



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

Оптические технологии локального позиционирования в здравоохранении (аналитический обзор)

Аннотация. Локальное позиционирование — это определение местоположения подвижных объектов внутри замкнутого помещения в режиме реального времени. Применение систем локального позиционирования в составе телемедицинских систем позволит быстро обнаружить местоположение пациента в случаях, когда его жизненные показатели резко ухудшаются, и своевременно оказать ему необходимую медицинскую помощь. Особенно важно осуществлять слежение за перемещениями пациентов, перенесших сложные хирургические вмешательства. Целью статьи является оценка применимости оптических технологий для определения местоположения пациентов внутри здания стационара.

Статья содержит аналитический обзор научных источников, посвященных локальному позиционированию на базе оптических технологий. Исследование выявило преимущества и недостатки рассмотренных подходов. Каждый из них может применяться в медицинских системах локального позиционирования.

Представлены рекомендации выбора технологической основы систем локального позиционирования, отражающие особенности использования в медицинских учреждениях.

Ключевые слова и фразы: телемедицина, IPS, indoor-позиционирование, системы локального позиционирования, оптические технологии локального позиционирования, инфракрасное излучение, технология VLC, позиционирование в видимом свете, позиционирование в инфракрасном излучении.

Введение

Бурное развитие информационных технологий породило проблему позиционирования объектов внутри закрытого помещения (indoor-позиционирования). Определение местоположения объекта в данном случае должно выполняться с высокой точностью, и погрешность

измерений не должна превышать 1-2 метров. Применение технологий глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС, наземные сотовые сети) осложняется помехами, возникающими из-за наличия стен и межэтажных перекрытий, а также электромагнитным шумом, вызываемым бытовой техникой и электрическими приборами. Перечисленные факторы увеличивают погрешность измерений до десятков, а иногда и сотен метров. Поэтому технологии глобального позиционирования не подходят для определения местоположения объектов внутри закрытых помещений. Обеспечить требуемую точность позиционирования позволяют иные подходы к разработке программно-аппаратных систем позиционирования объектов внутри помещения, именуемые IPS (англ. Indoor Positioning System). Конкретный выбор технологии зависит от области применения.

В составе телемедицинских систем IPS позволяют отслеживать перемещение пациентов по стационару в режиме реального времени и оказывать им своевременную медицинскую помощь. Это повышает качество оказания медицинской помощи и снижает смертность пациентов. В [1–6] описаны следующие технологии indoor-позиционирования:

- *оптическое позиционирование*, основанное на свойствах светового излучения;
- *инерциальное позиционирование*, основанное на оценке текущей позиции объекта с учетом его ранее известной позиции, скорости и направлении 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 возможностей наиболее распространенных технологий оптического позиционирования в определении местонахождения пациентов внутри здания стационара в режиме реального времени.

1. Выбор оценочных критериев

Для оценки применимости оптической технологии для indoor-позиционирования внутри медицинских учреждений необходимо учитывать следующие критерии:

- *точность позиционирования* — определение местоположения объектов должно выполняться с точностью до конкретного помещения и не должна превышать 1-2 метров;
- *возможность однозначной идентификации* контролируемых объектов;
- *радиус действия* связи;
- *помехоустойчивость* — медицинские учреждения оборудованы техникой, которая может создавать сильные электромагнитные помехи, что может ухудшать качество связи и значительно снижать точность позиционирования;
- *безопасность* канала связи, исключая потери и искажения данных;
- *пропускная способность* канала связи, обеспечивающая позиционирование в режиме реального времени;
- *вес и габариты* оборудования;
- *энергопотребление*;
- *простота развертывания и обслуживания* IPS.

2. Описание оптической технологии

Оптическая технология использует свойства светового излучения. Все существующие оптические технологии indoor-позиционирования можно поделить на два больших класса:

- 1) позиционирование объектов с помощью инфракрасного (ИК) излучения;
- 2) позиционирование объектов с помощью видимого света (технология VLC — с англ. Visible Light Communication) (лазеры, светодиоды и пр.).

2.1. Позиционирование на базе инфракрасного излучения

IPS, использующие в качестве технологии позиционирования ИК-излучение, можно разделить на два типа: активные и пассивные [4]. Простая активная IPS-система на базе ИК-излучения включает в себя

светодиод, излучающий периодические импульсы в ИК-диапазоне (маяк) и приемный фотодиод для обнаружения и захвата этих импульсов (приемник). Местонахождение объекта обычно рассчитывается по времени прохождения ИК-импульса от маяка к приемнику [1, 3, 4]. В некоторых системах при расчете местоположения учитывается угол поступления сигнала маяка на приемник [7, 8, 12, 13]. Для реализации indoor-позиционирования в больших помещениях применяется сеть инфракрасных приемников, размещаемых под потолком [4, 8–13].

Активный маяк обычно представляет собой отдельное устройство, которое закрепляется на объекте слежения, но в некоторых системах в качестве маяка могут выступать ИК-датчики, встраиваемые в смартфоны [11]. Главным преимуществом активной ИК-технологии является возможность идентифицировать объект слежения, так как каждый маяк излучает уникальный сигнал [4]. Недостаток таких систем обуславливается наличием маяка как отдельного устройства, которое должно прикрепляться к каждому объекту слежения: человек может просто забыть надеть такой датчик, либо у датчика может разрядиться аккумулятор. Не каждый смартфон имеет ИК-датчик и может быть использован в качестве маяка.

