

В.М. Гриняк<sup>1</sup>

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Владивосток. Россия

Т.М. Гриняк<sup>2</sup>

ООО Тера-Рекон  
Токио. Япония

П.А. Цыбанов<sup>3</sup>

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Владивосток. Россия

## Позиционирование внутри помещений с помощью Bluetooth-устройств

Статья посвящена проблеме навигации внутри помещений в условиях недоступности сигнала спутниковых средств (GPS, Глонасс). В этом случае для определения местоположения объектов используются альтернативные источники навигационной информации: инерциальные навигационные средства (акселерометры, гироскопы), точки доступа в интернет Wi-Fi, устройства передачи данных Bluetooth, датчик давления, магнитометр и т.п. Использование для задач навигации внутри помещений Bluetooth-устройств имеет целый ряд преимуществ: возможность построения инфраструктуры на базе недорогого и распространённого оборудования, не требующего специальных профессиональных навыков персонала и возможность практически произвольного конфигурирования датчиков на стенах помещения в силу их малого размера и автономности. Передаваемые Bluetooth-устройством данные содержат довольно ёмкую информацию о его работе. Для решения задачи навигации наиболее важными элементами данных являются уникальный идентификатор наблюдаемого устройства и относительный уровень мощности принимаемого от него сигнала. Уровень принимаемого сигнала связан с дальностью «объект-датчик» известным логарифмическим соотношением. Особенности программной реализации рассматриваемой задачи с возможностью накопления и совместной обработки данных измерений за некоторый период времени делают возможным её сведение к методу наименьших квадратов. Такое представление позволяет априорно оценить характерную точность определения координат объекта при различных конфигурациях системы датчиков, используемых для навигации внутри помещения, что особенно важно на этапе проектирования соответствующей информационно-навигационной системы.

Данные расчётов и натурных экспериментов показывают, что характер навигационных измерений, доступных для устройств типа Bluetooth, даёт возможность качественного решения задачи наблюдения на характерных дальностях «объект-датчик», не превышающих 5–7 метров. При этом важны также условия наблюдения – взаимное расположение датчиков и объекта. В целом можно оптимистично оценить возможность построения навигационной системы на основе Bluetooth-устройств с использованием классических модельных представлений маячных дальномерных систем. При характерном расстоянии между маяками и объектом 5 м реально достижимая точность определения координат объекта составляет 1–2 м, что достаточно для традиционных задач навигации внутри зданий (построение пути, контекстная реклама).

**Ключевые слова и словосочетания:** информационная система, навигация внутри помещений, маячная система, Bluetooth, координаты, скорость, метод наименьших квадратов.

<sup>1</sup> Гриняк Виктор Михайлович – д-р техн. наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Института информационных технологий; e-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru.

<sup>2</sup> Гриняк Тимофей Михайлович – инженер-программист, 2-11-1, Shiba-koen Tower 1F, Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan; e-mail: tgrinyak@gmail.com.

<sup>3</sup> Цыбанов Павел Алексеевич – студент Института информационных технологий; e-mail: scanepson@yandex.ru.

V.M. Grinyak

Vladivostok State University of Economics and Service  
Vladivostok, Russia

T.M. Grinyak

JSC TeraRecon inc.  
Tokyo, Japan

P.A. Tsibanov

Vladivostok State University of Economics and Service  
Vladivostok, Russia

## Indoor positioning system based on bluetooth beacons

The paper is devoted to research of possibility to use Bluetooth devices for indoors navigation. Relying on alternative measurements such as Wi-Fi network, onboard accelerometers, Bluetooth devices are vastly used to solve positioning and navigation problems when there are limitations to use global positioning satellite systems (such as GPS). Recently the indoors navigation became a stand-alone subclass of the research problems with subset of developed math models and the implementation hardware. Even though there is a lot of interest in the solution of the problem, there are still no standard approach. Due to the accuracy limitations of the broadly available mobile devices applying inertial navigation approach would dramatically reduce variety of the hardware it could be used. Relying on available Wi-Fi networks for evaluation of navigation parameters also has accuracy limitations. However, using Bluetooth signal considered as way prospective for solving navigation problems. Due to the small size, relatively low prices of Bluetooth transmitters and signal features (indoors walls and bulkheads are not transparent) it is possible to deploy special indoors infrastructure for navigation purposes.

