступных адресов, с последующим отображением текущего местоположения объекта на экране устройства. Определение ближайшего передатчика может быть реализовано с помощью такого параметра как RSS (Уровень Принимаемого Сигнала). Определение ближайшего передатчика может быть реализовано с помощью такого параметра как RSS (Уровень Принимаемого Сигнала) [5]. В соответствии с этим предположим, что количество передатчиков $N \geq 2$ и их положение определяется формулой:

$$\vec{p}_k = (x_k, y_k)^T, k \in 1..N. \quad (3)$$

Расстояние между передатчиками i, j и принимающим устройством в прямоугольной системе координат представлено в формуле:

$$\begin{cases} r_i(\vec{x}) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}; \\ r_j(\vec{x}) = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Если расстояния между передатчиками и принимающим устройством известны, местоположение объекта может быть рассчитано с помощью метода LSE, представленного в уравнении:

$$\begin{cases} r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \\ r_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \end{cases}, i, j \in 1..N. \quad (5)$$

Периметр местоположения объекта может быть получен с использованием формулы:

$$r_i^2 - r_j^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - (x - x_j)^2 - (y - y_j)^2. \quad (6)$$

Определение местоположения объекта представлено в формуле:

$$H \cdot \vec{m} = C. \quad (7)$$

Для преобразования измерения силы сигнала в расстояние между передатчиками и принимающим устройством используется формула:

$$s(\vec{x}) = c(d(\vec{x}))^{-\alpha}. \quad (8)$$

Для проверки работоспособности данного метода было проведено несколько экспериментов. В качестве Bluetooth-передатчика использовался вычислительный блок Lego Mindstorms NXT. База данных содержала MAC-адреса передатчиков и соответствующее им расположение курсора на карте окружающей среды. Эксперименты показали, что если период сканирования окружающей среды на наличие Bluetooth-устройств установлен на 3,5 секунды и расстояние между передатчиками равно 3 метра, процесс локализации работает стабильно, а точность отображаемого местоположения объекта составляет до 95%. Единственный недостаток данного метода заключается во времени сканирования окружающей среды. В среднем для преодоления расстояния между передатчиками человеку требуется относительно мало времени. Уменьшение расстояния между передатчиками снижает точность. Это делает систему не лучшим решением для процесса локализации.

Следует также отметить, что метод «fingerprinting» не может быть использован в паре с передатчиками Bluetooth. Это подтверждают измерения мощности принимаемого сигнала, проведенные в корпусе «З» Харьковского национального университета радиоэлектроники. На графике рис. 3 изображены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния до передатчика, где синей кривой (1) обозначена мощность сигнала при отсутствии прямой видимости между принимающим и передающим устройством, а красной кривой (2) – при ее наличии.

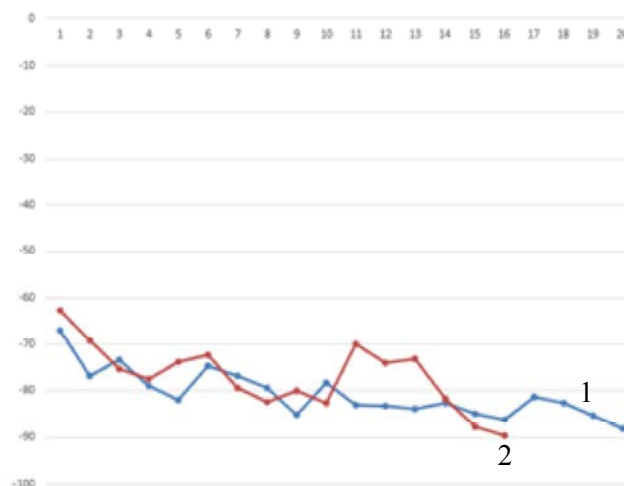


Рис. 3. Зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния

Из рис. 3 видно, что дальность распространения радиосигнала от передатчиков, работающих с помощью технологии Bluetooth, зависит от наличия прямой видимости. Следует также отметить, что при наличии прямой видимости между устройствами затухание сигнала более стабильно.

Последней технологией для определения текущего местоположения объектов является технология iBeacon. Устройства, использующие данную технологию, основаны на Bluetooth v4 LE. Система локализации с применением таких устройств работает удовлетворительно. Данная система состоит из самих передатчиков iBeacon, которые размещены в помещении (не более одного iBeacon на один квадратный метр), и вычислительного устройства (мобильный телефон, планшетный компьютер), которые получают и обрабатывают информацию от передатчиков. Данные, обрабатываемые в ходе процесса локализации, состоят из идентификаторов и уровня принимаемого сигнала, поступающего от передатчиков iBeacon. Уровень принимаемого сигнала используется для определения ближайшего передатчика. Передатчик с лучшим сигналом считается ближайшим к объекту локализации. Обычно это так, особенно в помещениях с относительно малым количеством людей.