Отличие пассивной ИК-технологии от активной заключается в отсутствии в IPS подвижного маяка [14, 15]. Пассивные системы чаще всего используют пироэлектрические ИК-датчики, которые отслеживают людей в помещении за счет тепла их тел. В пассивных инфракрасных IPS датчики располагают под потолком помещения, а в больших помещениях применяют сеть таких датчиков. Достоинством таких систем является отсутствие маяков, но основным недостатком является невозможность идентификации объектов отслеживания. В большинстве пассивные системы способны зафиксировать только движение объекта [15], но в работе [14] авторы описывают систему, различающую вид и длительность человеческой активности. Система предназначена для позиционирования пожилых людей внутри их домов. На основании вида и длительности той или иной активности система принимает решения. Например, если объект слежения упал и лежит продолжительное время, система может отправить сигнал вызова службы спасения.

ИК-технология может совмещаться с другими технологиями indoor-позиционирования в составе гибридных IPS-систем для повышения точности позиционирования [10, 11].

В целом, indoor-позиционирование на базе ИК-технологии обладает следующими преимуществами [1–15]:

- радиус действия ИК-датчиков может достигать 30 м;
- скорость передачи данных может достигать нескольких гигабит в секунду;
- ИК-модули обладают невысокой стоимостью и потребляют небольшое количество энергии;
- активная ИК-технология позволяет идентифицировать объект слежения;
- ИК-излучение не распространяется через стены и дверные проемы, что гарантирует определение местоположения объекта в рамках конкретного помещения с точностью от 10 см до 2 м.

К основным недостаткам indoor-позиционирования на базе ИК-технологии можно отнести [1–15]:

- низкий уровень защищенности канала связи;
- обязательное наличие прямой видимости между маяком и приемником (или объектом слежения и ИК-датчиком);
- на качество ИК-связи большое влияние оказывает солнечный свет и пыль, поэтому для повышения точности позиционирования необходимы дополнительные программные фильтры.

2.2. Позиционирование на базе технологии VLC

Технология VLC использует видимый свет для передачи данных. Передача данных здесь возможна благодаря способности источника света кодировать данные посредством мерцания. Наиболее подходящими источниками света для реализации VLC-технологии являются светодиоды. Они способны обеспечить мерцание с достаточно высокой частотой так, чтобы человеческое зрение не смогло его воспринять [4, 16, 17].

Обобщенная архитектура IPS-систем на базе технологии VLC изображена на рисунке 1 [16, 17].

Многие IPS имеют два или более источника света в комнате. Это означает, что приемник может фиксировать несколько передатчиков одновременно. В этом случае требуется мультиплексирование световых потоков всех светодиодов комнаты для создания общей среды передачи данных. Согласно рисунку 1, IPS содержит передатчик и приемник. Передатчик состоит из массива светодиодов, освещающих помещение,

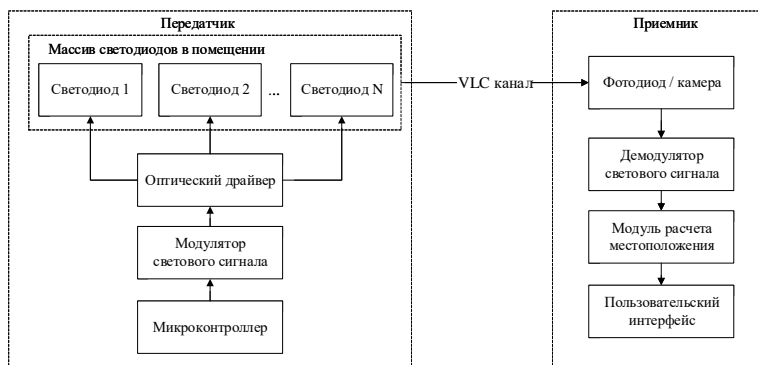


Рисунок 1. Обобщенная архитектура IPS на базе технологии VLC

микроконтроллера, модулятора светового сигнала и оптического драйвера. Микроконтроллер обеспечивает управление средой передачи данных. Модулятор кодирует световой сигнал для каждого светодиода системы по заданному алгоритму таким образом, чтобы после демодуляции на стороне приемника было возможно однозначно идентифицировать источник светового сигнала. Оптический драйвер управляет мерцанием каждого светодиода согласно заданному алгоритму.

Приемник IPS содержит устройство, фиксирующее световой сигнал, демодулятор светового сигнала, модуль расчета местоположения и пользовательский интерфейс. Наиболее распространенным решением являются системы, в которых в качестве подвижного маяка выступает приемник. Приемник фиксирует получение светового сигнала, демодулятор выполняет демодуляцию полученного сигнала, определение положения приемника в пространстве выполняется за счет модуля расчета местоположения, а взаимодействие с IPS осуществляется через пользовательский интерфейс.

IPS может строиться на базе одного приемника и нескольких светодиодов [16, 18–23], на базе многих приемников и одного светодиода [16, 18] или на базе гибридизации нескольких технологий [16, 24–27]. Чаще всего VLC-технологии объединяют с инерциальной [24–26]. Инерциальная составляющая здесь позволяет определить положение приемника относительно источника света. Для этого применяются инерциальные датчики, встроенные в мобильные телефоны [24, 26] или отдельные инерциальные датчики [25]. Также можно встретить системы, в которых VLC-технология объединяется с вращающимся узкополосным лазером [27], который определяет местоположение объекта относительно того или иного источника света.

