

Приборы и системы измерения на основе акустических, оптических и радиоволн

УДК 621.396.13

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79>

Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении

Д. С. Брагин, И. В. Поспелова, И. В. Черепанова[✉], В. Н. Серебрякова

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный
исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия

[✉] iv-sushkova@mail.ru

Аннотация

Введение. Определение местоположения объектов в закрытом помещении играет большую роль во многих сферах деятельности человека, в том числе и в медицине. Использование технологий локального позиционирования в составе телемедицинских систем позволяет повысить качество оказания медицинской помощи и снизить смертность пациентов, что способствует достижению целей, обозначенных в государственной программе Российской Федерации "Развитие здравоохранения".

Цель работы. Анализ применимости современных радиочастотных технологий для определения местоположения пациента в здании стационара.

Материалы и методы. В ходе выполнения данной работы анализируются научные источники, посвященные локальному позиционированию на базе радиочастотных технологий. Используемые методы включают в себя:

- библиографический поиск;
- отбор и проверку источников с учетом их актуальности, соответствия тематике и авторитетности;
- анализ источников с использованием методов деконструкции и сравнительного анализа.

Результаты. Результат анализа показывает, что радиочастотные технологии позиционирования позволяют определять местоположение объектов, используя свойства радиоволн. Основным недостатком данной технологии заключается в том, что из-за проникновения радиосигналов сквозь стены и перекрытия приходится использовать сложные вычислительные алгоритмы для обнаружения объекта с точностью до конкретного помещения. Несмотря на данный недостаток, радиочастотные технологии могут применяться для позиционирования в медицинских учреждениях, так как они просты в развертывании и обслуживании и используются в готовых коммерческих решениях. Исключением является технология ZigBee, так как она не позволяет отслеживать подвижные объекты в режиме реального времени.

Заключение. На основе проведенного исследования сделан вывод о том, что технология BLE является наиболее подходящей для позиционирования в медицинских учреждениях, так как она обладает низким энергопотреблением, достаточно высокой скоростью передачи данных, хорошим радиусом связи и большим выбором готового коммуникационного оборудования. Также стоит отметить, что большинство беспроводных медицинских датчиков осуществляют обмен данными через интерфейс BLE.

Ключевые слова: IPS, Wi-Fi, BLE, ZigBee, RFID, UWB, NFER

Для цитирования: Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении / Д. С. Брагин, И. В. Поспелова, И. В. Черепанова, В. Н. Серебрякова // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 3. С. 62–79. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Статья поступила в редакцию 22.04.2020; принята к публикации после рецензирования 10.05.2020;
опубликована онлайн 29.06.2020

© Брагин Д. С., Поспелова И. В., Черепанова И. В., Серебрякова В. Н., 2020



Radiofrequency Technologies of Local Positioning in Healthcare

Dmitriy S. Bragin, Irina V. Pospelova, Irina V. Cherepanova[✉], Victoria N. Serebryakova

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research
Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

[✉] iv-sushkova@mail.ru

Abstract

Introduction. Localization of objects position in closed space plays an important role in many areas of human activity, including medicine. Using indoor-positioning technologies as a part of telemedicine systems allows one to improve the quality of medical care and to reduce mortality of patients. Therefore, indoor-positioning technologies contribute to achieve the goals outlined in the Russian Federation government`s program "Healthcare development".

Aim. To study the applicability of modern radiofrequency technologies for localization of patients inside a hospital building.

Materials and methods. Scientific sources devoted to indoor-positioning based on radiofrequency technologies were analyzed. The methods used included:

- bibliographic retrieval;
- selection and verification of sources based on their relevance;
- analysis of sources by methods of deconstruction and comparative analysis .

Results. The result of the analysis indicated that radiofrequency positioning technologies allow one to locate objects using radio waves properties. The disadvantage of the technology is the penetration of radio signal through walls and floors. Given this, it is necessary to use complex algorithms to detect an object with accuracy to a specific room. Despite this disadvantage, radiofrequency technologies can be used for positioning in medical facilities since they are easy in deployment and service. Also, they are used in ready-made commercial solutions. ZigBee technology is an exception because it does not allow one to track moving objects in real-time.

Conclusion. Based on the study it was concluded that BLE technology is the most suitable for indoor-positioning in medical facilities. It is energy-efficient, it has sufficiently fast data transfer rate, good communication radius and a large range of ready-made communication equipment. It is also worth noting that most wireless medical sensors exchange data via the BLE interface.

Key words: IPS, Wi-Fi, BLE, ZigBee, RFID, UWB, NFER

For citation: Bragin D. S., Pospelova I. V., Cherepanova I. V., Serebryakova V. N. Radiofrequency Technologies of Local Positioning in Healthcare. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2020, vol. 23, no. 3. pp. 62–79. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79

Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Submitted 22.04.2020; accepted 10.05.2020; published online 29.06.2020

Введение. Проблема локального позиционирования приобретает все большую актуальность в современном мире. Технологии глобального позиционирования не подходят для решения данной задачи в силу ряда факторов. Стены и перекрытия помещения, а также электромагнитный шум, связанный с использованием бытовой и электрической техники, вызывают помехи и снижают точность позиционирования до десятков, а иногда и сотен метров. Вследствие этого возникает необ-

ходимость использования решений, способных обеспечить более высокую точность позиционирования.

В настоящее время существует множество технологий, на базе которых разрабатываются программно-аппаратные системы позиционирования объектов внутри помещения, именуемые IPS (Indoor Positioning System). Выбор той или иной технологии зависит от области применения IPS.

Локализация объектов внутри помещений актуальна также для сферы медицины и здравоохранения. Использование indoor-позиционирования в медицинских учреждениях позволит определять местоположение пациентов в режиме реального времени и оказывать им своевременную медицинскую помощь. Использование IPS в составе телемедицинских систем позволит повысить качество оказания медицинской помощи и снизить смертность пациентов, что способствует достижению целей, обозначенных в государственной программе Российской Федерации "Развитие здравоохранения".

Существует множество технологий indoor-позиционирования, включающих в себя [1–6]:

- оптическое позиционирование, основанное на свойствах светового излучения;
- инерциальное позиционирование, основанное на оценке текущей позиции объекта с учетом его ранее известной позиции, скорости и направления движения;
- радиочастотное позиционирование, позволяющее определять местоположение объектов при помощи радиоволн различной частоты;
- позиционирование, основанное на свойствах ультразвука и акустики;
- позиционирование на базе машинного зрения;
- позиционирование, основанное на свойствах магнитного поля Земли (магнитометрия);
- гибридное позиционирование, которое может объединять несколько разных технологий.

В настоящей статье проведен анализ наиболее распространенных технологий радиочастотного позиционирования с точки зрения возможности их применения для определения местонахождения пациентов внутри здания стационара в режиме реального времени.

Выбор оценочных критериев. Для оценки применимости оптической технологии для indoor-позиционирования внутри медицинских учреждений необходимо обозначить ряд следующих критериев:

- точность позиционирования: определение местоположения объектов должно выполняться с точностью до конкретного помещения и не должно превышать 1...2 м;
- возможность однозначной идентификации контролируемых объектов;
- радиус действия связи;

- помехоустойчивость: медицинские учреждения оборудованы техникой, которая может создавать сильные электромагнитные помехи, приводящие к ухудшению качества связи и значительному снижению точности позиционирования;

- безопасность канала связи: технология должна обеспечивать безопасную передачу данных;

- высокая пропускная способность канала связи: скорость передачи данных должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить позиционирование в режиме реального времени;

- небольшие масса и габариты используемого оборудования;

- низкий уровень энергопотребления;

- простота развертывания и обслуживания IPS.

Описание радиочастотной технологии. Технология радиочастотного позиционирования позволяет определять местоположение объекта с помощью радиоволн. Все IPS на базе радиочастотной технологии имеют схожую архитектуру (рис. 1).

По периметру помещения устанавливаются широкополосные базовые станции (якоря), координаты которых заранее известны. Количество используемых якорей и принцип их размещения определяются на этапе проектирования IPS и могут различаться для разных помещений. На схему размещения якорей могут оказывать влияние такие факторы, как планировка помещения, специфика используемого оборудова-

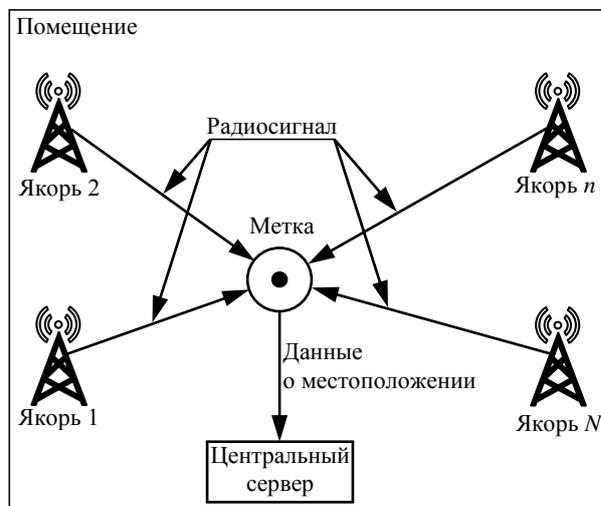


Рис. 1. Обобщенная архитектура IPS на базе радиочастотной технологии

Fig. 1. Generalized architecture of IPS based on radiofrequency technology

ния, зашумленность радиозфира вследствие использования электрооборудования и т. д. Объект позиционирования снабжается переносным устройством (меткой). Базовые станции транслируют в окружающую среду радиосигнал, который принимается меткой. На основе данных, полученных меткой, вычисляется местоположение объекта позиционирования. Сам процесс вычисления может осуществляться либо на стороне метки (если в ее состав входит вычислительное устройство), либо на стороне центрального сервера. В первом случае метка пересылает на центральный сервер свои координаты, во втором – данные, полученные от базовых станций. Основная функция центрального сервера заключается в отображении текущего местоположения метки в пространстве.

