

# Навигация в медицинских учреждениях: современные технологии

Е. Старовойтов, к. т. н.<sup>1</sup>, Е. Скиба<sup>2</sup>

УДК 629.056.8 | ВАК 2.2.12; 2.2.13

В крупных медицинских учреждениях актуальной является проблема навигации в помещениях для отслеживания перемещений пациентов, медперсонала, мобильных роботов, медицинского оборудования. В статье представлен обзор современных технологий и отечественных разработок, которые могут быть использованы для решения этой задачи.

В перспективе в медицинских учреждениях должны получить широкое применение автономные мобильные сервисные медицинские роботы, предназначенные для транспортировки медикаментов, телеприсутствия, справочно-информационного обеспечения и выполнения других функций [1].

Такие медицинские роботы будут компактными, многофункциональными и подвижными. Их назначение заключается в поиске объектов, взаимодействии и получении от них информации, хранении этой информации, ее обработки и передачи человеку. Робот должен перемещаться по клинике и в течение заданного отрезка времени выполнять конкретные задачи, поставленные ему оператором.

Для эксплуатации медицинского робота необходимо сформулировать требования к специальной подготовке зданий: уклону пола, ширине дверных проемов, наличию лифтов, системе открывания дверей, навигационной разметке, блокам дистанционного управления и др. Особое внимание должно уделяться обеспечению безопасности при передвижении робота – предупреждению столкновений, наездов и т.п.

При этом все имеющиеся средства навигации в медицинских учреждениях предназначены только для восприятия людьми и не могут быть использованы роботами. Используемые в настоящее время навигационные конструкции в медицинских учреждениях представляют собой набор разнообразных по исполнению, содержанию и дизайну указателей. В крупных организациях, включающих большое количество корпусов, отделений, блоков, количество объектов навигации может достигать нескольких тысяч. Широко распространены информационные стенды, пилоны, световые панели,

пластиковые таблички, различные напольные и подвесные конструкции.

В то же время исследования показывают недостаточную доступность и безопасность систем навигации для инвалидов и других маломобильных групп населения [2]. Данный факт приходит в противоречие с требованиями к доступности и безопасности пребывания пациентов в медицинских учреждениях.

Таким образом, актуальной задачей является создание навигационных систем для медицинских учреждений, обеспечивающих управление автономными мобильными роботами, определение местоположения и построение маршрутов для всех категорий пациентов.

## ИНДУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ

Для навигации AGV (Automated Guided Vehicle – автоматических самоходных тележек) внутри промышленных и складских сооружений широко применяются тоководущий кабель и магнитная лента [3].

В первом случае (рис. 1) через кабель, проложенный под полом помещения, подается переменный низкочастотный электрический ток, создающий квазистатическое электромагнитное поле. Это поле обнаруживается приемными катушками, сигналы от которых пропорциональны отклонению от трассы, что позволяет автоматически корректировать траекторию перемещения тележки. Модуляция частоты подаваемого по кабелю тока позволяет передавать дополнительную информацию.

Для навигации в основном используется сигнал траекторного рассогласования, определяемый как разность векторов напряженности магнитного поля  $H_1$ ,  $H_2$ , измеряемой обеими приемными катушками

$$\delta = H_1 - H_2. \quad (1)$$

Аналогично осуществляется навигация по магнитной ленте, проложенной на полу помещения (рис. 2).

<sup>1</sup> АО «НИИМА «Прогресс», заместитель начальника отдела разработки смешанных СВЧ-модулей.

<sup>2</sup> АО «НИИМА «Прогресс», начальник отдела главного конструктора.

У первой системы навигации недостаток заключается в необходимости использования токоведущего кабеля с подключенным к нему контактным способом генератором переменного тока. Применение системы второго типа ограничено необходимостью регулярной замены магнитной ленты из-за ее износа, вызванного трением и повреждениями.

Для преодоления указанных недостатков может быть использован способ навигации по однопроводной линии радиопередачи, разработанный в АО «НИИМА «Прогресс» (входит в ГК «Элемент») для автономных роботов и транспортных средств, управляемых экипажем [4].