At this paper, there is a common model definition for the object movement at the superposition field of set of "visible" Bluetooth transmitter signals. For solutions, authors relay on linear approximation with applying Kalman's algorithm and least squares method. The research includes numerical experiment results for defined set of physical parameters of the system such as an error of evaluation of signal level, signal-sampling frequency typical for modern smartphones. There are results of 2D navigation modeling for 2 types of indoor geometry (big square room and long narrow corridor) with different configurations of navigation system (location of Bluetooth transmitters on the walls). The research covers 2 main problems: static and kinematic.

Identified significant dependency from navigation network configuration on the accuracy of location and velocity evaluation. Numerical experiment shows that the evaluation error of kinematic problem is about twice bigger than it is for static problem. The paper also present results of real experiments for static and kinematic problems with using SKYLAB Bacon VG01 Bluetooth transmitters and smartphone Samsung Galaxy S8. Real experiments confirmed that math model with linear approximation defined by authors is usable for solving indoors navigation problems using Bluetooth signal. The paper concludes that nature of the measurement available for Bluetooth signals is applicable for indoors accurate enough navigation for typical distances "object-beacon" in the range not more than 5–7 meters.

**Keywords:** information system, indoor navigation, beacons, Bluetooth, position, velocity, least squares method.

### Введение

Ещё два десятилетия назад задачи навигации решались почти исключительно в специальных и отраслевых интересах (авиация, судоходство). После появления и массового вхождения в обиход современных мобильных устройств (смартфоны) произошёл качественный скачок, и в настоящее время интерес к навигационным задачам проявляется со стороны очень широкого круга бытовых потребителей.

Внутри помещений не всегда доступны традиционные источники навигационных данных – спутниковые навигационные системы второго поколения (GPS,

Глонасс). В этом случае для определения местоположения объектов используются альтернативные источники навигационной информации: инерциальные навигационные средства (акселерометры, гироскопы), точки доступа в интернет Wi-Fi, устройства передачи данных Bluetooth, датчик давления, магнитометр и т.п. Их данные могут использоваться как по отдельности, так и совместно, в зависимости от решаемой задачи.

К настоящему времени навигация внутри помещений оформилась в самостоятельный класс задач [1]. С точки зрения информационных технологий эти задачи носят комплексный характер. Во-первых, они требуют разработки особых математических моделей и алгоритмов фундаментального характера для обеспечения навигационной компоненты. Во-вторых, для их реализации в виде информационных сервисов необходима разработка программных комплексов специальной архитектуры, учитывающей особенности программно-аппаратных платформ мобильных устройств.

Несмотря на повышенный интерес к задаче навигации внутри помещений со стороны исследователей и разработчиков, можно сказать, что к настоящему времени пока не выработаны стандартные методы её решения; это создаёт перспективы для инноваций. Среди имеющихся наработок в области навигации внутри помещений можно отметить следующие хорошо зарекомендовавшие себя подходы.

*Использование данных инерциальных датчиков.* В этом случае с помощью гироскопов и акселерометров мобильного устройства решаются различные варианты задачи инерциальной навигации [2]. Достоинством этого подхода являются автономность и отсутствие привязки к внешней инфраструктуре. Вместе с тем устройствам бытового назначения инерциальные измерения доступны лишь с большой погрешностью, что делает указанный подход практически полезным только для специальных устройств, оснащённых навигационными датчиками высокой точности.

*Использование данных Wi-Fi/Bluetooth.* Первый способ использования таких данных – решение задачи типа трилатерации. В этом случае исходными данными для оценки координат наблюдаемого объекта служат измерения дальностей «объект-датчик», при этом дальность оценивается по уровню принимаемого мобильным устройством сигнала [3]; такой способ аналогичен используемым, например, в гидроакустике [4]. Второй способ – определение местоположения объекта путём сравнения измеряемых уровней сигнала от окружающих датчиков с заранее измеренными значениями, привязанными к карте помещения (карта уровня сигналов, радиоотпечаток) [5, 6]. К достоинствам подхода можно отнести возможность использования уже развёрнутых сетей передачи данных (Wi-Fi). Недостатком являются высокая погрешность измерения уровня сигнала, дискретность данных карт уровня сигналов, принципиально ограничивающая точность навигации, и необходимость предварительной калибровки и настройки (обучения) системы.