Сам процесс позиционирования состоит из двух этапов: определение расстояния между источником и приемником сигнала и определение местоположения приемника относительно источника. Для определения расстояния между приемником и передатчиком радиочастотного сигнала используются следующие методы [4]:

– RSSI (received signal strength indicator) – метод определяет расстояние до объекта за счет показателя уровня принимаемого сигнала. Чем выше мощность, тем ближе источник сигнала и наоборот;

– AOA (angle of arrival) – метод определяет расстояние по углу падения сигнала на поверхность приемника [1];

– TOA (time of arrival) – метод определяет расстояние до объекта по времени прохождения сигнала от передатчика к приемнику;

– TDOA (time difference of arrival) – метод используется в системах с тремя и более приемниками. Расстояние до источника сигнала определяется за счет разницы во времени прибытия сигнала на разные приемники.

Для локализации объектов относительно источника радиочастотная технология использует следующие алгоритмы [4, 7]:

– трилатерация: позволяет определить местонахождение приемника по трем источникам сигнала. Для оценки местоположения приемника выбираются три базовые станции с наибольшим уровнем принимаемого сигнала. Вычисление координат приемника базируется на геометрических расчетах. На первом шаге алгоритма измеряется расстояние от приемника до каждого из трех источников сигнала. Каждое расстояние

принимается за радиус окружности с центром в области источника радиосигнала. Приемник находится в точке пересечения трех окружностей. Зная координаты центра и радиус каждой окружности, можно рассчитать местоположение приемника;

– триангуляция: алгоритм схож с трилатерацией и также основан на геометрических расчетах. Главным отличием является тот факт, что в качестве исходных данных алгоритм использует измеренные углы прихода сигналов;

– дактилоскопическая идентификация, включающая в себя два этапа. На первом этапе выполняется предварительное измерение уровней сигнала всех базовых станций, входящих в состав системы, в разных местах помещения, и последующая запись этой информации в базу данных. Каждое измеренное значение является уникальным, и впоследствии по нему можно будет определить положение искомого объекта в пространстве. Не существует четких требований к выбору координат точек измерений и к их количеству, так как эти характеристики зависят от особенностей отдельного помещения и подбираются индивидуально [4, 6]. Сбор данных для составления базы является трудоемким процессом и может осуществляться как вручную, так и посредством алгоритмов машинного обучения. На втором этапе приемник измеряет уровень сигнала до доступных ему базовых станций и эти значения сравниваются со значениями из базы данных. Местоположение приемника определяется, если в базе данных нашлось хотя бы одно совпадение с характеристиками сигнала, измеренными приемником;

– приближение: основывается на анализе сигналов от базовых станций, координаты которых заранее известны. В наиболее простой реализации алгоритма приближения, описанной в [7, 8], приемник измеряет уровни сигналов, поступающих от доступных базовых станций, и станция, принимаемый сигнал от которой обладает наибольшим уровнем, считается ближайшей. После того как обнаружена ближайшая базовая станция, ее координаты считаются координатами искомого объекта. Если приемник фиксирует несколько сигналов, имеющих одинаковую интенсивность, считается, что он находится посередине между передатчиками. Данный алгоритм имеет наименьшую точность, но очень прост в реализации и отличается небольшой вычислительной сложностью. Некоторые системы используют алгоритм приближения для того, чтобы установить

близость объекта позиционирования относительно той или иной базовой станции, но вычисление координат выполняется с использованием более точных алгоритмов [4, 9].

Для повышения точности позиционирования в радиочастотных IPS могут использоваться дополнительные программные фильтры (фильтр Калмана, фильтр частиц и др.).

К достоинствам радиочастотного позиционирования можно отнести:

- простоту развертывания и обслуживания;
- низкую стоимость оборудования;
- возможность использования в ряде технологий уже имеющихся инфраструктуры и оборудования.

Недостатки радиочастотного позиционирования:

- низкая помехоустойчивость. К помехам можно отнести многолучевое отражение сигнала, помехи от бытовой техники и медицинского оборудования, а также помехи от других источников радиосигнала, работающих на одинаковой частоте;
- низкая точность позиционирования в связи со значительным уровнем и прохождением радиосигнала сквозь стены и перекрытия. В связи с этим возникают трудности в идентификации объекта с точностью до конкретной комнаты.

К наиболее часто используемым радиочастотным технологиям позиционирования относят [1, 4, 10, 11]:

- Wi-Fi;
- Bluetooth, Bluetooth low energy (BLE);
- ZigBee;
- Radiofrequency identification (RFID);
- UWB (Ultra Wide Band);
- NFER (Near-Field Electromagnetic Ranging).

Технология Wi-Fi основана на семействе стандартов IEEE 802.11 и использует частотные диапазоны 2.4 и 5 ГГц. Сеть на базе Wi-Fi соответствует централизованной модели, где существует одна или несколько точек доступа (базовых станций) и множество подключенных клиентов. Каждая точка доступа периодически рассылает по сети широковещательные кадры-маяки, чтобы сообщить потенциальным клиентам о своем присутствии. Таким образом, клиенты могут обнаружить точку доступа и подключиться к беспроводной сети [3, 11–13].

Для определения расстояния между клиентом и точкой доступа технология использует методы

RSS и TOA/TDOA [11, 12, 14]. В качестве алгоритмов позиционирования чаще всего используют трилатерацию/мультилатерацию, триангуляцию, дактилоскопическую идентификацию, метод k -ближайших соседей, метод центроида [4, 7, 12, 15, 16]. Наибольшую точность позиционирования из всех рассмотренных алгоритмов обеспечивает алгоритм дактилоскопической идентификации [4, 12, 15]. Принципы функционирования алгоритмов трилатерации, триангуляции и дактилоскопической идентификации были описаны ранее.

Метод k -ближайших соседей относится к одному из методов машинного обучения. Он основан на обнаружении k объектов по отношению к текущей геопозиции объекта [7, 13]. Клиент сканирует пространство в поисках всех доступных базовых станций. Далее вычисляются мощности сигнала и расстояния от клиента до каждой базовой станции. После вычислений составляется набор из k местоположений с наименьшим расстоянием до объекта позиционирования. Текущие координаты объекта вычисляются путем аппроксимации координат выбранных базовых станций.

Метод центроида является модификацией метода k -ближайших соседей, а также одним из методов машинного обучения. Предполагаемая область позиционирования объекта представляет геометрическую фигуру, образованную соседними точками доступа. Координаты объекта позиционирования вычисляются как среднее положение относительно всех точек полученной геометрической фигуры. Центроид может быть взвешенным. В качестве веса для каждого ребра фигуры устанавливается мощность принимаемого сигнала [7, 14].

В [13] авторы предлагают новый алгоритм позиционирования, отличный от уже существующих, основанный на применении методов пространственного анализа. Клиент сканирует помещение, определяет количество точек доступа и уровни их сигналов, используя метод RSS. На основе полученных данных строится своеобразная карта помещения, которая делится на прямоугольные участки площадью 1×1 м, называемые пикселями. Далее путем многомерной фильтрации на карте выбираются пиксели, в которых уровень мощности сигнала соответствует допустимым значениям. Предполагается, что для каждой точки доступа на карте существует один или несколько пикселей с соответствующей мощностью

принимаемого сигнала. Способ дальнейшего позиционирования зависит от количества обнаруженных пикселей. Если не найдено ни одного такого пикселя, то клиент сканирует окружающее пространство до тех пор, пока не обнаружит хотя бы один пиксель. Если количество пикселей равно 1 или 2, то координаты объекта будут вычисляться как среднее значение между координатами найденных пикселей. Если количество найденных пикселей больше трех, то положение объекта вычисляется согласно алгоритму k -ближайших соседей. Согласно результатам экспериментов точность алгоритма, предложенного авторами, составляет в среднем около 2 м.

В [15] рассматривается инновационный метод позиционирования, основанный на определении местоположения объекта в момент времени, когда он находится между двумя базовыми станциями. Для расчета координат объекта используются базовые станции, располагающиеся на одном и том же этаже. Станции фиксируют уровень мощности сигнала от объекта позиционирования и друг от друга. Предполагается, что расстояние между базовыми станциями известно. На основании результатов измерений определяется коэффициент потери мощности принимаемого сигнала, характеризующий расстояние между базовыми станциями и мобильным устройством. Результаты экспериментов показали, что описанный метод позволяет позиционировать подвижные объекты с погрешностью 0.5...1 м.

Существует ряд систем, где технология Wi-Fi совмещается с другими технологиями позиционирования. В [17] описывается IPS на базе гибридации Wi-Fi и машинного зрения. В качестве алгоритма позиционирования со стороны Wi-Fi выступает дактилоскопическая идентификация, а машинное зрение позволяет определять местоположение объекта с точностью до конкретного помещения.