Данный способ (рис. 3) позволяет определять радиоволновым способом линейное отклонение и путевой угол относительно уложенного в пол или грунт одиночного провода (однопроводной линии радиопередачи), возбуждаемого радиопередающим блоком, за счет регистрации радиоприемным блоком амплитуды и фазы сигнала. Амплитуда сигнала характеризует величину отклонения от трассы, а фаза показывает направление отклонения, что позволяет использовать для определения траекторного рассогласования всего одну антенну.

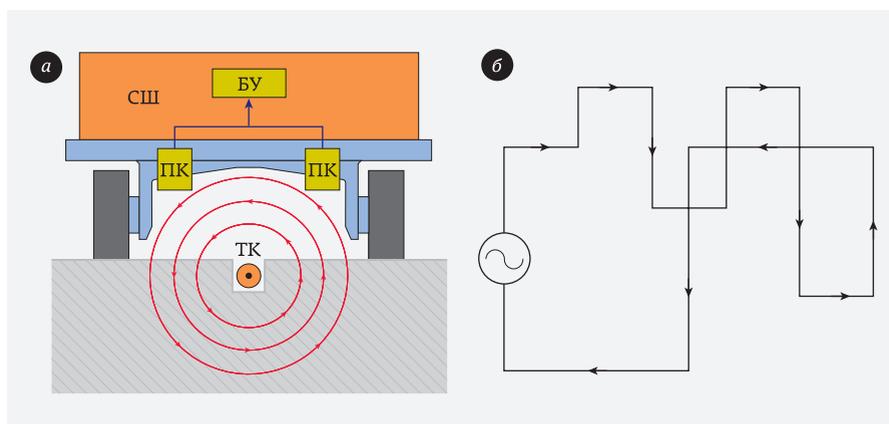
Бортовой радиоприемный блок получает сигналы от однопроводной линии радиопередачи, находящейся в высокочастотном электромагнитном поле бортового радиопередающего блока, посредством индукционной связи через две среды распространения (несущую или опорную поверхность движителя и атмосферу). Однопроводная линия радиопередачи представляет собой кабель с жилами из проводника или диэлектрика.

Для приема сигнала от однопроводной линии радиопередачи могут быть использованы магнитные антенны, а также катушки индуктивности, возбуждаемые высокочастотным полем магнитных антенн из состава радиоприемного блока.

Преимуществом данного метода является навигация робота на влажной поверхности, при наличии разрывов в однопроводной линии радиопередачи, а также бесконтактное возбуждение однопроводной линии радиопередачи, при котором исключается электрический пробой.

## ЛОКАЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

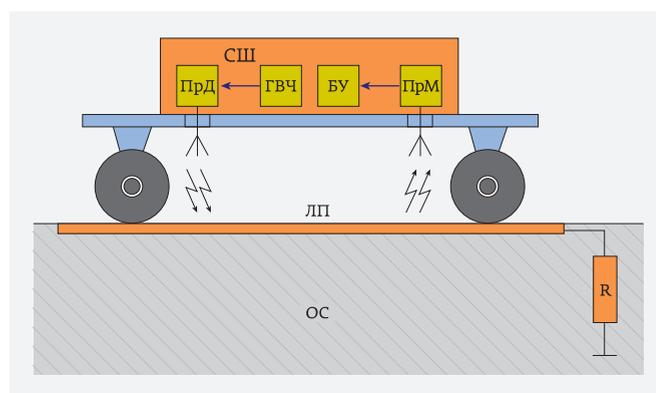
Анализ применимости магнитометрии, инерциальных и акустических технологий для локализации пациента в здании клиники показал, что ни один



**Рис. 1.** Система навигации мобильного робота по токоведущему кабелю: а – аппаратный состав: ТК – токоведущий кабель; ПК – приемные катушки; БУ – блок управления; СШ – самоходное шасси; б – навигационная трасса, заданная токоведущим кабелем



**Рис. 2.** Мобильный робот, использующий для навигации магнитную ленту



**Рис. 3.** Способ навигации по однопроводной линии передачи: ГВЧ – генератор высокой частоты; ПрД – радиопередающий блок; ЛП – однопроводная линия передачи; ОС – окружающая среда; R – активная нагрузка; ПрМ – радиоприемный блок; БУ – блок управления (бортовая информационно-управляющая система); СШ – самоходное шасси