IPS, в состав которых входит один приемник и один светодиод, используют дополнительные датчики (чаще всего — инерциальные [16, 24, 26]), так как получаемых данных недостаточно для позиционирования. Однако, в статье [28] авторы описывают IPS на базе одного светодиода и одного приемника, представляющего собой камеру смартфона. Каждый светодиод в помещении имеет уникальный идентификатор, привязанный к местоположению, и помечается красным маркером с одной и той же стороны. Позиционирование приемника осуществляется за счет анализа геометрических параметров изображения и положения маркера на изображении светодиода. Такой подход позволяет получить точную и надежную оценку местоположения приемника.

При разработке IPS на базе технологии VLC необходимо учитывать три основных аспекта [17]:

1) *Тип используемых светодиодов.* Все существующие светодиоды можно разделить на два типа: белые и цветные. Белые светодиоды обладают более высокой скоростью передачи данных (более 100 Мбит/с), но имеют ограниченную ширину полосы частот модуляции. Цветные светодиоды, наоборот, обладают более широкой полосой частот модуляции, но низкой скоростью передачи данных (40 Мбит/с) [16, 17].

2) *Тип модуляции светового сигнала.* Для наложения информации на несущий световой сигнал могут использоваться различные типы модуляций: OOK [17, 25, 27, 28], PPM [17], OFDM [23], OFDMA [22], CSK [17], CAP [17], UPPS [19, 21].

3) *Тип используемого приемника.* Зачастую в качестве приемника выступает фотодиод или датчик изображения (камера) [16, 17]. Встроенные в камеры современных смартфонов алгоритмы технического зрения избавляют от необходимости мультиплексирования световых потоков. Точность позиционирования камерой не зависит от многолучевого распространения, а скорость обработки данных для определения местоположения приемника является более высокой [16–19].

Для определения расстояния между приемником и передатчиком используются следующие методы:

– *TOA* (time of arrival) — метод определяет расстояние до объекта по времени прохождения сигнала от передатчика к приемнику. Для успешной реализации метода необходима точная синхронизация по времени между светодиодами и приемниками [16, 17, 21];

– *TDOA* (time difference of arrival) или мультилатерация — метод работает в системах с тремя и более приемниками. Расстояние до источника сигнала определяется за счет разницы во времени прибытия

сигнала на разные приемники. Для реализации необходима точная синхронизация по времени [16, 17, 20, 21];

– *RSS* (received signal strength) — метод рассчитывает расстояние от приемника до источника за счет силы сигнала, принимаемого источником [16, 17, 20, 21, 23, 25–27, 29]. Метод нуждается в равномерном освещении во всех точках помещения для уменьшения ошибок позиционирования [20, 21]

– *AOA* (angle of arrival) — метод рассчитывает расстояние до источника сигнала по направлению распространения сигнала, падающего на приемник, а именно, по углу между линией прямой видимости и нормалью плоскости передатчика [16–18, 23, 26, 27].

В IPS на базе фотодиодов в качестве методов определения расстояния обычно применяют *RSS*, *TOA/TDOA* или *AOA*. Системы на базе датчиков изображений используют методы *AOA* или совмещаются с технологиями машинного зрения [16, 17, 19, 21].

Для успешного позиционирования объекта внутри помещения недостаточно знать только расстояние между источником и приемником. Также необходимо знать положение приемника относительно источника. Для этого применяются алгоритмы позиционирования, наиболее распространенными из них являются трилатерация, триангуляция, приближение и дактилоскопическая идентификация [16, 17]. Для позиционирования в системах на базе датчиков изображения также применяется эффект скользящего затвора [16, 19, 24]. Для повышения точности позиционирования в дополнение к вышеперечисленным алгоритмам могут применяться дополнительные программные фильтры (фильтр Калмана, фильтр частиц и пр.) [16, 17, 23, 25].

Трилатерация определяет местоположение объекта по трем светодиодам, координаты которых заранее известны [16, 17, 22, 28]. Для этого в поле видимости приемника должно всегда находиться не менее трех источников светового сигнала. Местоположения приемника оценивается геометрическими расчетами. На первом шаге измеряется расстояние от приемника до каждого из трех светодиодов. Каждое расстояние принимается за радиус окружности с центром в области светодиода. Приемник находится в точке пересечения трех окружностей. Зная координаты центра и радиус каждой окружности, можно рассчитать местоположение приемника. Трилатерация успешно применяется с такими методами, как *RSS*, *TOA*, и *TDOA* [16, 17].

Дактилоскопическая идентификация состоит из двух этапов: на первом этапе формируется база данных об окружающей среде (используемый метод позиционирования, набор характеристик, однозначно

идентифицирующих конкретный источник света и пр.), на втором этапе сигнал, захваченный приемником сравнивается с полученной базой данных. Позиция объекта определяется в том случае, если в базе данных было найдено совпадение с изображением, захваченным приемником. Тактилоскопическую идентификацию можно совмещать с методами RSS, AOA, TOA [16, 17, 27, 28].

Метод AOA может комбинироваться с алгоритмом триангуляции [16, 21, 27]. В отличие от трилатерации этот алгоритм использует для расчетов измеренные углы [16].