В [16] описывается IPS, совмещающая Wi-Fi и инерциальные датчики. Система включает в себя метку и точки доступа Wi-Fi, установленные по периметру помещения. Метка представляет собой устройство, оборудованное микросхемой Wi-Fi и акселерометром. Метка находится в спящем состоянии до тех пор, пока акселерометр не зафиксирует движение носителя маяка. В процессе движения носителя метка ищет доступные базовые станции и измеряет мощность принимаемого сигнала. Полученные измерения

пересылаются на сервер, где вычисляются координаты объекта позиционирования. В качестве алгоритма позиционирования используется триангуляция и метод взвешенного центраида. Акселерометр в данной системе решает проблему энергосбережения метки.

Преимущества IPS на базе технологии Wi-Fi:

- можно использовать уже существующую сетевую инфраструктуру [5, 7, 12, 13, 18], что снижает затраты на разработку и развертывание системы;

- в качестве активного маяка можно использовать смартфон [3–5, 7, 11–15, 17, 18];

- низкая стоимость оборудования для развертывания сети [7, 12].

К недостаткам технологии можно отнести:

- низкую точность позиционирования (погрешность может составлять 3...25 м) [5, 12, 15, 18];

- пространственную неоднородность сигнала, связанную с разнородностью используемого оборудования [7, 15], а также с поглощением сигнала препятствиями и многолучевым отражением [13]. Для повышения точности позиционирования необходимо обеспечить высокую плотность покрытия помещения точками доступа [12, 15];

- высокую загруженность сети [2, 12];

- высокое энергопотребление [2];

- высокую динамику изменения сети [5, 7].

Для сохранения точности позиционирования необходима периодическая актуализация информации о точках доступа, входящих в состав системы, что является энергозатратной операцией [5].

Технология Bluetooth – технология беспроводной связи для обмена данными на коротких расстояниях, работающая на частоте 2.4 ГГц и использующая стандарт IEEE 802.15.1. Стандарт Bluetooth основан на режиме работы устройств "ведущий/ведомый". Это означает, что есть одно главное устройство, которое осуществляет однонаправленное управление подчиненным устройством (или группой устройств). В настоящей статье рассматривается технология Bluetooth Low Energy (BLE), основным отличием которой от классической технологии Bluetooth является низкое энергопотребление [2, 3, 4, 6, 10, 11, 18–22]. Радиус связи технологии BLE зависит от класса используемого оборудования. Устройства, относящиеся к классу 1, обеспечивают передачу данных в радиусе до 100 м, а устройства, относящиеся к

классу 2 – до 10 м [6, 22]. Технология BLE обеспечивает скорость передачи данных до 1 Мбит/с [3, 20]. Большинство беспроводных медицинских устройств используют для передачи данных технологию BLE, таким образом, данная технология позволяет строить персональные беспроводные сети, включающие в себя медицинские датчики [3, 6].

В качестве меток чаще всего используются смартфоны [2, 4, 9, 19, 22, 24–29], а в качестве базовых станций BLE могут использоваться как готовые устройства, так и устройства собственного изготовления [27]. Наиболее популярными базовыми станциями при проектировании IPS на базе BLE являются датчики iBeacon, производимые компанией Apple [2, 11, 25, 26], чуть реже встречаются широкопередаточные датчики других компаний [9, 20, 24, 29].

Indoor-позиционирование на базе технологии BLE использует те же алгоритмы, что и другие радиочастотные технологии: приближение [9], трилатерацию [9], дактилоскопическую идентификацию [2, 4, 6, 8, 17, 28]. Для оценки расстояния от источника до приемника сигнала используется метод RSSI. Точность позиционирования на базе технологии BLE может достигать 1 м [4–6, 10, 19, 20, 23–25], и согласно исследованиям, представленным в [5], она превышает точность позиционирования на базе технологии Wi-Fi на 72 %. Для повышения точности позиционирования используются различные программные фильтры [11, 19, 20, 22].

Многие IPS совместно с технологией BLE используют цифровые карты [11, 19, 23, 28] и планы зданий, на которых отмечается местоположение всех широкопередаточных датчиков. На базе цифровой карты строится связный граф, ребрами которого являются все возможные пути движения по зданию. Результаты позиционирования на базе технологии BLE сопоставляются с построенным графом, и, в зависимости от результатов этого сопоставления, текущее положение объекта корректируется.

В [23, 25] авторы представляют IPS, разработанную на базе технологии BLE, использующую машинное обучение на этапе сбора данных в алгоритме дактилоскопической идентификации. Чаще всего данный этап работ проводится вручную и является трудозатратной процедурой. IPS, описанная в [23], хранит и анализирует все пути, пройденные каждым активным маяком, посредством матричных вычислений. Такой подход позволяет мо-

делировать траекторию дальнейшего перемещения активных маяков в пространстве, таким образом повышая точность позиционирования. Вычислительная нагрузка на алгоритмы IPS снижается за счет распределенного хранения данных и использования туманных вычислений. Основными особенностями данной системы являются автоматическая адаптация к изменениям системного контекста и независимость от условий окружающего пространства. Также за счет результатов анализа перемещения активных маяков по зданию система способна самостоятельно строить актуальные цифровые карты помещений.

При создании гибридных IPS технология BLE может объединяться как с нерадиочастотными технологиями [28, 30], так и с другими радиочастотными технологиями [28]. В [30] технология BLE применяется для корректировки погрешности измерений инерциальных датчиков методом трилатерации. В [28] основной технологией позиционирования является магнитометрия. В качестве алгоритма позиционирования используется дактилоскопическая идентификация: здесь на первом этапе создается база данных, хранящая уровни магнитного поля Земли в разных точках здания. Технология BLE предназначена для ускорения процесса позиционирования. В качестве метки в системе используется стандартный смартфон, в состав которого входит магнитометр и микросхема BLE. Для повышения точности позиционирования IPS может использовать цифровые карты, которые должны быть в нее предварительно загружены. Вместо технологии BLE система также может использовать технологию Wi-Fi.

Достоинства технологии BLE:

- низкое энергопотребление [2–4, 6, 10, 12, 19–22];
- автономность и компактность датчиков [3];
- идентификация объекта позиционирования [9, 19–22, 24–29];
- высокая помехозащищенность [26];
- возможность обеспечения защищенного канала связи [3, 27];
- построение системы на базе технологии BLE, используемой для связи в большинстве беспроводных медицинских датчиков;
- построение инфраструктуры IPS на базе готового оборудования, обладающего низкой стоимостью [4, 10, 20, 24, 29];

– базовые станции BLE имеют встроенный аккумулятор и являются беспроводными, вследствие этого они не зависят от расположения источников электроснабжения и могут быть размещены в любой точке помещения для обеспечения хорошей геометрии радиосигнала [6, 20, 24].

Недостатки технологии BLE:

– высокая загруженность канала связи, а также канальная интерференция;

– влияние многолучевого распространения сигнала [5];

– относительно низкая точность позиционирования [12];

– качество связи зависит от конструкции приемопередатчиков;

– для развертывания системы требуется дополнительное оборудование;

– небольшая дальность связи [3, 10, 19, 20].

Технология RFID использует в качестве метки портативную переносную микросхему, именуемую транспондером или RFID-меткой. RFID-метка состоит из интегральной схемы и антенны и способна хранить и пересылать хранимую в ней информацию [1–5, 10, 11, 31]. В качестве хранимой информации выступает персональный идентификатор объекта [1, 3, 4]. Различают активную, полупассивную и пассивную RFID-технологии [1, 4, 10, 31, 32]. Активные RFID-метки могут использовать радиочастотные диапазоны 455 МГц, 2.45 или 5.8 ГГц, а пассивные – 124, 125, 135 кГц, 13.56 МГц, 860...960 МГц и 2.45 ГГц [3]. Стоит отметить, что с повышением диапазона рабочих частот усиливается эффект многолучевого отражения и, как следствие, снижается качество связи и точность позиционирования [3].

Активная RFID-технология использует транспондеры, оборудованные встроенными источниками питания, транслирующими хранимую информацию в сеть [1, 10]. Радиус связи активных RFID-меток может варьироваться от 30 до 100 м [2, 5, 10]. Активная RFID-технология может использоваться для позиционирования объектов на большой территории в режиме реального времени [1]. Также одним из преимуществ технологии является наличие готовых коммерческих решений, на базе которых возможно построить IPS. К наиболее распространенным подходам идентификации объектов на базе активной технологии RFID является LANDMARC и VIRE [31, 32]. В обоих

подходах используются дополнительные фиксированные эталонные RFID-метки, облегчающие калибровку IPS и служащие в качестве ориентиров [31, 32]. Такой подход позволяет сократить количество базовых станций в системе и снизить ее стоимость. Подход LANDMARC использует для повышения позиционирования алгоритм поиска k -ближайших соседей, а VIRE – интерполяцию и алгоритм исключения. Подход VIRE позволяет обеспечить более высокую точность позиционирования, однако у него могут возникнуть проблемы с определением маловероятного местоположения объекта. Главной проблемой активной RFID-технологии на сегодняшний день является низкая энергоэффективность в силу высокого расхода заряда аккумулятора транспондера.