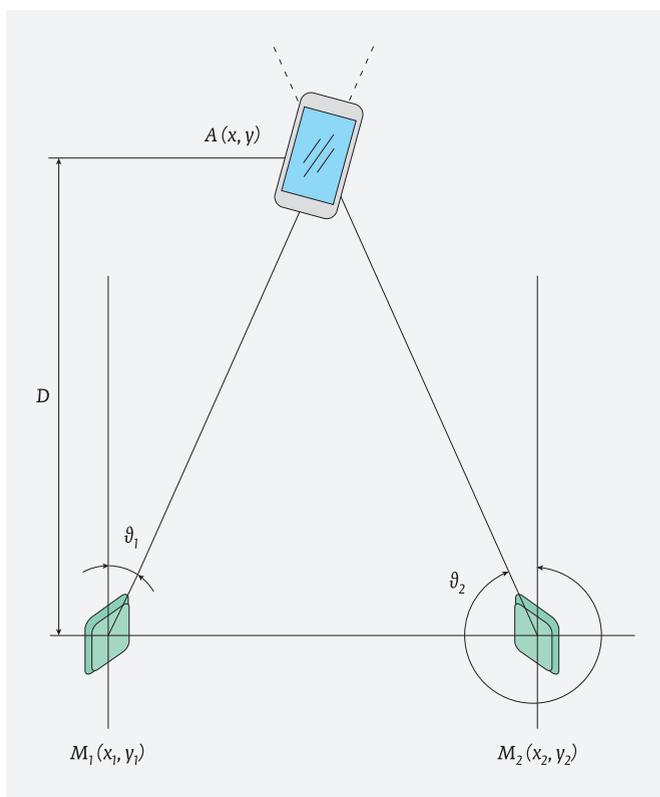


Рис. 4. Определение положения объекта методом AoA

из этих подходов не может быть использован самостоятельно. Применение магнетометра затруднено помехами, создаваемыми рентгеновскими и МРТ-установками. Инерциальные датчики накапливают ошибку со временем, поэтому они нуждаются в постоянной коррекции. Аппараты УЗИ создают помехи для ультразвуковых датчиков [5].

С другой стороны, большое внимание уделяется проблемам электромагнитной совместимости с медицинским оборудованием, в целях недопущения нарушений его работоспособности.

В настоящее время одним из направлений совершенствования системы оказания медицинских услуг являются информационно-телекоммуникационные технологии, позволяющие быстро получать необходимую информацию от портативных носимых устройств – смартфонов или планшетов, которые массово используются практически всеми категориями пользователей.

Для ориентации внутри зданий предназначены системы Indoor-навигации – разновидность систем локальной навигации, позволяющие определять координаты в отсутствие сигналов спутниковых навигационных систем, которые экранируются стенами помещения. В системах Indoor-навигации применяются специальные метки или активные излучающие радиомаяки.

Для идентификации и отслеживания перемещения объектов в логистических решениях широко применяются RFID-метки (Radio Frequency IDentification – радиочастотная идентификация). Конструкция RFID-метки включает антенну и микросхему для хранения информации объемом не менее 128 бит, которая принимается ридером (считывателем). Информация впоследствии может быть перезаписана, метки выпускаются в устойчивом к климатическим и механическим воздействиям исполнении, что позволяет их многократно и длительно использовать.

Самые простые и недорогие пассивные метки не имеют собственного источника питания и работают только при контакте со считывателем. Полупассивные метки имеют источник питания, благодаря которому они могут работать на большем расстоянии от считывателя. Активные метки имеют расширенный функционал и мощный источник питания, позволяющий излучать радиосигнал на дальность более 50 м.

По используемому частотному диапазону RFID-метки подразделяются на:

- сверхвысокочастотные (860...960 МГц);
- высокочастотные (13,56 МГц);
- низкочастотные (125...164 кГц).

Существенным недостатком является то, что RFID-метки не могут использоваться для отслеживания изделий из металла или с высоким содержанием воды.

В коммерческих разработках систем Indoor-навигации, предназначенных для навигации персонала с портативными носимыми устройствами используются технологии NFER, ZigBee, NanoLOC. В данный момент наиболее перспективными считаются системы на базе UWB и BLE.