Имеются сведения о попытках разработки других подходов, например, системы оптического типа, когда сравниваются данные сканирования помещения и изображения с камеры смартфона [7] или системы, основанной на навигации по

магнитному полю с помощью компаса смартфона [8], а также комбинирования в одной системе позиционирования нескольких подходов одновременно [9, 10].

Использование для задач навигации внутри помещений Bluetooth-устройств характеризуется целым рядом преимуществ: это возможность построения инфраструктуры на базе недорогого и распространённого оборудования, не требующего специальных профессиональных навыков персонала, и возможность практически произвольного конфигурирования датчиков на стенах помещения в силу их малого размера и автономности. Кроме того, дальность видимости Bluetooth-устройств невелика, а их сигнал практически не проходит сквозь капитальные стены, что полностью решает «проблему этажа».

В настоящей работе рассматривается модель задачи навигации внутри помещений по данным Bluetooth-устройств, основанная на измерениях уровня сигнала, интерпретирующего дальность «объект-датчик». Цель работы состоит в оценке характерной точности определения координат объекта в различных навигационных ситуациях и перспектив реализации подхода для тех или иных практических приложений.

### Основные модельные представления

Передаваемые Bluetooth-устройством данные содержат довольно ёмкую информацию о его работе [11]. С точки зрения обсуждаемой задачи наиболее важными элементами данных являются уникальный идентификатор наблюдаемого устройства и относительный уровень мощности принимаемого от него сигнала (единицей измерения, используемой в смартфонах, обычно служит дБм). Уровень принимаемого сигнала связан с дальностью «объект-датчик» следующим известным соотношением [12]:

$$u = u_* - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_*),$$

где  $u$  – уровень сигнала, принимаемого мобильным устройством (объектом) на расстоянии  $d$  от Bluetooth-устройства (датчика),  $u_*$  – уровень сигнала, измеренный на расстоянии  $d_*$  от устройства,  $n$  – коэффициент, учитывающий распространение сигнала в окружающей среде. Значения параметров  $d_*$  и  $u_*$  – калибровочные расстояние и уровень сигнала – являются техническими характеристиками конкретного устройства, значение коэффициента затухания  $n$  также считается известным. В принципе, эти значения могут быть определены при калибровке устройства.

Введём правую ортогональную систему координат  $x, y$ , связанную с помещением. Пусть имеется  $N$  датчиков, «видимых» мобильным устройством. Дальность «объект-датчик» связана с координатами объекта и датчика следующим образом:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, i = \overline{1, N},$$

где  $x, y$  – координаты объекта,  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го датчика.

Уравнения измерений будут иметь вид:

$$u_i(t_k) = u_{*i} - 10 \cdot n \cdot \log_{10} (\sqrt{(x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2} / d_{*i}) + \eta_i(t_k), \quad (1)$$

где  $u_i(t_k)$  – уровень сигнала  $i$ -го датчика, принимаемого на объекте в момент времени  $t_k$ ;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го датчика;  $x(t_k), y(t_k)$  – координаты объекта в момент времени  $t_k$ ;  $u_{*i}$  и  $d_{*i}$  – калибровочные значения уровня сигнала и расстояния  $i$ -го датчика;  $\eta_i(t_k)$  – инструментальная погрешность измерения  $i$ -го датчика, отнесённая к моменту времени  $t_k$ ;  $k = \overline{1, M}$ ,  $M$  – число измерений от каждого датчика.

Положим, что движение объекта описывается следующей кинематической моделью:

$$\begin{aligned} x(t_{k+1}) &= x(t_k) + v_x(t_k)(t_{k+1} - t_k), \\ y(t_{k+1}) &= y(t_k) + v_y(t_k)(t_{k+1} - t_k), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x(t_k), y(t_k)$  – координаты объекта в момент времени  $t_k$ ,  $v_x(t_k), v_y(t_k)$  – компоненты вектора скорости объекта.