Пассивная RFID-технология использует транспондеры без источников питания [10], что способствует высокой энергоэффективности систем, в которых она применяется. Пассивные RFID-метки отражают радиосигнал, излучаемый базовой станцией, и передают хранимую информацию путем модуляции отраженного сигнала [31]. В связи с данной особенностью пассивные метки обладают низкой стоимостью и большим жизненным циклом. Основной областью применения данной технологии являются системы контроля удаленного доступа. Такие системы фиксируют факт входа объекта внутрь помещения и выход из него, но не позицию в пространстве в режиме реального времени. Это обусловлено крайне низким радиусом действия связи пассивной технологии [31], и именно эта особенность является главным недостатком, не позволяющим отслеживать местоположение объекта в пространстве. Таким образом, пассивная RFID-технология не подходит для разработки IPS.

Полупассивная технология RFID подразумевает наличие у метки источника питания, но большую часть времени метка находится в спящем режиме и активируется только тогда, когда попадает в поле видимости одной из базовых станций и передает данные о себе [4]. Для того чтобы обеспечить хорошую энергоэффективность и приемлемую дальность связи в IPS на базе полупассивной RFID-технологии, необходима архитектура меток и базовых станций, отличная от стандартных коммерческих решений. В связи с этим растут затраты на разработку и внедрение такой IPS [33].

Расстояние от базовой станции до объекта позиционирования определяется на основе методов RSSI, AOA, TDOA [1, 10, 34], в качестве алгоритмов позиционирования используются алгоритмы дактилоскопической идентификации и приближения [10]. Некоторые IPS на базе RFID используют алгоритмы роевого интеллекта, в частности алгоритм роя частиц [35]. Данный алгоритм позволяет повысить точность позиционирования движущихся объектов до 1 м.

RFID может объединяться с другими технологиями в целях повышения эффективности IPS [34, 36]. В [34] авторы представляют гибридную IPS на базе совмещения активной технологии RFID и машинного зрения. Технология RFID здесь используется для идентификации объекта и определения его начальных координат. Машинное зрение выполняет дальнейшее отслеживание местоположения объекта внутри помещения. Такой подход позволяет значительно снизить вычислительную нагрузку IPS и повысить ее быстродействие.

Достоинства технологии RFID:

- отсутствие прямой видимости между меткой и базовой станцией [2, 32];

- высокая скорость передачи данных и высокая вычислительная производительность: за 1 с базовая станция может обработать от 20 до 1000 меток [3]. В среднем каждая метка может быть прочитана менее чем за 100 мс [31];

- активная и полупассивная технологии обладают большой дальностью связи (до 150 м).

Основными недостатками технологии RFID являются:

- малая дальность связи пассивной технологии (до 1 см) [10];

- большая вычислительная сложность при использовании полупассивной и активной технологий;

- низкая помехозащищенность [35];

- низкая точность позиционирования [4];

- высокое энергопотребление при использовании активной RFID;

- высокие затраты на разработку и внедрение при использовании активной или полупассивной RFID [33].

Технология ZigBee основана на стандарте IEEE 802.15.4 [4, 10–12, 37]. Данная технология обладает низким энергопотреблением и позволяет строить беспроводные персональные сенсорные

сети [2, 10, 11], в том числе самоорганизующиеся сети с топологией mesh [12, 37, 38]. Это означает, что в случае выхода из строя одного из узлов сеть продолжит функционировать. Технология ZigBee работает в двух радиочастотных диапазонах: 868/915 МГц и 2.4 ГГц [37]. Стандарт IEEE 802.15.4 определяет алгоритм шифрования в сетях ZigBee, что обеспечивает безопасность передачи данных [38]. Точность позиционирования IPS на базе ZigBee составляет в среднем от нескольких десятков сантиметров до одного метра [4, 10–12, 37–42]. Радиус связи может достигать 40 м [37–42].

Технология ZigBee позволяет строить IPS как двумерного, так и трехмерного позиционирования. В [39] авторы описывают IPS на базе технологии ZigBee, способную отслеживать местоположение объектов в трехмерном пространстве. Такой подход авторы называют многослойным позиционированием. Суть данного подхода заключается в следующем: опорные широкополосные источники сигнала в помещении устанавливаются друг под другом на разной высоте, образуя своеобразные слои. Такое расположение источников сигнала позволяет отслеживать высоту объекта слежения.

В качестве метода определения расстояния от источника до приемника ZigBee использует RSSI. В качестве алгоритмов позиционирования чаще всего используются приближение, дактилоскопическая идентификация и трилатерация [2, 4, 10, 37–42]. Также для повышения точности позиционирования некоторые IPS используют метод сопоставления полученных измерений с цифровыми картами помещения [40].

Главный недостаток технологии ZigBee с точки зрения ее применимости в медицинских IPS заключается в неспособности отслеживать подвижные объекты с нужной точностью [4, 11, 12, 40]. Алгоритмы самоорганизации и маршрутизации, используемые данной технологией, не в состоянии перестраивать сеть и маршруты передачи данных в постоянной динамике. Таким образом, можно сделать вывод о том, что IPS на базе ZigBee больше подходят для отслеживания малоподвижных целей, но не для определения местоположения пациентов. Тем не менее ZigBee может использоваться совместно с другими технологиями для повышения точности позиционирования. В [41] авторы описывают гибридную IPS на базе инерциальной технологии и технологии ZigBee.

Технология ZigBee здесь позволяет корректировать ошибку измерений инерциальных датчиков, нарастающую с течением времени, а инерциальная составляющая позволяет нивелировать влияние интерференции, возникающей в канале радиосвязи, на точность позиционирования.

К достоинствам технологии ZigBee можно отнести:

- низкое энергопотребление [2, 4, 10, 12, 37, 39, 40]. Необходимо отметить, что уровень энергопотребления технологии ZigBee лишь незначительно ниже уровня энергопотребления технологии BLE [48];
- низкую стоимость оборудования [10, 37, 39, 40];
- высокую точность позиционирования [2, 10, 37–42];
- безопасность канала связи [4, 37, 38];
- простоту развертывания и обслуживания [12].

К недостаткам технологии ZigBee можно отнести:

- низкую скорость передачи данных [11, 12, 37, 38];
- высокую интерференцию сигнала [10, 41];
- возможность позиционирования только относительно стационарных объектов [4, 11, 12, 40].

Технология UWB использует широкую полосу пропускания (более 500 МГц) и передает радиосигнал как последовательность ультракоротких низкочастотных импульсов, распределенных во времени. UWB позволяет отслеживать движущиеся объекты с высокой точностью в режиме реального времени в условиях отсутствия прямой видимости. UWB-сигнал обладает высокой проникаемостью сквозь препятствия и устойчивостью к многолучевому распространению. В связи с тем что для передачи данных используются ультракороткие сигналы с низкой спектральной плотностью мощности, данная технология обладает высокой энергоэффективностью. UWB-сигнал не создает помехи узкополосным радиочастотным сигналам благодаря равномерному распределению энергии сигнала по широкой полосе частот. UWB-передатчик способен обнаружить присутствие другого активного устройства на несущей частоте и изменить частоту передачи сигнала. UWB-сигнал очень тяжело перехватить или обнаружить, что обеспечивает безопасную передачу данных. Точность позиционирования на базе UWB может достигать сантиметрового диапазона [3, 4, 6, 7, 10, 43–49].

Для определения расстояния между приемником и передатчиком сигнала UWB использует методы TOA/TDOA, AOA [3, 4, 6, 7, 10, 43–49]. Стоит отметить, что для использования метода AOA необходима сложная архитектура используемого оборудования [48]. В связи с особенностями функционирования технологии UWB метод RSS не рекомендуется к использованию, так как является ненадежным, но его можно использовать совместно с методами, перечисленными ранее [43, 46]. В качестве алгоритмов используются трилатерация, триангуляция и дактилоскопическая идентификация [43, 46]. Для повышения точности позиционирования также используются дополнительные программные фильтры [43, 47, 48].

IPS на базе технологии UWB могут успешно применяться в здравоохранении. В [43] авторы описывают систему непрерывного мониторинга за медицинским персоналом в здании больницы. Описанная система позволяет оценить трудовую нагрузку на медицинских сестер и перераспределить ее более равномерно. В связи с тем что технология UWB обладает небольшой дальностью связи, авторы работы предложили использовать при разработке IPS ячеистую архитектуру. Каждая ячейка включает в себя по четыре базовые станции, которые именуются якорями (см. рис. 1). Метка может получать данные только от наиболее близких якорей. После получения данных метка передает их на смартфон через интерфейс BLE, используя односторонний канал связи. Смартфон оборудован специальным приложением, которое вычисляет текущее местоположение метки и передает результаты расчетов на центральный сервер IPS.

Стоит отметить, что технология UWB может использоваться для радиолокации. В [47, 48] авторы описывают радиолокационную IPS на базе UWB-радара. Особенностью данной системы является отсутствие меток. Позиционирование в помещении осуществляется посредством радара. Для уменьшения ошибки позиционирования система использует дополнительные программные фильтры и алгоритмы машинного обучения. Машинное обучение позволяет отслеживать движущиеся цели и базируется на алгоритме кодовой книги. UWB-радар способен различать движущиеся объекты в радиусе от 1 до 8 м.

Описанная авторами система является уникальной, но малоприменимой в области здравоохранения в связи с высокой стоимостью оборудования, сложностью развертывания и низким радиусом связи.