Технология UWB (Ultra-Wide Band – сверхширокая полоса) использует радиочастотные каналы с шириной полосы более 500 МГц. На ее базе создаются RTLS-системы (Real Time Location System – системы определения местоположения в режиме реального времени) для использования в помещениях сложной формы при наличии помех.

UWB-системы работают в диапазоне частот 2,85...10,6 ГГц, при этом спектральная плотность мощности в помещении не превышает  $-47$  дБм/МГц. Скорость передачи информации составляет до 480 Мбит/с на расстоянии до 3 м, а с увеличением расстояния до 10 м она снижается до 110 Мбит/с.

Во многих сферах деятельности успешно применяется Bluetooth Low Energy (BLE) – радиочастотная технология беспроводной связи, представляющая собой энергоэффективный вариант технологии персональной сети Bluetooth, предназначенный для создания сетей Интернета вещей (Internet of Things – IoT).

В технологии BLE используется скачкообразная перестройка частоты в нелицензируемом диапазоне частот

2,4 ГГц для связи находящихся на расстоянии 10...20 м (в ряде случаев до 100 м) устройств с максимальной скоростью передачи информации 1 Мбит/с при потребляемой мощности 0,01...0,50 Вт. Определение координат объектов осуществляется методами RSSI и AoA с предельной погрешностью измерений около 10 см. При необходимости устройства могут отключаться или переводиться в спящий режим между подключениями длительно не более нескольких секунд, что позволяет снизить потребление энергии.

Метод RSSI (Received Signal Strength Indicator) представляет собой определение расстояния до радиопередатчика по мощности (уровню) излучаемого им сигнала

$$P_{\text{пр}} = P_0 - 10 \cdot \eta \cdot \log\left(\frac{D}{D_0}\right), \quad (2)$$

где  $P_{\text{пр}}$  – мощность сигнала на дальности  $D$ ;  $P_0$  – мощность сигнала на калибровочной дальности  $D_0$ ;  $\eta$  – коэффициент ослабления сигнала в среде распространения.

Метод AoA (Angle of Arrival) или пеленгационный метод заключается в определении положения объекта по углу прибытия сигнала. Если первый радиопередатчик (или маяк) находится в начале системы относительных координат (0, 0), а второй маяк разнесен с ним на известное расстояние, то относительные координаты приемника в точке  $A$  (рис. 4) определяются как

$$\begin{aligned} x &= y \cdot \tan(\vartheta_1), \\ y &= \frac{y_2 \cdot \tan(\vartheta_2) - x_2}{\tan(\vartheta_2) - \tan(\vartheta_1)}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x_2, y_2$  – координаты второго маяка;  $\vartheta_1, \vartheta_2$  – углы прибытия сигнала от первого и второго маяков.

## АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ

АО «НИИМА «Прогресс» в рамках создания аппаратно-программного комплекса средств программно-аппаратной платформы для системы интеллектуальной навигации с использованием технологии искусственного интеллекта, была разработана система навигации внутри помещений на базе технологий Bluetooth/Wi-Fi с поддержкой RTT (Round Trip Time, время приема-передачи).

На рис. 5 показаны составные части данной системы: роутер Wi-Fi RTT, анкер UWB и маяки Bluetooth.

В состав также входят серверная платформа и приложение для смартфона или планшета. Дополнительно могут использоваться носимые метки и браслеты.

Применение меток и браслетов особенно актуально для медицинских учреждений, в связи с тем, что для медперсонала важнейшей задачей является отслеживание в режиме реального времени

перемещений пациентов для своевременного оказания им медицинской помощи. Это особенно актуально для больных, перенесших сложные хирургические вмешательства, после которых могут иметь место послеоперационные осложнения [5].

Терминал Indoor-навигации представляет собой портативное носимое устройство: смартфон или планшет со специальным программным обеспечением. Аппаратная часть реализована на базе модулей собственной разработки АО «НИИМА «Прогресс»: Wi-Fi + Bluetooth-модуль ПР32-В3 и Bluetooth-модуль ПР4502, используемый в конструкции Bluetooth-маяков (рис. 6).