Линеаризация уравнения (1) приводит его к виду:

$$\begin{aligned} \delta u_i(t_k) &= \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (x(t_k) - x_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta x(t_k) + \\ &+ \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (y(t_k) - y_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta y(t_k) + \eta_i(t_k), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\delta x(t_k), \delta y(t_k)$  – погрешности априорных представлений о координатах объекта;  $\delta u_i(t_k)$  – невязка измерения.

Особенности программной реализации рассматриваемой задачи с возможностью накопления и совместной обработкой данных измерений за некоторый период времени делают возможным её сведение к методу наименьших квадратов. Запишем уравнения (3) с учётом модели эволюции координат объекта (2):

$$\begin{aligned} \delta u_i(t_k) &= \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (x(t_k) - x_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta x(t_*) + \\ &+ \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (x(t_k) - x_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} (t_k - t_*) \delta v_x(t_*) + \\ &+ \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (y(t_k) - y_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta y(t_*) + \\ &+ \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (y(t_k) - y_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} (t_k - t_*) \delta v_y(t_*) + \eta_i(t_k), \end{aligned}$$

или, в общем случае:

$$\delta \mathbf{Z} = \mathbf{H} \delta \mathbf{s}(t_*) + \boldsymbol{\xi}, \quad (4)$$

где  $\delta \mathbf{Z}$  – полный вектор (длины  $M \times N$ ) невязок измерений на интервале наблюдения;  $\delta \mathbf{s}(t_*)$  – вектор погрешностей априорных представлений о состоянии системы (координатах и скоростях объекта) в выбранный момент времени  $t_*$ ;  $\mathbf{H}$  – матрица коэффициентов;  $\boldsymbol{\xi}$  – вектор приведённых погрешностей измерений. Целью решения задачи (4) является оценка вектора  $\mathbf{s}(t_*)$  по имеющимся измерениям уровней сигнала  $u_i(t_k)$ . Эта оценка может быть выполнена, например, путём сведения задачи к системе линейных алгебраических уравнений:

$$\mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \delta \mathbf{Z} = \mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{H} \delta \mathbf{s}(t_*) \quad (5)$$

и её решения известными способами. Здесь  $\mathbf{Q} = \text{mean}[\xi \xi^T]$  – ковариационная матрица случайного вектора  $\xi$ , определяется свойствами инструментальных погрешностей измерений  $\eta_i(t_k)$  и считается известной. Матрица  $\mathbf{D} = (\mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{H})^{-1}$  определяет при этом дисперсию погрешности оценки вектора состояния  $\delta \hat{\mathbf{s}}(t_*)$ , так что  $\mathbf{D} = \text{mean}[(\delta \hat{\mathbf{s}}(t_*) - \delta \mathbf{s}(t_*))(\delta \hat{\mathbf{s}}(t_*) - \delta \mathbf{s}(t_*))^T]$  mean – оператор математического ожидания. Как показывают приведённые ниже результаты исследования, значения соответствующих коэффициентов матрицы  $\mathbf{D}$  позволяют оценить характерную точность определения координат объекта при различных конфигурациях системы датчиков, используемых для навигации внутри помещения.

### Результаты численного моделирования

Численное исследование задачи проводилось для следующих значений параметров: инструментальная погрешность измерений датчиков имеет нормальное распределение с дисперсией  $25 \text{ дБм}^2$ ; частота обновления данных об уровне сигнала равна  $0,07 \text{ с}$ , что характерно для современных смартфонов; количество измерений  $M$  от каждого датчика равно  $28$ , что соответствует длине интервала наблюдения приблизительно  $2 \text{ секунды}$ .

На рисунке 1 показано моделируемое расположение датчиков; имитируется типичная ситуация холла или комнаты размером  $10 \times 10 \text{ м}$ .