Достоинства технологии UWB [43–49]:

- высокая точность позиционирования по сравнению с другими радиочастотными технологиями;

- низкое энергопотребление;

- помехоустойчивость;

- отсутствие помех устройствам, использующим узкополосные каналы связи;

- высокая пропускная способность канала связи;

- безопасность канала связи.

Недостатки технологии UWB [43–49]:

- высокие требования к характеристикам используемого оборудования;

- высокая стоимость оборудования;

- высокая сложность развертывания и обслуживания;

- малый радиус связи (до 20 м).

Технология NFER является относительно новой радиочастотной технологией, основанной на изменении сдвига фаз между электрической и магнитной составляющими электромагнитного поля, возникающего вследствие удаления от излучающей антенны. Вблизи антенны сдвиг фаз составляет 90° , а при увеличении расстояния этот сдвиг уменьшается. Для того чтобы измерить расстояние, дистанция между приемником и передатчиком сигнала должна лежать в пределах половины длины волны [12]. Оптимальная дистанция между приемником и передатчиком составляет около 15 м, так как передатчики работают на низких частотах (1...10 МГц) [12, 50].

Архитектура IPS на базе NFER отличается от общепринятой. Здесь передатчиком радиосигнала является переносная метка, а приемники сигнала (якоря) являются фиксированными и устанавливаются по периметру помещения. В связи с данной особенностью метка имеет достаточно большие габариты [12].

В [50] авторы описывают IPS на базе широкополосной технологии NFER, передающей данные в радиодиапазоне АМ (530...1710 кГц). Использование широкой полосы пропускания позволяет снизить влияние отношения сигнал/шум на точность позиционирования. Для оценки расстояния между приемником и передатчиком используется метод

наименьших квадратов. Авторы утверждают, что разработанная система способна позиционировать объекты в условиях высокочастотной среды.

К преимуществам технологии NFER можно отнести:

- достаточно высокую точность позиционирования;

- отсутствие необходимости точной синхронизации по времени между приемником и передатчиком [50];

- устойчивость к многолучевому отражению в связи с использованием низкочастотных сигналов [50].

Недостатки технологии NFER:

- низкая дальность связи;

- большие габариты активных маяков;

- сложность развертывания и обслуживания;

- высокая стоимость оборудования.

В связи с тем что технология NFER еще мало изучена и на рынке не представлено каких-либо готовых решений, такая IPS является сложной в проектировании, развертывании и обслуживании.

Заключение. Сравнение основных характеристик рассмотренных радиочастотных технологий indoor-позиционирования представлено на рис. 2.

На основе анализа полученной информации можно сделать вывод о том, что в целом радиочастотная технология может применяться для разработки IPS в области здравоохранения. Исключением является технология ZigBee, которая не поддерживает позиционирование высокоподвижных объектов в режиме реального времени. Большинство рассмотренных технологий имеют ряд коммерческих решений, на базе которых можно быстро и с наименьшими затратами развернуть и обслуживать IPS. Также большинство рассмотренных технологий обладают высокой скоростью передачи данных и безопасным каналом связи. Главным недостатком позиционирования на базе радиочастотных технологий является низкая точность определения местоположения. Это связано с тем фактом, что радиоволны проникают сквозь стены и перекрытия, а также подвержены влиянию помех. Для того чтобы уменьшить влияние данного недостатка, необходимо детально продумать физическую архитектуру системы, а именно количество базовых станций, способное обеспечить покрытие конкретного помещения радиосвязью, принцип их размещения, характеристики используемого оборудования и т. д.

Критерий	Технология						
	Wi-Fi	BLE	Активная RFID	Полупассивная RFID	ZigBee	UWB	NFER
Точность позиционирования	●○○○○○	●●●○○○	●●●●○○	●●●●○○	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●
Радиус действия связи	●●●●●●	●●●●●●	●●●●○○	●●●○○○	●●●○○○	●●●○○○	●●●○○○
Сложность развертывания	●●●●●●	●●●●●●	●●●○○○	●●○○○○	●●●●○○	●●○○○○	●○○○○○
Энергоэффективность	●○○○○○	●●●●●●	●●○○○○	●●●●○○	●●●●●●	●●●●○○	●●●○○○
Компактность	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Пропускная способность канала связи	●●●●●●	●●●○○○	●●●●●●	●●●●●●	●○○○○○	●●●●●●	●●●○○○
Помехоустойчивость	●●●○○○	●●●○○○	●●●○○○	●●●●●●	●●●○○○	●●●●●●	●●●○○○
Идентификация объекта слежения	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Защищенность канала связи	●●●●○○	●●●●○○	●●●○○○	●●●○○○	●●●●○○	●●●●●●	●●●○○○

Рис. 2. Сравнение характеристик рассмотренных радиочастотных технологий indoor-позиционирования

Fig. 2. Comparison of the characteristics of the reviewed radiofrequency indoor-positioning technologies

Часть помех можно устранить за счет включения в программное обеспечение системы дополнительных программных фильтров. Стоит отметить, что программные фильтры могут негативно влиять на вычислительную производительность IPS. Вследствие этого необходимо использовать высокопроизводительное оборудование.

Проанализировав достоинства и недостатки радиочастотных технологий, описанных в настоящей статье, можно сделать вывод о том, что технология BLE лучше всего подходит для создания IPS в медицинском учреждении. Несмотря на то что технология Wi-Fi обладает более высокой ско-

ростью передачи данных и более защищенным каналом связи, она также обладает низкими энергоэффективностью и точностью позиционирования. Технологии NFER, RFID и UWB сложны в разработке и обслуживании. Технология BLE же обладает низким энергопотреблением, достаточно высокой скоростью передачи данных и хорошим радиусом связи. На рынке существует ряд готового оборудования на базе BLE, которое упрощает развертывание и обслуживание персональной беспроводной сети. Также стоит отметить, что большинство беспроводных медицинских датчиков осуществляют обмен данными через интерфейс BLE.

Авторский вклад

Брагин Дмитрий Сергеевич – аннотация, введение, выбор оценочных критериев, описание радиочастотной технологии, технологий Wi-Fi, Bluetooth, заключение.

Поспелова Ирина Владимировна – аннотация, технологии RFID, UWB, NFER, перевод на английский язык.

Черепанова Ирина Владимировна – технология ZigBee, список литературы, подготовка текста статьи.

Серебрякова Виктория Николаевна – введение, заключение.

Author's contribution

Dmitriy S. Bragin – abstract, introduction, selection of evaluation criteria, radio frequency technology description, Wi-Fi technology, Bluetooth technology, conclusion.

Irina V. Pospelova – abstract, RFID technology, UWB technology, NFER technology, English translation.

Irina V. Cherepanova – ZigBee technology, references, preparation of the paper text.

Victoria N. Serebryakova – introduction, conclusion.