При использовании метода приближения приемник анализирует сигналы от передатчиков, координаты которых заранее известны. Передатчик с более сильным сигналом считается наиболее близким по отношению к приемнику, таким образом за приблизительное местоположение приемника в пространстве берутся координаты этого передатчика [16, 17, 22]. Если приемник фиксирует несколько сигналов, имеющих одинаковую интенсивность, то считается, что он находится посередине между передатчиками. Алгоритм имеет наименьшую точность, но очень прост в реализации. Чаще всего алгоритм приближения комбинируют с методом RSS [16, 21].

В статье [29] рассматривается методика позиционирования, именуемая пикселизацией. Методика основана на инновационной конструкции используемых в системе светильников. Светильник содержит четыре светодиода. Каждый светодиод оборудован линзой с поверхностью свободной формы, способной фокусировать световой поток в обособленный пучок. Светодиоды имеют уникальные идентификаторы и углы наклона по отношению друг к другу. Светильник обеспечивает равномерное освещение поверхности, но отражения от светодиодов делят помещение на 13 частей (пикселей), и положение этих отражений в пространстве можно однозначно идентифицировать.

Технология VLC является перспективным решением как для реализации беспроводной связи, так и для реализации IPS. Достоинствами VLC-технологии являются:

- высокая скорость передачи данных, так как видимый свет обладает широкой полосой пропускания (100 МГц) [4, 16, 17, 23];
- надежность связи, так световые волны не могут проникать сквозь стены и ограничиваются отдельной комнатой, таким образом, не создавая друг другу помех [16, 17, 25];
- безопасность канала связи на физическом уровне, поскольку свет не способен проникать сквозь стены и перекрытия;

– видимый свет не создает радиочастотных и электромагнитных помех, а электромагнитные и радиочастотные помехи не оказывают на него влияние [16, 17, 23, 25];

– рентабельность — светодиоды обладают низким энергопотреблением, длительным сроком службы и низкой стоимостью, а в качестве среды передачи данных пригодна уже существующая инфраструктура [16, 17, 23, 25, 27];

– высокая точность позиционирования (в среднем от нескольких сантиметров до полуметра) [16–29];

– авторы многих рассмотренных источников утверждают, что IPS-системы на базе VLC идеально подходят для применения в медицинских учреждениях [16, 17, 29].

Несмотря на ряд достоинств, технология VLC обладает следующими недостатками:

1) Необходима прямая видимость между приемником и передатчиком [16, 17, 25].

2) На точность позиционирования влияет отраженный от стен, пола и других поверхностей свет (многолучевое отражение). Если источник света находится по центру, то из-за многолучевого отражения в углах и по краям комнаты ошибка позиционирования будет выше, чем в центре. Для повышения точности необходимо размещать светодиоды в помещении с высокой плотностью, чтобы обеспечить равномерное освещение [16, 23, 25, 28].

3) Несколько светодиодов в одном помещении могут создавать друг другу помехи [17, 22], если они используют одну и ту же полосу частот.

4) При использовании алгоритма дактилоскопической идентификации разные светодиоды могут быть запечатлены похожим образом, что может вызвать неоднозначность при вычислении местоположения приемника [17].

5) Скорость передачи данных в IPS на базе VLC ограничена скоростью модуляции/демодуляции светового сигнала.

6) Выполнение сложных алгоритмов позиционирования может вызывать задержки в работе IPS [17].

7) В IPS, вычисляющих местоположение объекта на базе нескольких светодиодов, недопустим выход из строя источников света. В противном случае выполнение позиционирования будет невозможно [22, 26].

8) Все рассмотренные IPS на базе технологии VLC находятся на стадии экспериментальных исследований. Ни одна из них пока что не является полноценным коммерческим продуктом, готовым к внедрению на реальные объекты.

Заключение

На основании рассмотренных данных была составлена сводная таблица (рисунок 2).

Оценочный критерий	Активная ИК технология	Пассивная ИК технология	Технология VLC
Точность позиционирования	●●●●○	●●●●○	●●●●●
Радиус действия связи	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Сложность развертывания	●●○○○	●○○○○	●●●●○
Энергоэффективность	✓	✓	✓
Компактность	✓	✓	✓
Пропускная способность канала связи	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Помехоустойчивость	●●●○○	●●●○○	●●●●●
Идентификация объекта слежения	✓	✗	✓
Защищенность канала связи	✗	✓	✓

РИСУНОК 2. Сводная таблица по оптическим технологиям indoor-позиционирования

Как можно увидеть из рисунка, оптическое позиционирование имеет высокую точность (менее метра) и невосприимчиво к электромагнитным помехам. Оно не оказывает негативного влияния на психическое и физическое здоровье человека. Еще одним преимуществом оптической технологии является тот факт, что световое излучение не способно проникать сквозь стены и межэтажные перекрытия, таким образом, местоположение объекта можно определить с точностью до конкретного помещения. Также оптическая технология позволяет однозначно идентифицировать объект позиционирования. К недостаткам технологии можно отнести обязательное наличие прямой видимости между источником и приемником светового сигнала, а также влияние отраженного света на точность позиционирования. Данные недостатки можно нивелировать на этапе проектирования IPS. Из этого можно сделать вывод о том, что в целом оптическая технология подходит для indoor-позиционирования в медицинских учреждениях. Однако, выбор того или иного вида оптической технологии зависит от многих факторов.