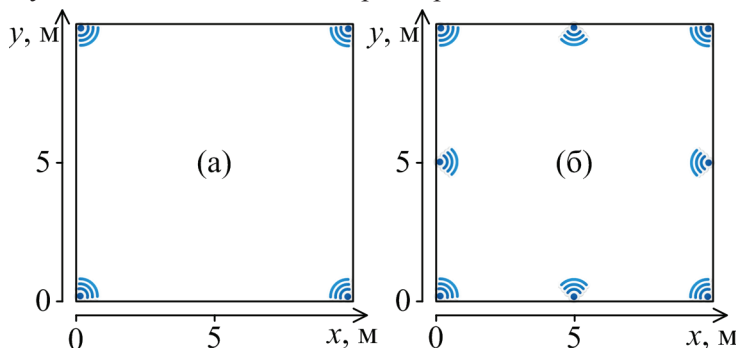


Рис. 1. Варианты расположения датчиков в помещении типа «холл» или «комната»

Датчики «наклеены» на стены в различных конфигурациях: в углах комнаты (рис. 1а), в углах и на стенах комнаты (рис. 1б). При этом считается, что датчики расположены в одной плоскости с движущимся объектом (или достаточно близко к этой плоскости), что даёт возможность ограничиться только двумерным вариантом модели рассматриваемой задачи.

Будем рассматривать два варианта вектора состояния  $\mathbf{s}(t_k)$ : с компонентами, включающими координаты и скорости объекта (кинематическая задача), и с компонентами, включающими только координаты (статическая задача).

На рисунке 2 показаны вычисленные согласно (5) значения средней погрешности оценивания координат объекта  $\sigma_{xy}$  в кинематической задаче при нахождении (движении) объекта в комнате (рис. 1). При этом рис. 2а соответствует конфигу-

рации датчиков рис. 1а, а рис. 2б – конфигурации 1б. Величина  $\sigma_{xy}$  принимает значения от 1,9 до 2,5 метров для случая четырёх датчиков и от 0,9 до 1,2 метра для комнаты с восемью датчиками.

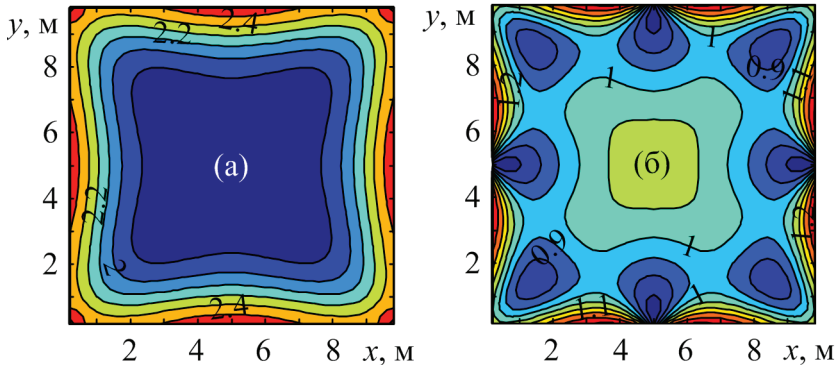


Рис. 2. Погрешность определения координат в помещении типа «комната» при оценке координат и скоростей объекта

Аналогичные данные приведены на рис. 3 – показаны значения величины  $\sigma_{xy}$  в статической задаче. Видно, что в последнем случае они примерно в два раза меньше, чем в кинематической задаче.

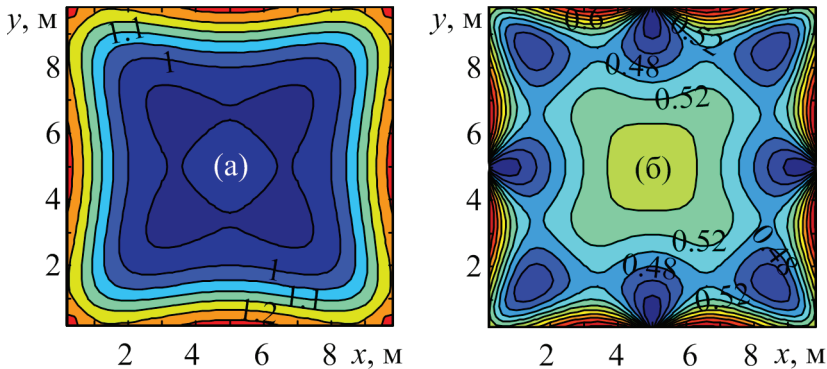


Рис. 3. Погрешность определения координат в помещении типа «комната» при оценке только координат объекта

В целом ожидаемую погрешность оценивания координат следует признать приемлемой для большого числа практических приложений.