Список литературы

1. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестн. СГУГиТ. 2017. Т. 22, № 1. С. 170–177.
2. Смольков М. С., Сухобок Ю. А. Анализ современных технологий построения систем indoor-навигации // Науч.-техн. и эконом. сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2019. Т. 2. С. 88–92.
3. Mier J., Jaramillo-Alcázar A., Freire J. J. At a glance: indoor positioning systems technologies and their applications areas // Proc. of Intern. Conf. on Information Technology & Systems. Quito, Ecuador, 6–8 Febr. 2019. Cham: Springer, 2019. P. 483–493. doi: 10.1007/978-3-030-11890-7_47
4. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey / R. F. Brena, J. P. García-Vázquez, C. E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, J. Fangmeyer // J. of Sensors. Vol. 2017. Art. ID 2630413. 21 p. doi: 10.1155/2017/2630413
5. Касаткина Т. И., Чепелев М. Ю., Голев И. М. Анализ существующих технологий навигации внутри помещения // Актуальные проблемы деятельности подразделений УИС: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 25 окт. 2018 г. Воронеж: ИПЦ "Научная книга", 2018. С. 211–213.
6. Davidson P., Piché R. A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2017. Vol. 19, № 2. P. 1347–1370. doi: 10.1109/comst.2016.2637663
7. Богуренко П. А., Бурлаков М. Е. Обзор методов локального позиционирования объектов в Wi-Fi-сетях // Вестн. Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2017. № 23. С. 146–158.
8. An improved WiFi indoor positioning algorithm by weighted fusion / R. Ma, Q. Guo, Ch. Hu, J. Xue // Sensors. 2015. Vol. 15, № 9. P. 21824–21843. doi: 10.3390/s150921824
9. Satan A., Toth Z. Development of Bluetooth based indoor Positioning Application // 2018 IEEE Intern. Conf. on Future IoT Technologies (Future IoT). Eger, Hungary, 18–19 Jan. 2018. Piscataway: IEEE, 2018. Art. 17668245 (1–6). doi: 10.1109/FIOT.2018.8325586
10. A Survey on Fusion-based Indoor Positioning / X. Guo, N. Ansari, F. Hu, Y. Shao, N. R. Elikplim, L. Li // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 22, № 1. P. 566–594. doi: 10.1109/COMST.2019.2951036
11. Петрова О. А., Табунщик Г. В., Мероде Д. В. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения // Електро-технічні та комп'ютерні системи. 2017. № 25. С. 270–278.
12. Бодрова А. А. Радиолокационные методы локального позиционирования // Аллея науки. 2017. Т. 4, № 9. С. 843–846.
13. Gao S., Prasad S. Employing Spatial Analysis in Indoor Positioning and Tracking Using Wi-Fi Access Points // Proc. of the Eighth ACM SIGSPATIAL Intern. Workshop on Indoor Spatial Awareness. Burlingame, California, 2016. P. 27–34. doi: 10.1145/3005422.3005425
14. Indoor Positioning in Wi-Fi and NanoLOC Networks / M. Sivers, G. Fokin, P. Dmitriev, A. Kireev, D. Volgushev, A. A. H. Ali // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Russia, St Petersburg, Sept. 26–28, 2016. Cham: Springer, 2016. P. 465–476. doi: 10.1007/978-3-319-46301-8_39
15. Малодушев С. В., Рогов А. А. Определение локации в корпоративных Wi-Fi сетях // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер.: Математическое моделирование и программирование. 2016. Т. 9, № 1. С. 92–104. doi: 10.14529/mmp160107
16. Ремпель П. В., Борисов А. П. Разработка системы позиционирования на основе беспроводной сети Wi-Fi // XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 28–30 нояб. 2018 г. Томск: Изд-во ФГБОУ ВО ТУСУР, 2018. № 1–2. С. 41–43.
17. Radaelli L., Moses Y., Jensen C. S. Using Cameras to Improve Wi-Fi Based Indoor Positioning // 2014 Intern. Symp. on Web And Wireless Geographical Information Systems. Berlin, Seoul, South Korea, May 29–30, 2014. Heidelberg: Springer, 2014. P. 166–183. doi: 10.1007/978-3-642-55334-9_11
18. Кабанов А. А. Система локального позиционирования внутри помещения // Междунар. науч.-практ. конф. "Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития", Вологда, 26 апр. 2017 г. В 2 т. Вологда: ООО «Маркер», 2017. Т. 1. С. 16.
19. Indoor Positioning of Shoppers using a Network of Bluetooth Low Energy beacons / P. Dickinson, G. Cielniak, O. Szymanczyk, M. Mannion // 2016 Intern. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Alcala de Henares, Spain, 4–7 Oct. 2016. Piscataway: IEEE, 2016. 8 p. doi: 10.1109/IPIN.2016.7743684
20. A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering / V. C. Paterna, A. C. Augé, J. P. Aspas, M. P. Bullones // Sensors. 2017. Vol. 17, № 12. P. 2927. doi: 10.3390/s17122927
21. Contreras D., Castro M., de la Torre D. S. Performance Evaluation of Bluetooth Low Energy in Indoor Positioning Systems // Trans. on Emerging Telecommunications Technologies. 2017. Vol. 28, № 1. Art. e2864. doi: 10.1002/ett.2864
22. Bluetooth indoor positioning based on RSSI and Kalman filter / C. Zhou, J. Yuan, H. Liu, J. Qiu // Wireless Personal Communications. 2017. Vol. 96, № 3. P. 4115–4130. doi: 10.1007/s11277-017-4371-4
23. BLEMAT: Data Analytics and Machine Learning for Smart Building Occupancy Detection and Prediction / S. Pešić, T. Milenko, O. Ikočić, M. Radovanovic, M. Ivanovic, D. Boscovic // Intern. J. on Artificial Intelligence Tools. 2019. Vol. 28, № 06. P. 1960005. doi: 10.1142/S0218213019600054

24. Возможности позиционирования внутри помещений с помощью Bluetooth устройств / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, В. И. Люлько, П. А. Цыбанов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6, № 2. С. 132–143.

25. Study on the Application of Indoor Positioning based on Low Power Bluetooth Device Combined with Kalman Filter and Machine Learning / J.-Y. Hsieh, Ch.-H. Fan, J.-Z. Liao, J.-Y. Hsu and H. Chen // EasyChair. 2019. № 1198.

26. Astafiev A. V., Zhiznyakov A. L., Privezentsev D. G. Development of Indoor Positioning Algorithm Based on Bluetooth Low Energy beacons for Building RTLS-Systems // 2019 Intern. Russian Automation Conf. (RusAutoCon). Sochi, Russia, 8–14 Sept. 2019. Piscataway: IEEE, 2019. Art. 19060983(1–5). doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867751

27. Каликулина З. В. Система локального позиционирования с использованием стандартов bluetooth // Современные проблемы научной деятельности. Перспективы внедрения инновационных решений: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Челябинск, 10 июня 2019 г. Уфа: ООО "Аэтерна", 2019. С. 31–34.

28. Indoor Positioning System using Magnetic Positioning and BLE beacons / M. V. Bramhe, J. Gan, N. Ghodpage, A. Nawale, G. Bahe // Int. Res. J. Eng. Technol. 2017. Vol. 4, № 3. P. 1031–1036.

29. Гриняк В. М., Гриняк Т. М., Цыбанов П. А. Позиционирование внутри помещений с помощью Bluetooth-устройств // Территория новых возможностей. Вестн. Владивостокского гос. ун-та экономики и сервиса. 2018. № 2 (41). С. 137–147 doi: 10.24866/VVSU/2073-3984/2018-2/137-147

30. Кошелев Б. В., Карагин Н. А. О возможности использования смартфонов для навигации внутри помещений // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. 2017. № 9–2. С. 131–140.

31. LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID / L. M. Ni, Y. Liu, Y. C. Lau, A. P. Patil // Proc. of the First IEEE Intern. Conf. on Pervasive Computing and Communications. (PerCom 2003) Fort Worth, USA, 26 March, 2003. Piscataway: IEEE, 2003. P. 407–415. doi: 10.1109/percom.2003.1192765

32. Analysis of Indoor Positioning Approaches based on Active RFID / F.-j. Zhu, Z.-h. Wei, B.-j. Hu, J.-g. Chen, Z. Guo // 2009 5th Intern. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Beijing, China, 24–26 Sept. 2009. Piscataway: IEEE, 2009. Art. 10952565(1–4). doi: 10.1109/WICOM.2009.5302555

33. Yao C. Y., Hsia W. C. An Indoor Positioning System based on the Dual-Channel Passive RFID Technology // IEEE Sensors J. 2018. Vol. 18, № 11. P. 4654–4663. doi: 10.1109/jsen.2018.2828044

34. Wang C. S., Cheng L. C. RFID & Vision based Indoor Positioning and Identification System // 2011 IEEE 3rd Intern. Conf. on Communication Software and Networks. Xi'an, China, 27–29 May 2011. Piscataway: IEEE, 2011. P. 506–510. doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014945

35. PSOTrack: A RFID-Based System for Random Moving Objects Tracking in Unconstrained Indoor Environment / J. Li, G. Feng, W. Wei, Ch. Luo, L. Cheng, H. Wang,

H. Song, Zh. Ming // IEEE Internet of Things J. 2018. Vol. 5, № 6. P. 4632–4641. doi: 10.1109/IJOT.2018.2795893

36. Enhancing WSN-Based Indoor Positioning and Tracking through RFID Technology / Z. Xiong, Z. Y. Song, A. Scalera, F. Sottile, R. Tomasi, M. A. Spirito // 2012 Fourth Intern. EURASIP Workshop on RFID Technology. Torino, Italy, 27–28 Sept. 2012. Piscataway: IEEE, 2012. P. 107–114. doi: 10.1109/RFID.2012.26

37. Han Q., Jiao H. Application Research of Wireless Location Technology Based on ZigBee // 2017 International Conf. on Computer Technology, Electronics and Communication (ICCTEC). IEEE, 2017. P. 1270–1273. doi: 10.1109/ICCTEC.2017.00277

38. Окань С. В. Разработка локальной системы позиционирования с использованием модулей XBee Series 2 // Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. "Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки". Тюмень, 26 дек. 2018 г. В 5 ч. Уфа: ООО "ОМЕГА САЙНС". Ч. 3. С. 160–162.

39. Research on Positioning System based on Zigbee Communication / D. Yan, B. Kang, H. Zhong, R. Wang // 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conf. (IAEAC). Chongqing, China, 12–14 Oct. 2018. Piscataway: IEEE, 2018. P. 1027–1030. doi: 10.1109/iaeac.2018.8577263

40. Dong Z., Mengjiao C., Wenjuan L. Implementation of indoor Fingerprint Positioning Based on ZigBee // 2017 29th Chinese Control And Decision Conf. (CCDC). Chongqing, China, 28–30 May 2017. Piscataway: IEEE, 2017. P. 2654–2659. doi: 10.1109/CCDC.2017.7978963

41. Han C., Zhongtao W., Longxu W. Indoor Positioning System Based on Zigbee and Inertial System // 2018 5th Intern. Conf. on Dependable Systems and Their Applications (DSA). Dalian, China, 22–23 Sept. 2018. Piscataway: IEEE, 2018. P. 80–85. doi: 10.1109/DSA.2018.00023

42. Advanced Indoor Positioning Using Zigbee Wireless Technology / M. Uradzinski, H. Guo, X. Liu, M. Yu // Wireless Personal Communications. 2017. Vol. 97, № 4. P. 6509–6518. doi: 10.1007/s11277-017-4852-5

43. Multi-cell Based UWB Indoor Positioning System / J. M. Hong, S. H. Kim, K. J. Kim, C. G. Kim // 11th Asian Conf. on Intelligent Information and Database Systems. Yogyakarta, Indonesia, Apr. 8–11, 2019. Cham: Springer, ACIIDS 2019. P. 543–554. doi: 10.1007/978-3-030-14802-7_47