Несмотря на многие достоинства технологии VLC, ее применение в рамках слежения за пациентами на территории медицинских

учреждений может быть затруднительным по следующему ряду причин:

1) Вычисление местоположения объекта в большинстве случаев выполняется на стороне приемника светового сигнала (мобильного устройства субъекта). Такая архитектура IPS больше подходит для навигации субъекта внутри помещения, но не для слежения за ним и за его жизненными показателями в режиме реального времени. При реализации слежения в IPS на базе мобильных устройств необходимо создавать дополнительную инфраструктуру и использовать дополнительное оборудование, чтобы обеспечить возможность передачи данных с мобильного устройства на сервер для обработки данных.

Кроме того, у субъекта может не оказаться мобильного устройства, либо оно может быть несовместимо с используемым программным обеспечением.

2) Не все мобильные устройства могут обеспечить выполнение с оптимальной скоростью сложных алгоритмов позиционирования.

3) Использование в IPS отдельных датчиков вместо мобильных устройств может повысить расходы на проектирование, развертывание и обслуживание системы. Системы на базе отдельных датчиков чаще всего имеют более сложную архитектуру и применяют более сложные алгоритмы позиционирования. Это может сказаться как на стоимости системы в целом, так и на ее быстродействии.

4) Для определения местоположения пациента необходимо наличие освещения.

5) Если алгоритмы IPS-системы привязаны к определенному количеству светодиодов, то возникнет необходимость в установке новых светильников, либо в изменении положения уже существующих светильников, что ведет к дополнительным расходам.

Таким образом, IPS на базе технологии VLC плохо подходят для слежения за пациентами в режиме реального времени.









Indoor-позиционирование на базе активной ИК-технологии имеет ряд преимуществ по сравнению с технологией VLC. Несмотря на то, что для развертывания IPS на базе активной ИК-технологии требуется создание дополнительной инфраструктуры, ее стоимость может оказаться более низкой, так как ИК-датчики, используемые в IPS, обладают невысокой стоимостью. Таким образом, каждого пациента в здании можно оборудовать недорогим ИК-маяком. При выходе из строя ИК-маяка, его можно с легкостью заменить. Пользователю не нужно иметь при себе мобильного устройства с дополнительно устанавливаемым программным обеспечением, достаточно только

ИК-маяка. Позиционирование пациентов в ИК-излучении не требует видимого света и при выключении освещения IPS-система будет продолжать функционировать. Простые алгоритмы позиционирования обеспечивают высокое быстродействие такой IPS.

Список литературы

- [1] А. А. Вахрушева. «Технологии позиционирования в режиме реального времени», *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, **22:1** (2017), с. 170–177. ✨
↑_{134.136.137}
- [2] М. С. Смольков, Ю. А. Сухобок. «Анализ современных технологий построения систем indoor-навигации», *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*, **2** (2019), с. 88–92. ✨
↑_{134.137}
- [3] J. Mier, A. Jaramillo-Alcázar, J. J. Freire. “At a glance: indoor positioning systems technologies and their applications areas”, *ICITS 2019: Information Technology and Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. **918**, 2019, pp. 483–493. doi ↑_{134.136.137}
- [4] R. F. Brena, J.-P. García-Vázquez, C. E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, J. Fangmeyer. “Evolution of indoor positioning technologies: a survey”, *Journal of Sensors*, **2017** (2017), 2630413, 21 pp. doi ↑_{134.135.136.137.141}
- [5] Т. И. Касаткина, М. Ю. Чепелев, И. М. Голев. «Анализ существующих технологий навигации внутри помещения», *Актуальные проблемы деятельности подразделений ВИС*, Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 25 октября 2018 г.), Издательско-полиграфический центр "Научная книга", Воронеж, 2018, ISBN 978-5-4446-1225-5, с. 211–213. ✨ ↑_{134.137}
- [6] P. Davidson, R. Piché. “A survey of selected indoor positioning methods for smartphones”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **19:2** (2016), pp. 1347–1370. doi ↑_{134.137}
- [7] W. Yao, L. Ma. “Research and application of indoor positioning method based on fixed infrared beacon”, 2018 37th Chinese Control Conference (CCC) (25–27 July 2018, Wuhan, China), pp. 5375–5379. doi ↑_{136.137}
- [8] N. Sakai, K. Zempo, K. Mizutani, N. Wakatsuki. “Linear positioning system based on IR beacon and angular detection photodiode array”, *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, IPIN 2016 (Alcalá de Henares, Spain), 4 pp. URL ↑_{136.137}
- [9] T. Arai, T. Yoshizawa, T. Aoki, K. Zempo, Y. Okada. “Evaluation of indoor positioning system based on attachable infrared beacons in metal shelf environment”, 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (11–13 Jan. 2019, Las Vegas, NV, USA). doi ↑_{136.137}