### Результаты натурного эксперимента

При проведении натурных исследований использовались Bluetooth-маяки SKYLAB Beacon VG01 [13] и мобильный телефон Samsung Galaxy S8 на платформе Android. На рисунке 4 показан результат оценки координат объекта в помещении типа «комната» при решении кинематической задачи. Точками показаны оценки местоположения объекта (100 точек – 100 последовательных решений задачи), при этом объект находился в середине комнаты (красный кружок). Рисунок 4а соот-



ветствует случаю четырёх маяков по углам комнаты (рис. 1а), рис. 4б – случаю восьми маяков (рис. 1б).

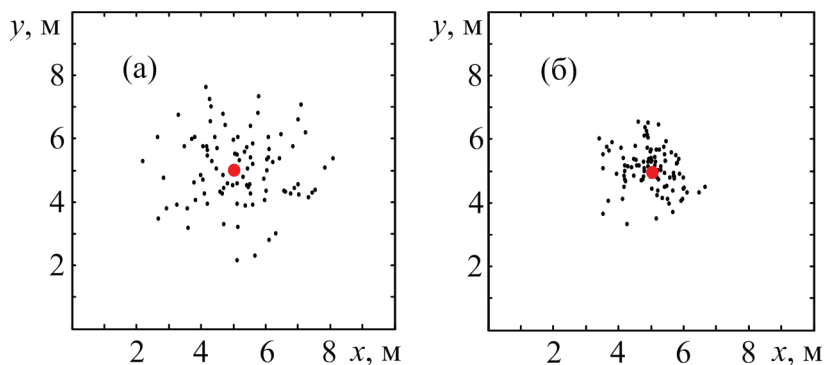


Рис. 4. Результаты оценки координат объекта в помещении типа «комната» при оценке координат и скоростей объекта

На рисунке 5 показан аналогичный результат оценки координат объекта при решении статической задачи.

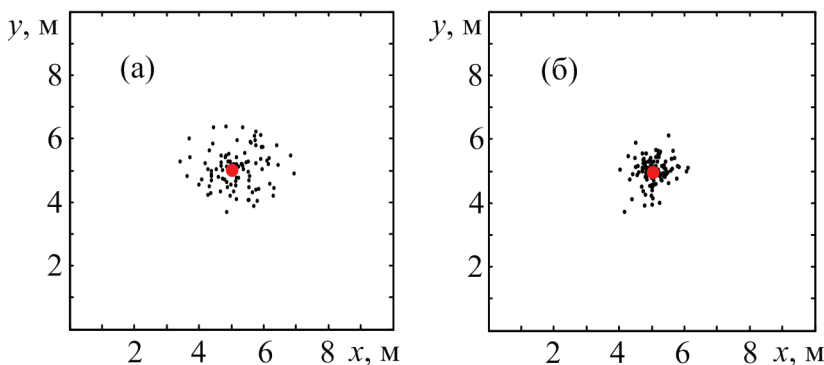


Рис. 5. Результаты оценки координат объекта в помещении типа «комната» при оценке только координат объекта

Из результатов проведённых испытаний можно сделать вывод о том, что погрешность оценки координат объекта в натурном эксперименте полностью соответствует предсказанной расчётами. Для этого достаточно соотнести данные рис.2 и 4, 3 и 5; видно, что погрешность оценки координат укладывается в круг с радиусом  $2\sigma_{xy}$ . Это подтверждает возможность использования таких оценок при проектировании навигационной системы рассматриваемого типа.