44. A Study of Indoor Positioning based on UWB Base-Station Configurations / A. Ren, F. Zhou, A. Rahman, X. Wang, N. Zhao, X. Yang // 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conf. (IAEAC). Chongqing, China, 25–26 March 2017. Piscataway: IEEE, 2017. P. 1939–1943. doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054352

45. Using DecaWave UWB Transceivers for High-Accuracy Multipath-Assisted Indoor Positioning / J. Kulmer, S. Hinteregger, B. Großwindhager, M. Rath, M. S. Bakr, E. Leitinger, K. Witrisal // 2017 IEEE Intern. Conf. on Communications Workshops (ICC Workshops). Paris, France, 21–25 May 2017. Piscataway: IEEE, 2017. P. 1239–1245. doi: 10.1109/ICCW.2017.7962828

46. Shi G., Ming Y. Survey of Indoor Positioning Systems Based on Ultra-Wideband (UWB) Technology // Wireless Communications, Networking and Applications. New Delhi: Springer, 2016. P. 1269–1278. doi: 10.1007/978-81-322-2580-5_115

47. Gang H. S., Park J. B., Pyun J. Y. Real-Time Indoor Positioning System Based on Background Training Model Using IR-UWB Radar // Intern. Conf. on Communications and Networking in China. Cham: Springer, 2017. Vol. 236. P. 361–371. doi: 10.1007/978-3-319-78130-3_37

48. Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances / A. Alarifi, A. M. Al-Salman, M. Alsaleh, A. Alnafessah, S. Al-Hadhrami, M. Al-Ammar,

Hend Al-Khalifa //Sensors. 2016. Vol. 16, № 5. Art. 707. doi: 10.3390/s16050707

49. Mazhar F., Khan M. G., Sällberg B. Precise Indoor Positioning Using UWB: a Review of Methods, Algorithms and Implementations // Wireless Personal Communications. 2017. Vol. 97, № 3. P. 4467–4491. doi: 10.1007/s11277-017-4734-x

50. Wideband signal based near-field electromagnetic ranging for indoor localization / P. Wang, Z. Liu, X. Zhang, L. Xu, J. He, Y. Wan // 2018 Intern. Conf. on Advanced Control, Automation and Artificial Intelligence (ACAAI 2018). Shenzhen, China, 21–22 Jan. 2018. Paris: Atlantis Press, 2018. doi: 10.2991/acaa-18.2018.57

Информация об авторах

Брагин Дмитрий Сергеевич – инженер по специальности "Радиосвязь, радиовещание и телевидение" (2005, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор 6 научных публикаций. Сфера научных интересов – связь, медицина.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: braginds@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0875-3301>

Поспелова Ирина Владимировна – инженер по специальности "Радиоэлектронные системы" (2012, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор 9 научных публикаций. Сфера научных интересов – связь, медицина.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: pospelova.irina88@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-4215-285X>

Черепанова Ирина Владимировна – инженер по специальности "Радиоэлектронные системы" (2012, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Сфера научных интересов – связь, медицина.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: iv-sushkova@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6626-4979>

Серебрякова Виктория Николаевна – кандидат медицинских наук (2010), руководитель лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор более 80 научных работ. Сфера научных интересов – медицина, кардиология.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: vsk75@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9265-708X>

References

1. Vakhrusheva A. A. Positioning technologies in real time. Vestnik of the SSUGT. 2017, vol. 22, no. 1. (In Russ.)
2. Smol'kov M. S., Sukhobok Yu. A. Analysis of current technologies of construction indoor navigation systems. Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century. 2019, vol. 2, pp. 88–92. (In Russ.)
3. Mier J., Jaramillo-Alcázar A., Freire J. J. At a glance: indoor positioning systems technologies and their applications areas. International Conference on Information Technology & Systems. Springer, Cham, 2019, pp. 483–493. doi:10.1007/978-3-030-11890-7_47
4. Brena R. F., García-Vázquez J. P., Galván-Tejada C. E., Muñoz-Rodríguez D., Vargas-Rosales C., Fangmeyer J. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. J. of Sensors. Vol. 2017, art. ID 2630413, 21 p. doi: 10.1155/2017/2630413
5. Kasatkina T. I., Chepelev M. Ju., Golev I. M. Analysis of existing technologies for indoor navigation. Actual problems of activity of sub-divisions of UIS. SB. mater. All-Russian scientific and Practical Conf. Voronezh, October 25, 2018. Voronezh, CPI "Scientific book", 2018, pp. 211–213.
6. Davidson P., Piché R. A survey of selected indoor positioning methods for smartphones. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016, vol. 19, no. 2, pp. 1347–1370. doi: 10.1109/COMST.2016.2637663.
7. Bogurenko P. A., Burlakov M. E. The overview of local positioning methods the objects in wi-fi networks. Vestn. Perm national research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, management systems. 2017, no. 23, pp. 146–158. (In Russ.)
8. Ma R., Guo Q., Hu Ch., Xue J. An improved WiFi indoor positioning algorithm by weighted fusion. Sensors. 2015, vol. 15, no. 9, pp. 21824–21843. doi: 10.3390/s150921824
9. Satan A., Toth Z. Development of Bluetooth based indoor Positioning Application. 2018 IEEE Intern. Conf. on Future IoT Technologies (Future IoT). 18–19 Jan. 2018, Eger, Hungary. Piscataway, IEEE, 2018, art. 17668245 (1–6). doi: 10.1109/FIOT.2018.8325586
10. Guo X., Ansari N., Hu F., Shao Y., Elikplim N. R., Li L. A Survey on Fusion-based Indoor Positioning. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019, vol. 22, no. 1, pp. 566–594. doi: 10.1109/COMST.2019.2951036
11. Petrova O. A., Tabunshchik G. V., Van Merode D. V. Method for location detection in indoor navigation systems. Electrical and computer systems. 2017, no. 25, pp. 270–278. (In Russ.)
12. Bodrova A. A. Radar methods of local positioning. Alley of science. 2017, vol. 4, no. 9, pp. 843–846. (In Russ.)
13. Gao S., Prasad S. Employing spatial analysis in indoor positioning and tracking using Wi-Fi access points. Proceedings of the Eighth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, 2016. pp. 27–34. doi: 10.1145/3005422.3005425
14. Sivers M., Fokin G., Dmitriev P., Kireev A., Volgushev D., Ali A. A. H. Indoor Positioning in Wi-Fi and NanoLOC Networks. Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Sept. 26–28, 2016, St Petersburg, Russia. Cham, Springer, 2016, pp. 465–476. doi: 10.1007/978-3-319-46301-8_39
15. Malodushev S. V., Rogov A. A. Determination of Locations in Corporate Wi-Fi Networks. Vestn. South Ural state University. Series: Mathematical modeling and programming. 2016, vol. 9, no. 1, pp. 92–104. doi: 10.14529/mmp160107 (In Russ.)
16. Rempel P. V., Borisov A. P. Development of a positioning system based on a wireless Wi-Fi network. scientific-practical. Conf. "Electronic tools and control systems", Tomsk, Nov. 28–30, 2018. no. 2, pp. 41–43. (In Russ.)
17. Radaelli L., Moses Y., Jensen C. S. Using Cameras to Improve Wi-Fi Based Indoor Positioning. 2014 Intern. Symp. on Web And Wireless Geographical Information Systems. May 29–30, 2014, Berlin, Seoul, South Korea. Heidelberg, Springer, 2014, pp. 166–183. doi: 10.1007/978-3-642-55334-9_11
18. Kabanov A. A. System of local positioning inside the room. Mezhdunar. sci.-pract. Conf. "Science today: global challenges and development mechanisms", Apr. 26, 2017, Vologda. In 2 vols. 1. Vologda, OOO "Marker", 2017, pp. 16–17. (In Russ.)
19. Dickinson P., Cielniak G., Szymanczyk O., Mannion M. Indoor Positioning of Shoppers using a Network of Bluetooth Low Energy beacons. 2016 Intern. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). 4–7 Oct. 2016, Alcalá de Henares, Spain. Piscataway, IEEE, 2016, 8 p. doi: 10.1109/IPIN.2016.7743684
20. Paterna V. C., Augé A. C., Aspas J. P., Bullones M. P. A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering. Sensors. 2017, vol. 17, no. 12, pp. 2927. doi: 10.3390/s17122927
21. Contreras D., Castro M., de la Torre D. S. Performance Evaluation of Bluetooth Low Energy in Indoor Positioning Systems. Trans. on Emerging Telecommunications Technologies. 2017, vol. 28, no. 1, art. e2864. doi: 10.1002/ett.2864
22. Zhou C., Yuan J., Liu H., Qiu J. Bluetooth indoor positioning based on RSSI and Kalman filter. Wireless Personal Communications. 2017, vol. 96, no. 3, pp. 4115–4130. doi: 10.1007/s11277-017-4371-4
23. Pešić S., Milenko T., Iković O., Radovanovic M., Ivanovic M., Boscovic D. BLEMAT: Data Analytics and Machine Learning for Smart Building Occupancy Detection and Prediction. International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2019, vol. 28, no. 06, pp. 1960005. doi: 10.1142/S0218213019600054
24. Grinyak V. M., Devyatisilnyi A. S., Lulko V. I., Tsibanov P. A. Indoor positioning system based on bluetooth beacons. Modélisation, optimisation et technologies de l'information. 2018, vol. 6, no. 2, pp. 132–143. (In Russ.)