4. Реализация процесса локализации объектов на основе технологии iBeacon

Реализация метода локализации объектов с использованием технологии iBeacon может быть выполнена для устройств на базе ОС IOS (рис. 4) и Android (рис. 5).



Рис. 4. Реализация метода локализации объектов с использованием iBeacon для устройств на базе ОС IOS

Для проверки работоспособности метода «fingerprinting» были также проведены измерения в корпусе «З» Харьковского национального университета радиэлектроники.

На рис. 6 изображены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния до передатчика, где зеленой кривой (1) обозначена мощность сигнала при отсутствии прямой видимости между принимающим и передающим устройством, а синей кривой (2) – при ее наличии.



Рис. 5. Реализация метода локализации объектов с использованием iBeacon для устройств на базе ОС Android

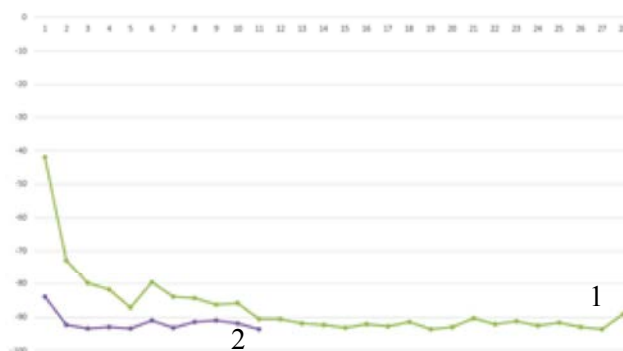


Рис. 6. Зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния

Из рис. 6 видно, что радиосигнал от передатчиков iBeacon также чрезвычайно чувствителен к помехам, а разность дальности его распространения является большей, чем при работе с технологией Bluetooth. Следовательно, использование метода «fingerprinting» при работе с передатчиками iBeacon также крайне нежелательно.

Одним из самых востребованных датчиков является акселерометр. Данный датчик участвует в различных процессах современных переносных компьютеров – от игр до задач определения текущего местоположения подвижных объектов. Процесс локализации подвижных объектов с помощью акселерометра состоит в следующем. Одной из реализаций сервисов с использованием данного датчика является шагомер. Данный сервис определяет шаги пользователя и может рассчитать пройденное пользователем расстояние. Как следствие, для процесса локализации системе требуется указать лишь начальную позицию пользователя. Однако данный метод не учитывает направление движения пользователя. Этот недостаток можно устранить с помощью датчика магнетометра и реализации сервиса, связанного с ним – компаса. К сожалению, корректность работы практически всех магнетометров, как и технологии Wi-Fi, чрезвычайно сильно подвержена искажению при наличии сторонних радиоволн, а также электронного оборудования. Так,

испытания компаса с использованием магнитометра показывают, что при отсутствии каких-либо помех, за пределами города, данный датчик показывает относительно корректную работу, тогда как в среде с наличием достаточно большого количества электронного оборудования компас дает чрезвычайно неточные показания.

5. Комбинированный метод локализации объектов

Комбинированный метод локализации подвижных объектов состоит в объединении функционала технологии iBeacon и датчика акселерометра. В первую очередь, нахождение текущего местоположения объекта производится в непосредственной близости от передатчика iBeacon (в радиусе 1 метра). Данный процесс происходит с участием такого параметра, как мощность принимаемого сигнала. Допустим, граничное значение этого параметра, при котором есть возможность утверждать, что объект находится в непосредственной близости к передатчику – не более 40 dBm. При таком условии система должна отображать положение объекта в радиусе 1 метра от передатчика. Затем, когда объект начинает передвижение, система запускает два параллельных процесса. Первый процесс заключается в измерении мощности принимаемого сигнала от всех передатчиков в зоне видимости, второй процесс состоит в запуске работы шагомера. На протяжении той части пути объекта, в которой мощность принимаемого сигнала от передатчиков составляет более -40 dBm, отображение текущего местоположения объекта опирается на показание шагомера. Средняя длина человеческого шага равна 70 см. Соответственно, на каждом шаге положение объекта будет сдвигаться на 70 см. Однако при таком условии остается вопрос о направлении движения объекта. Решение данного вопроса состоит в сканировании всех окружающих передатчиков. Тот передатчик, мощность принимаемого сигнала от которого уменьшается больше остальных, предполагается как опорный, т.е. тот, в сторону которого двигается объект. Вследствие этого появляется возможность реализовать компас с относительными сторонами света. Иллюстрация данного метода показана на рис. 7, где зелеными кругами обозначается этап локализации объектов с участием шагомера, значки передатчика показывают места корректировки положения объекта с помощью передатчиков iBeacon.