Точность решения статической задачи существенно выше (примерно в 2 раза), чем кинематической. С другой стороны, игнорирование в модели задачи скорости объекта при его реальном движении приводит к её неудовлетворительному решению. Поэтому при разработке приложения, осуществляющего навигацию мобильного устройства, следует обязательно реализовать идентификацию модели движения: для покоящихся на интервале наблюдения объектов ограничиваться



статической моделью задачи, для движущихся – использовать кинематическую модель.

### **Заключение**

Результаты настоящего исследования позволяют оптимистично оценить возможность построения навигационной системы на основе Bluetooth-маяков с использованием классических модельных представлений маячных дальномерных систем. При характерном расстоянии между маяками и объектом 5 м реально достижимая точность определения координат объекта составляет 1–2 м, что достаточно для традиционных задач навигации внутри зданий (построение пути, контекстная реклама). Дальнейшее повышение точности навигации может быть связано с уменьшением случайной компоненты инструментальных ошибок измерений путём идентификации модели сигнала и применения различных алгоритмов фильтрации. Улучшение в перспективе точности навигации до значений порядка 0,5 м позволило бы качественно расширить возможный круг решаемых задач.

Следует также отметить, что построение навигационной системы рассматриваемого типа всегда связано с привязкой датчиков к местной локальной системе координат (выставкой системы). Такая привязка может быть осуществлена различными известными способами, в том числе описанными в работах авторов [14–16].

- 
1. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation [Электронный ресурс]. URL: <http://ipin-conference.org/>
  2. Навигационный алгоритм с использованием планов зданий и данных автономных датчиков / П. Дэвидсон, М. Киркко-Яаккола, Ю.З. Коллин, Я. Такала // Гироскопия и навигация. 2015. № 1. С. 29–42.
  3. Щёколов М.С., Кашевник А.М. Сравнительный анализ систем позиционирования смартфонов в помещениях // Труды СПИИРАН. 2012. № 4. С. 459–471.
  4. Матвиенко Ю.В., Ваулин Ю.В., Каморный А.В. Градуировка навигационных средств подводных роботов // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 1. С. 16–22.
  5. Мурашко И.А., Храбров Д.Е. Методика локального позиционирования на основании Wi-Fi-сети университета // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2: Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, Вылічальна тэхніка і кіраванне. 2015. № 2. С. 119–127.
  6. Ассур О.С., Филаретов Г.Ф. Разработка комплексного метода позиционирования объектов по данным беспроводных сетей Wi-Fi и устройств BLE (Bluetooth Low Energy) // Известия Института инженерной физики. 2015. № 2. С. 2–10.
  7. Indoor three-dimensional location estimation based on LED visible light communication / Yang S.H., Jeong E.M., Kim D.R., Kim H.S., Son Y.H., Han S.K. // Electronics Letters. 2013. № 49(1). P. 54–56.
  8. Magnetic field anomalies. URL: <http://www.gizmag.com/magneticanomaly-indoor-positioning/23253/>

9. Петрова О.А., Табунщик Г.В., Ван Мероде Д. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения // Электротехнические и компьютерные системы. 2017. № 25. С. 270–278.
10. Retscher G. Test and Integration of Location Sensors for a Multi-Sensor Personal Navigator // Journal of Navigation. 2007. Vol. 60. № 1. P. 107–117.
11. Протоколы Bluetooth [Электронный ресурс]. URL <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/Wireless/bluetooth/7.htm>
12. Motley A.J., Keenan J.M.P. Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz // Electronics Letters. 1988. Vol. 24. № 12. P. 763–764.
13. Skylab Beacon virgo|beacon for indoor position. URL: <http://www.skylabmodule.com/beacon-virgo/>
14. Grinyak V.M., Devyatisil'nyj A.S. Dynamic adjustment of multiposition observing system with respect to trajectory measurements // Journal of Computer and Systems Sciences International. 1999. Vol. 38. № 1. P. 124–130.
15. Гриняк В.М., Гриняк Т.М., Иваненко Ю.С. Динамическая выставка многопозиционной системы наблюдения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 3. С. 12.
16. Гриняк В.М., Лаврушина Е.Г., Богданова О.Б. Выставка многопозиционной системы наблюдения по траекторным измерениям // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2017. № 4. С. 188–200.