25. Hsieh J.-Y., Fan Ch.-H., Liao J.-Z., Hsu J.-Y. and Chen H. Study on the Application of Indoor Positioning based on Low Power Bluetooth Device Combined with Kalman Filter and Machine Learning. *EasyChair*. 2019, no. 1198.
26. Astafiev A. V., Zhiznyakov A. L., Privezentsev D. G. Development of Indoor Positioning Algorithm Based on Bluetooth Low Energy beacons for Building RTLS-Systems. 2019 Intern. Russian Automation Conf. (RusAuto-Con). Sochi, Russia, 8–14 Sept. 2019. Piscataway, IEEE, 2019, art. 19060983(1–5). doi: 10.1109/RUSAUTO-CON.2019.8867751
27. Kalikullina Z. V. Local positioning System using bluetooth standards. *Modern problems of scientific activity. Prospects for implementing innovative solutions. Collection of articles international. Scientific and practical Conf. Chelyabinsk, Jun. 10, 2019. Ufa, Aeterna LLC*, pp. 31–34. (In Russ.)
28. Bramhe M. V., Gan J., Ghod-page N., Nawale A., Bahe G. Indoor Positioning System using Magnetic Positioning and BLE beacons. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2017, vol. 4, no. 3, pp. 1031–1036.
29. Grinyak V. M., Grinyak T. M., Tsibanov P. A. Indoor positioning system based on Bluetooth beacons. Territory of new opportunities. *Bulletin of the Vladivostok state University of Economics and service*. 2018, no. 2 (41), pp. 137–147 doi: 10.24866/VVSU/2073-3984/2018-2/137-147 (In Russ.)
30. Koshelev B. V., Karagin N. A. On possibility of smart phone's use for indoor navigation. *Izv. of the Tula State University. Technical science*. 2017, no. 9–2, pp. 131–140. (In Russ.)
31. Ni L. M., Liu Y., Lau Y. C., Patil A. P. LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID. *Proc. of the First IEEE Intern. Conf. on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)*. 26 March, Fort Worth, USA. Piscataway, IEEE, 2003, pp. 407–415. doi: 10.1109/percom.2003.1192765
32. Zhu F.-j., Wei Z.-h., Hu B.-j., Chen J.-g., Guo Z. Analysis of Indoor Positioning Approaches based on Active RFID. 2009 5th Intern. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Beijing, China, 24–26 Sept. 2009. Piscataway, IEEE, 2009, art. 10952565(1–4). doi: 10.1109/WICOM.2009.5302555
33. Yao C. Y., Hsia W. C. An Indoor Positioning System based on the Dual-Channel Passive RFID Technology. *IEEE Sensors J.* 2018, vol. 18, no. 11, pp. 4654–4663. doi: 10.1109/jsen.2018.2828044
34. Wang C. S., Cheng L. C. RFID & Vision based Indoor Positioning and Identification System. 2011 IEEE 3rd Intern. Conf. on Communication Software and Networks. Xi'an, China, 27–29 May 2011. Piscataway, IEEE, 2011, pp. 506–510. doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014945
35. Li J., Feng G., Wei W., Luo Ch., Cheng L., Wang H., Song H., Ming Zh. PSOTrack: A RFID-Based System for Random Moving Objects Tracking in Unconstrained Indoor Environment. *IEEE Internet of Things J.* 2018, vol. 5, no. 6, pp. 4632–4641. doi: 10.1109/JIOT.2018.2795893
36. Xiong Z., Song Z. Y., Scalera A., Sottile F., Tomasi R., Spirito M. A. Enhancing WSN-Based Indoor Positioning and Tracking through RFID Technology 2012 Fourth Intern. EURASIP Workshop on RFID Technology. Torino, Italy, 27–28 Sept. 2012. Piscataway, IEEE, 2012, pp. 107–114. doi: 10.1109/RFID.2012.26
37. Han Q., Jiao H. Application Research of Wireless Location Technology Based on ZigBee. 2017 International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication (ICCTEC). IEEE, 2017, pp. 1270–1273. doi: 10.1109/ICCTEC.2017.00277
38. Okan S. V. Development of a local positioning system using XBee Series 2 modules. Problems and prospects of experimental science development. SB. St. Int. scientific-practical Conf. "Problems and prospects of experimental science development". Tyumen, December 26, 2018, In 5 pt. Ufa, OOO "OMEGA SCIENCE", pt. 3, pp. 160–162.
39. Yan D., Kang B., Zhong H., Wang R. Research on Positioning System based on Zigbee Communication. 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conf. (IAEAC). Chongqing, China, 12–14 Oct. 2018. Piscataway, IEEE, 2018, pp. 1027–1030. doi: 10.1109/iaeac.2018.8577263
40. Dong Z., Mengjiao C., Wenjuan L. Implementation of indoor fingerprint positioning based on ZigBee // 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Chongqing, China, 28–30 May 2017. Piscataway, IEEE, 2017, pp. 2654–2659. doi: 10.1109/CCDC.2017c7978963
41. Han C., Zhongtao W., Longxu W. Indoor Positioning System Based on Zigbee and Inertial System. 2018 5th Intern. Conf. on Dependable Systems and Their Applications (DSA), IEEE, 2018, pp. 80–85. doi: 10.1109/DSA.2018.00023
42. Uradzinski M., Guo H., Liu X., Yu M. Advanced Indoor Positioning Using Zigbee Wire-less Technology. *Wireless Personal Communications*. 2017, vol. 97, no. 4, pp. 6509–6518. doi: 10.1007/s11277-017-4852-5
43. Hong J. M., Kim S. H., Kim K. J., Kim C. G. Multi-cell Based UWB Indoor Positioning System. 11th Asian Conf. on Intelligent Information and Database Systems. Yogyakarta, Indonesia, April 8–11, 2019. Cham, Springer, ACIIDS 2019, pp. 543–554. doi: 10.1007/978-3-030-14802-7_47
44. Ren A., Zhou F., Rahman A., Wang X., Zhao N., Yang X. A Study of Indoor Positioning based on UWB Base-Station Configurations. 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). Chongqing, China, 25–26 March 2017. Piscataway, IEEE, 2017, pp. 1939–1943. doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054352.
45. Kulmer J., Hinteregger S., Großwindhager B., Rath M., Bakr M. S., Leitinger E., Witrals K. Using DecaWave UWB Transceivers for High-Accuracy Multipath-Assisted Indoor Positioning. 2017 IEEE Intern. Conf. on Communications Workshops (ICC Workshops). Paris, France, 21–25 May 2017. Piscataway, IEEE, 2017, pp. 1239–1245. doi: 10.1109/ICCW.2017.7962828

46. Shi G., Ming Y. Survey of Indoor Positioning Systems Based on Ultra-Wideband (UWB) Technology. *Wireless Communications, Networking and Applications*. New Delhi, Springer, 2016, pp. 1269–1278. doi: 10.1007/978-81-322-2580-5_115

47. Gang H. S., Park J. B., Pyun J. Y. Real-Time Indoor Positioning System Based on Background Training Model Using IR-UWB Radar. *Intern. Conf. on Communicatins and Networking in China*. Cham, Springer, 2017, vol. 236, pp. 361–371. doi: 10.1007/978-3-319-78130-3_37

48. Alarifi A., Al-Salman A.M., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrami S., Al-Ammar M., Al-Khalifa H. Ultra wideband in-

door positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*. 2016, vol. 16, no. 5, art. 707. doi: 10.3390/s16050707

49. Mazhar F., Khan M. G., Sällberg B. Precise Indoor Positioning Using UWB: a Review of Methods, Algorithms and Implementations. *Wireless Personal Communications*. 2017, vol. 97, no. 3, pp. 4467–4491. doi: 10.1007/s11277-017-4734-x

50. Wang P., Liu Z., Zhang X., Xu L., He J., Wan Y. Wideband signal based near-field electromagnetic ranging for indoor localization. *2018 Intern. Conf. on Advanced Control, Automation and Artificial Intelligence (ACAAI 2018)*. Shenzhen, China, 21–22, Jan., 2018. Paris, Atlantis Press, 2018. doi: 10.2991/acaai-18.2018.57

Information about the Authors

Dmitriy S. Bragin – Engineer of Radio, broadcasting and Television (2005, Tomsk state university of control systems and radioelectronics). Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of 6 scientific publications. Area of expertise: communication, medicine.

Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMCM), 111a Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia

E-mail: braginds@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0875-3301>

Irina V. Pospelova – Engineer of Computer Software and Automated Systems (2016, National Research Tomsk Polytecnic University), Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of 9 scientific publications. Area of expertise: communication, medicine.

Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMCM), 111a Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia

E-mail: pospelova.irina88@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-4215-285X>

Irina V. Cherepanova – Engineer of Electronic systems (2012, Tomsk state university of control systems and radioelectronics). Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. Area of expertise: communication, medicine.

Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMCM), 111a Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia

E-mail: iv-sushkova@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6626-4979>

Victoria N. Serebryakova – PhD (2010), Head of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of more than 80 scientific publications. Area of expertise: medicine, cardiology.

Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMCM), 111a Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia

E-mail: vsk75@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9265-708X>