- [10] D. Rodríguez-Navarro, J.-L. Lázaro-Galilea, Á. De-La-Llana-Calvo, I. Bravo-Muñoz, A. Gardel-Vicente, G. Tsigiotis, J. Iglesias-Miguel. “Indoor positioning system based on a PSD detector, precise positioning of agents in motion using AoA techniques”, *Sensors*, **17**:9 (2017), pp. 2124–2150. [doi](#) ↑_{136,137}
- [11] T. Raharijaona, R. Mawonou, Thanh Vu Nguyen, F. Colonnier, M. Boyron, J. Diperi, S. Viollet. “Local positioning system using flickering infrared LEDs”, *Sensors*, **17**:1 (2017), pp. 2518–2534. [doi](#) ↑_{136,137}
- [12] L. Januszkiewicz, J. Kawecki, R. Kawecki, P. Oleksy. “Wireless indoor positioning system with inertial sensors and infrared beacons”, 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) (10–15 April 2016, Davos, Switzerland), 2016, pp. 1–3. [doi](#) ↑_{136,137}
- [13] W. A. Cahyadi, Y. H. Chung, T. Adiono. “Infrared indoor positioning using invisible beacon”, 2019 Eleventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (2–5 July 2019, Zagreb, Croatia), pp. 341–345. [doi](#) ↑_{136,137}
- [14] Xiaomu Luo, Q. Guan, H. Tan, L. Gao, Zh. Wang, Xiaoyan Luo. “Simultaneous indoor tracking and activity recognition using pyroelectric infrared sensors”, *Sensors*, **17**:8 (2017), pp. 1738–1756. [doi](#) ↑_{136,137}
- [15] B. Alathari, M.-F. Kadhim, S. Al-Khammasi, N.-S. Ali. “A framework implementation of surveillance tracking system based on PIR motion sensors”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **13**:1 (2019), pp. 235–242. [doi](#) ↑_{136,137}
- [16] Y. Zhuang, L. Hua, L. Qi, J. Yang, P. Cao, Y. Cao. “A survey of positioning systems using visible LED lights”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **20**:3 (2018), pp. 1963–1988. [doi](#) ↑_{137,138,139,140,141,142}
- [17] J. Luo, L. Fan, H. Li. “Indoor positioning systems based on visible light communication: State of the art”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **19**:4 (2017), pp. 2871–2893. [doi](#) ↑_{137,139,140,141,142}
- [18] M. H. Bergen, F. S. Schaal, R. Klukas, J. Cheng, J. F. Holzman. “Toward the implementation of a universal angle-based optical indoor positioning system”, *Frontiers of Optoelectronics*, **11**:2 (2018), pp. 116–127. [doi](#) ↑_{138,139,140,142}
- [19] B. Lin, Z. Ghassemlooy, Ch. Lin, X. Tang, Y. Li, Sh. Zhang. “An indoor visible light positioning system based on optical camera communications”, *IEEE Photonics Technology Letters*, **29**:7 (2017), pp. 579–582. [doi](#) ↑_{138,139,140,142}
- [20] A. Naeem, N. Ui Hassan, M. Adeel Pasha, Ch. Yuen, A. Sikora. “Performance analysis of TDOA-based indoor positioning systems using visible LED lights”, 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS) (20–21 Sept. 2018, Lviv, Ukraine), pp. 103–107. [doi](#) ↑_{138,140,142}
- [21] B. Lin, X. Tang, Z. Ghassemlooy, Ch. Lin, Y. Li. “Experimental demonstration of an indoor VLC positioning system based on OFDMA”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:2 (2017), pp. 1–9. [doi](#) ↑_{138,139,140,141,142}

- [22] R. Zhang, W.-D. Zhong, Q. Kemao, Sh. Zhang. “A single LED positioning system based on circle projection”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:4 (2017), pp. 1–9.  [↑_{138,139,140,141,142}](#)
- [23] M. Aminikashani, W. Gu, M. Kavehrad. “Indoor positioning with OFDM visible light communications”, 2016 13th IEEE annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (9–12 Jan. 2016, Las Vegas, NV, USA), pp. 505–510.  [↑_{138,139,140,141,142}](#)
- [24] Y. Q. Ji, Ch. X. Xiao, J. Gao, J. M. Ni, H. Cheng, P. Ch. Zhang, G. Sun. “A single LED lamp positioning system based on CMOS camera and visible light communication”, *Optics Communications*, **443** (2019), pp. 48–54.  [↑_{138,139,140,142}](#)
- [25] Z. Li, A. Yang, H. Lv, L. Feng, W. Song. “Fusion of visible light indoor positioning and inertial navigation based on particle filter”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:5 (2017), pp. 1–13.  [↑_{138,139,140,141,142}](#)
- [26] Y. Hou, Sh. Xiao, M. Bi, Y. Xue, W. Pan, W. Hu. “Single LED beacon-based 3-D indoor positioning using off-the-shelf devices”, *IEEE Photonics Journal*, **8**:6 (2016), pp. 1–11.  [↑_{138,139,140,142}](#)
- [27] E. W. Lam, T. D. C. Little. “Indoor 3D localization with low-cost LiFi components”, Global LIFI Congress (GLC) (12–13 June 2019, Paris, France), 2019, pp. 1–6.  [↑_{138,139,140,141,142}](#)
- [28] W. Gu, M. Aminikashani, P. Deng, M. Kavehrad. “Impact of multipath reflections on the performance of indoor visible light positioning systems”, *Journal of Lightwave Technology*, **34**:10 (2016), pp. 2578–2587.  [↑_{139,140,141,142}](#)
- [29] O. R. Popoola, S. Sinanović, R. Ramirez-Iniguez, W. O. Popoola. “LED-based indoor positioning system using novel optical pixelation technique”, *Healthcare Technology Letters*, **6**:3 (2019), pp. 76–81.  [↑_{140,141,142}](#)

Поступила в редакцию 26.05.2020


Переработана 28.07.2020


Опубликована 3.09.2020

Рекомендовал к публикации

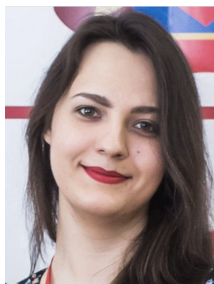
проф. В. М. Хачумов

Пример ссылки на эту публикацию:

И. В. Поспелова, Д. С. Брагин, И. В. Черепанова, В. Н. Серебрякова. «Оптические технологии локального позиционирования в здравоохранении. (аналитический обзор)». *Программные системы: теория и приложения*, 2020, **11**:3(46), с. 133–151.  [10.25209/2079-3316-2020-11-3-133-151](#)

 http://psta.psiras.ru/read/psta2020_3_133-151.pdf

Об авторах:



Ирина Владимировна Поспелова

м.н.с., лаборатория регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, г. Томск, Россия



0000-0002-4215-285X

e-mail: pospelova.irina88@gmail.com



Дмитрий Сергеевич Брагин

м.н.с., лаборатория регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, г. Томск, Россия



0000-0002-0875-3301

e-mail: braginds@mail.ru



Ирина Владимировна Черепанова

м.н.с., лаборатория регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, г. Томск, Россия



0000-0002-6626-4979

e-mail: iv-sushkova@mail.ru



Виктория Николаевна Серебрякова

к.м.н., руководитель лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, г. Томск, Россия



0000-0002-9265-708X

e-mail: vsk75@yandex.ru

CSCSTI 50.45.31,76.13.19
UDC 004.354:615.47

Irina V. Pospelova, Dmitriy S. Bragin, Irina V. Cherepanova, Victoria N. Serebryakova. *Optical technologies of local positioning in healthcare (an analytic review)*.

ABSTRACT. Local positioning is the determination of the location of moving objects in a closed space in real-time. The use of indoor-positioning systems as part of telemedicine systems will make it possible to quickly locate the patient's location in cases where his vital signs deteriorate sharply and promptly provide him with the necessary medical care. It is especially important to track the movements of patients undergoing complex surgical interventions. The article aims to assess the applicability of optical technologies for determining the location of patients inside a hospital building.

The article contains an analytical review of scientific sources devoted to local positioning based on optical technologies. The study revealed the advantages and disadvantages of the considered approaches. Each of them can be used in medical local positioning systems.

Recommendations for selecting the technological basis of local positioning systems are presented, reflecting the features of use in medical institutions.

Key words and phrases: telehealth, IPS, indoor-positioning, local positioning systems, optical technologies of local positioning, infrared emission, VLC technology, positioning in visible light, positioning in infrared emission.

2020 *Mathematics Subject Classification:* 78A55; 92C50,94A13

References

- [1] A. A. Vakhrusheva. "Positioning technologies in real time", *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii)*, **22**:1 (2017), pp. 170–177 (in Russian). [↑](#)_{134,136,137}
- [2] M. S. Smol'kov, Yu. A. Sukhobok. "Analysis of current technologies of construction indoor navigation systems", *Nauchno-tekhnicheskoye i ekonomicheskoye sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, **2** (2019), pp. 88–92 (in Russian). [↑](#)_{134,137}
- [3] J. Mier, A. Jaramillo-Alcázar, J. J. Freire. "At a glance: indoor positioning systems technologies and their applications areas", *ICITS 2019: Information Technology and Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. **918**, 2019, pp. 483–493. [doi](#)[↑](#)_{134,136,137}
- [4] R. F. Brena, J.-P. García-Vázquez, C. E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, J. Fangmeyer. "Evolution of indoor positioning technologies: a survey", *Journal of Sensors*, **2017** (2017), 2630413, 21 pp. [doi](#)[↑](#)_{134,135,136,137,141}

- [5] T.I. Kasatkina, M. Yu. Chepelev, I.M. Golev. “Analysis of existing indoor navigation technologies”, *Aktual'nyye problemy deyatel'nosti podrazdeleniy UIS*, Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 25 oktyabrya 2018 g.), Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr "Nauchnaya kniga", Voronezh, 2018, ISBN 978-5-4446-1225-5, pp. 211–213 (in Russian). [↑](#)_{134,137}
- [6] P. Davidson, R. Piché. “A survey of selected indoor positioning methods for smartphones”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **19**:2 (2016), pp. 1347–1370. [doi](#) [↑](#)_{134,137}
- [7] W. Yao, L. Ma. “Research and application of indoor positioning method based on fixed infrared beacon”, 2018 37th Chinese Control Conference (CCC) (25–27 July 2018, Wuhan, China), pp. 5375–5379. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [8] N. Sakai, K. Zempo, K. Mizutani, N. Wakatsuki. “Linear positioning system based on IR beacon and angular detection photodiode array”, *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, IPIN 2016 (Alcalá de Henares, Spain), 4 pp. [URU](#) [↑](#)_{136,137}
- [9] T. Arai, T. Yoshizawa, T. Aoki, K. Zempo, Y. Okada. “Evaluation of indoor positioning system based on attachable infrared beacons in metal shelf environment”, 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (11–13 Jan. 2019, Las Vegas, NV, USA). [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [10] D. Rodríguez-Navarro, J.-L. Lázaro-Galilea, Á. De-La-Llana-Calvo, I. Bravo-Muñoz, A. Gardel-Vicente, G. Tsigotis, J. Iglesias-Miguel. “Indoor positioning system based on a PSD detector, precise positioning of agents in motion using AoA techniques”, *Sensors*, **17**:9 (2017), pp. 2124–2150. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [11] T. Raharijaona, R. Mawonou, Thanh Vu Nguyen, F. Colonnier, M. Boyron, J. Dipéri, S. Viollet. “Local positioning system using flickering infrared LEDs”, *Sensors*, **17**:1 (2017), pp. 2518–2534. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [12] Ł. Januszkiewicz, J. Kawecki, R. Kawecki, P. Oleksy. “Wireless indoor positioning system with inertial sensors and infrared beacons”, 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) (10–15 April 2016, Davos, Switzerland), 2016, pp. 1–3. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [13] W. A. Cahyadi, Y. H. Chung, T. Adiono. “Infrared indoor positioning using invisible beacon”, 2019 Eleventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (2–5 July 2019, Zagreb, Croatia), pp. 341–345. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [14] Xiaomu Luo, Q. Guan, H. Tan, L. Gao, Zh. Wang, Xiaoyan Luo. “Simultaneous indoor tracking and activity recognition using pyroelectric infrared sensors”, *Sensors*, **17**:8 (2017), pp. 1738–1756. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [15] B. Alathari, M.-F. Kadhim, S. Al-Khammasi, N.-S. Ali. “A framework implementation of surveillance tracking system based on PIR motion sensors”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **13**:1 (2019), pp. 235–242. [doi](#) [↑](#)_{136,137}
- [16] Y. Zhuang, L. Hua, L. Qi, J. Yang, P. Cao, Y. Cao. “A survey of positioning systems using visible LED lights”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **20**:3 (2018), pp. 1963–1988. [doi](#) [↑](#)_{137,138,139,140,141,142}
- [17] J. Luo, L. Fan, H. Li. “Indoor positioning systems based on visible light communication: State of the art”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **19**:4 (2017), pp. 2871–2893. [doi](#) [↑](#)_{137,139,140,141,142}