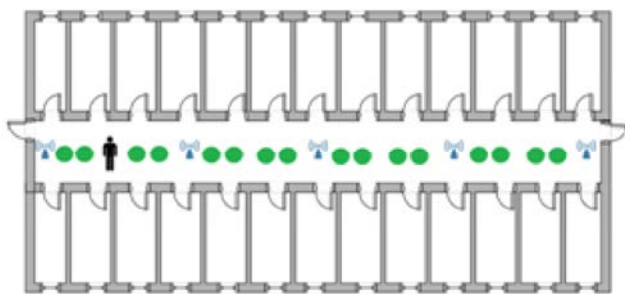


Рис. 7. Комбинированный метод локализации объектов

Немаловажной проблемой является расположение передатчиков в пространстве. Одним из наиболее распространенных методов такого расположения является метод «1-coverage method» [6]. Согласно данному методу, передатчики располагаются так, чтобы место полного затухания радиосигнала от одного передатчика пересекалось с местом полного затухания радиосигнала от другого передатчика. Этот метод изображен на рис. 8.

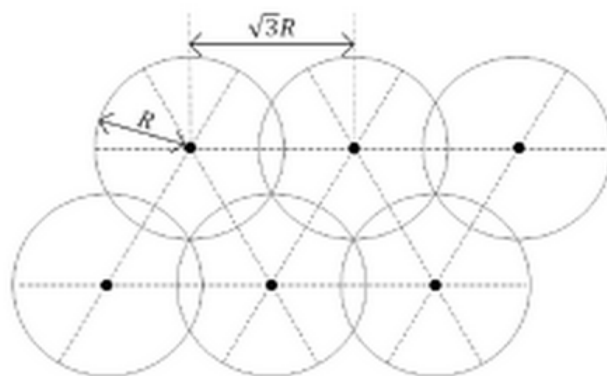


Рис. 8. Метод размещения передатчиков «1-coverage method»

Иллюстрация размещения передатчиков iBeacon согласно методу «1-coverage method» показана на рис. 9.

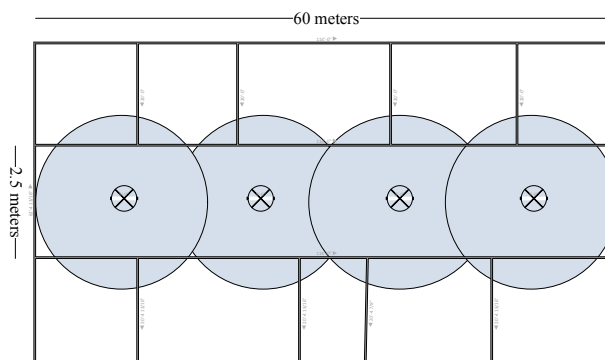


Рис. 9. Размещение передатчиков iBeacon согласно методу «1-coverage method»

Так, чтобы полностью покрыть радиосигналом коридор одного этажа корпуса «3» Харьковского национального университета радиоэлектроники, требуется 4 передатчика iBeacon при условии дальности распространения радиосигнала в 15 метров. Следует отметить, что заявленная дальность распространения радиосигнала современных передатчиков iBeacon от таких производителей как Estimote и Kontakt составляет порядка 20-30 метров. Такая дальность распространения радиосигнала позволит существенно уменьшить количество передатчиков в пространстве, однако при таком условии требуется увеличить точность показаний шагомера.

Заключение

Предложен подход к построению системы локализации подвижных объектов на базе смартфонов, планшетов, в которой объединяются несколько беспроводных технологий. Показано преимущество использования iBeacon в качестве опорных маяков по сравнению с WiFi и Bluetooth. Оценка экспериментов показывает перспективность комбинированного подхода.

В будущих исследованиях целесообразно дополнить систему локализации другими сенсорами, которые имеются в составе современных смартфонов и планшетов,

Литература: 1. *In Location Alliance*: <http://inlocationalliance.org/> (дата обращения: 18.09.2014). 2. *Apple Trademark List*: <http://www.apple.com/legal/intellectual-property/trademark/appletmlist.html> (дата обращения: 20.09.2014). 3. *Kaemarungsi K., Krishnamurthy P.* Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting // *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Vol. 2. 2004. P. 1012-1022. 4. *Schmitt S., Adler S., and Kyas M.* The

Effects of Human Body Shadowing in RF-based Indoor Localization // *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. Vol. 27. 2014. P. 1-7. 5. *Feldmann S., Kyamakyia K., Zapater A., and Lue Z.* An Indoor Bluetooth-based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation // *International Conference on Wireless Networks*. 2003. P. 109-113. 6. *Dhillon S.S., Chakrabarty, K.* Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks // *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*. 2010. P. 1609–1614.

Поступила в редколлегию 19.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Рустинев Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доц. каф. ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: локализация, навигация, большие данные, машинное обучение. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38 050 301 1906.

Сорокин Антон Романович, асс. каф. ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: локализация, навигация, робототехника, компьютерные сети. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38 097 651 55 49.