## Транслитерация

1. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. URL: <http://ipin-conference.org/> (01.04.2018).
2. Davidson P., Kirkko-Yaakkola M., Kollin Yu.3, Takala Ya. Navigatsionnyi algoritm s ispol'zovaniem planov zdaniy i dannykh avtonomnykh datchikov, *Giroskopiya i navigatsiya*, 2015, No 1, pp. 29–42.
3. Shchekotov M.S., Kashevnik A.M. Sravnitel'nyi analiz sistem pozitsionirovaniya smartfonov v pomeshcheniyakh, *Trudy SPIIRAN*, 2012, No 4, pp. 459–471.
4. Matvienko Yu.V., Vaulin Yu.V., Kamornyi A.V. Graduirovka navigatsionnykh sredstv podvodnykh robotov, *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika*, 2015, No 1, pp. 16–22.
5. Murashko I.A., Khrabrov D.E. Metodika lokal'nogo pozitsionirovaniya na osnovanii Wi-Fi-seti universiteta, *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhaynaga yuniversiteta imya Yanki Kupaly. Ser/ 2: Matematyka. Fizika. Infarmatyka, Vylichal'naya tekhnika i kiravanne*, 2015, No 2, pp. 119–127.
6. Assur O.S., Filaretov G.F. Razrabotka kompleksnogo metoda pozitsionirovaniya ob"ektov po dannym besprovodnykh setei Wi-Fi i ustroystv BLE (Bluetooth Low Energy), *Izvestiya Instituta inzhenernoi fiziki*, 2015, No 2, pp. 2–10.
7. Yang S.H., Jeong E.M., Kim D.R., Kim H.S., Son Y.H., Han S.K. Indoor three-dimensional location estimation based on LED visible light communication, *Electronics Letters*, 2013, No 49(1), pp. 54–56.
8. Magnetic field anomalies. URL: <http://www.gizmag.com/magneticanomaly-indoor-positioning/23253/>

9. Petrova O.A., Tabunshchik G.V., Van Merode D. Metod opredeleniya tekushchego raspolozheniya v sistemakh pozitsionirovaniya i navigatsii vnutri pomeshcheniya, *Elektrotekhnicheskie i komp'yuternye sistemy*, 2017, No 25, pp. 270–278.
10. Retscher G. Test and Integration of Location Sensors for a Multi-Sensor Personal Navigator, *Journal of Navigation*, 2007, Vol. 60, No 1, pp. 107–117.
11. Protokoly Bluetooth. URL <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/Wireless/bluetooth/7.htm>
12. Motley A.J., Keenan J.M.P. Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz, *Electronics Letters*, 1988, Vol. 24, No 12, pp. 763–764.
13. Skylab Beacon virgo|beacon for indoor position. URL: <http://www.skylabmodule.com/beacon-virgo/>
14. Grinyak V.M., Devyatisil'nyj A.S. Dynamic adjustment of multiposition observing system with respect to trajectory measurements, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 1999, Vol. 38, No 1, pp. 124–130.
15. Grinyak V.M., Grinyak T.M., Ivanenko Yu.S. Dinamicheskaya vystavka mnogopozitsionnoi sistemy nablyudeniya, *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii*, 2017, No 3, p. 12.
16. Grinyak V.M., Lavrushina E.G., Bogdanova O.B. Vystavka mnogopozitsionnoi sistemy nablyudeniya po traektornym izmereniyam, *Territoriya novykh vozmozhnostei. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa*, 2017, No 4, pp. 188–200.

© В.М. Гриняк, 2018

© Т.М. Гриняк, 2018

© П.А. Цыбанов, 2018

**Для цитирования:** Гриняк В.М, Гриняк Т.М., Цыбанов П.А. Позиционирование внутри помещений с помощью Bluetooth-устройств // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2018. Т. 10. № 2. С. 137–147.

For citation: Grinyak V.M., Grinyak T.M., Tsibanov P.A. Indoor positioning system based on bluetooth beacons, *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*, 2018, Vol. 10, No 2, pp. 137–147.

DOI [dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2018-2/137-147](https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2018-2/137-147)

Дата поступления: 30.05.2018.