- [18] M. H. Bergen, F. S. Schaal, R. Klukas, J. Cheng, J. F. Holzman. “Toward the implementation of a universal angle-based optical indoor positioning system”, *Frontiers of Optoelectronics*, **11**:2 (2018), pp. 116–127. doi↑_{138,139,140,142}
- [19] B. Lin, Z. Ghassemlooy, Ch. Lin, X. Tang, Y. Li, Sh. Zhang. “An indoor visible light positioning system based on optical camera communications”, *IEEE Photonics Technology Letters*, **29**:7 (2017), pp. 579–582. doi↑_{138,139,140,142}
- [20] A. Naeem, N. Ui Hassan, M. Adeel Pasha, Ch. Yuen, A. Sikora. “Performance analysis of TDOA-based indoor positioning systems using visible LED lights”, 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS) (20–21 Sept. 2018, Lviv, Ukraine), pp. 103–107. doi↑_{138,140,142}
- [21] B. Lin, X. Tang, Z. Ghassemlooy, Ch. Lin, Y. Li. “Experimental demonstration of an indoor VLC positioning system based on OFDMA”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:2 (2017), pp. 1–9. doi↑_{138,139,140,141,142}
- [22] R. Zhang, W.-D. Zhong, Q. Kemao, Sh. Zhang. “A single LED positioning system based on circle projection”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:4 (2017), pp. 1–9. doi↑_{138,139,140,141,142}
- [23] M. Aminikashani, W. Gu, M. Kavehrad. “Indoor positioning with OFDM visible light communications”, 2016 13th IEEE annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (9–12 Jan. 2016, Las Vegas, NV, USA), pp. 505–510. doi↑_{138,139,140,141,142}
- [24] Y. Q. Ji, Ch. X. Xiao, J. Gao, J. M. Ni, H. Cheng, P. Ch. Zhang, G. Sun. “A single LED lamp positioning system based on CMOS camera and visible light communication”, *Optics Communications*, **443** (2019), pp. 48–54. doi↑_{138,139,140,142}
- [25] Z. Li, A. Yang, H. Lv, L. Feng, W. Song. “Fusion of visible light indoor positioning and inertial navigation based on particle filter”, *IEEE Photonics Journal*, **9**:5 (2017), pp. 1–13. doi↑_{138,139,140,141,142}
- [26] Y. Hou, Sh. Xiao, M. Bi, Y. Xue, W. Pan, W. Hu. “Single LED beacon-based 3-D indoor positioning using off-the-shelf devices”, *IEEE Photonics Journal*, **8**:6 (2016), pp. 1–11. doi↑_{138,139,140,142}
- [27] E. W. Lam, T. D. C. Little. “Indoor 3D localization with low-cost LiFi components”, Global LIFI Congress (GLC) (12–13 June 2019, Paris, France), 2019, pp. 1–6. doi↑_{138,139,140,141,142}
- [28] W. Gu, M. Aminikashani, P. Deng, M. Kavehrad. “Impact of multipath reflections on the performance of indoor visible light positioning systems”, *Journal of Lightwave Technology*, **34**:10 (2016), pp. 2578–2587. doi↑_{139,140,141,142}
- [29] O. R. Popoola, S. Sinanović, R. Ramirez-Iniguez, W. O. Popoola. “LED-based indoor positioning system using novel optical pixelation technique”, *Healthcare Technology Letters*, **6**:3 (2019), pp. 76–81. doi↑_{140,141,142}

Sample citation of this publication:

Irina V. Pospelova, Dmitriy S. Bragin, Irina V. Cherepanova, Victoria N. Serebryakova. “Optical technologies of local positioning in healthcare (an analytic review)”. *Program Systems: Theory and Applications*, 2020, **11**:3(46), pp. 133–151. (In Russian).

doi 10.25209/2079-3316-2020-11-3-133-151

URI http://psta.psiras.ru/read/psta2020_3_133-151.pdf