Для навигации в помещениях также могут быть использованы и радиосистемы других частотных диапазонов, например 300...350 МГц, 450...470 МГц. Разработанная АО «НИИМА «Прогресс» локальная система навигации обеспечивает непрерывную «бесшовную»



Рис. 5. Элементы системы Indoor-навигации разработки АО «НИИМА «Прогресс»



Рис. 6. Bluetooth-маяк на основе модуля ПР4502 для системы навигации внутри помещений



**Рис. 7.** Радионавигационный датчик для навигации внутри помещений

навигацию на открытом пространстве и внутри помещений, что позволяет ее применять при перемещении пациентов, медикаментов и оборудования между разными медицинскими учреждениями «от двери до двери».

Данная система включает в себя радионавигационный датчик (рис. 7), обеспечивающий навигацию внутри зданий при отсутствии в них сигналов спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS и др.) и радионавигационных опорных станций локальной системы навигации [6].

Рабочий диапазон частот охватывает от 400 до 5850 МГц, используются радиосигналы, соответствующие стандартам технологий Bluetooth, Wi-Fi и 3G, также имеется дополнительный связной канал на частоте 850 МГц. Дальность приема радиосигналов составляет до 100 м, при этом количество одновременно обслуживаемых абонентов не ограничено.

Датчик может осуществлять связь с сервером для настройки и удаленного управления режимами работы. Обмен информацией выполняется по интерфейсам USB 2.0 и Ethernet IEEE 802.3. В конструкции предусмотрена возможность подключения внешних антенн, кабелей питания и связи. Для воспрепятствования несанкционированного получения навигационных данных могут быть установлены идентификационный электронный модуль абонента и криптографическая защита информации.

На случай наступления чрезвычайных ситуаций радионавигационный датчик может иметь встроенный пожарный извещатель, который позволяет передать на сервер информацию о наличии возгорания или задымления в помещении.

\* \* \*

На сегодняшний день существуют отечественные разработки на базе широко распространенных технологий

(Bluetooth, Wi-Fi, 3G), позволяющие реализовать непрерывную навигацию между зданиями и внутри помещений медицинских учреждений для перемещения пациентов, медикаментов и оборудования, а также для их транспортировки между разными медицинскими учреждениями «от двери до двери».

Имеющийся задел по беспроводным решениям и системам с направляющими линиями позволяет развернуть инфраструктуру, необходимую для эксплуатации медицинских роботов внутри клиник, а также повысить их доступность для инвалидов и маломобильных пациентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Рогаткин Д.А., Лапаева Л.Г.** Медико-технические требования к автономным мобильным сервисным медицинским роботам // Робототехника и техническая кибернетика. 2016. № 2 (11). С.45–51.
2. **Курмангулов А.А.** Особенности конструктивно-технологических решений систем навигации медицинских организаций Российской Федерации // Современные достижения молодых ученых в медицине. 2021. Сборник материалов VIII Республиканской научно-практической конференции с международным участием. Гродно. С. 143–145. Один электрон. опт. диск.
3. **Moshayedi A.J., Jinsong L., Liao L.** AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance. *Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering*. 2019. V. 12. Iss. 4. PP. 5–18.
4. Способ навигации транспортной и технологической машины по однопроводной линии радиопередачи. Заявка на изобретение № 2023107633. Приоритет от 29.03.2023. Решение о выдаче патента от 09.01.2024 / АО «НИИМА «Прогресс» / А.В. Николаев, Е.И. Старовойтов, З.К. Кондрашов, Е.С. Скиба, А.А. Амбарян, Д.М. Бодунов, Д.А. Прохоркин, А.В. Колесников, Н.Б. Федосова.
5. **Черепанова И.В., Поспелова И.В., Брагин Д.С., Серебрякова В.Н.** Магнитометрия, акустические и инерциальные технологии локального позиционирования в здравоохранении // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т.23. № 5. С. 7–23. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-5-7-23.
6. Способ навигации в помещении и радионавигационный датчик для его реализации. Заявка на изобретение № 2023132350. Приоритет от 08.12.2023 / АО «НИИМА «Прогресс», АО «ГЛОНАСС» / И.Л. Корнеев, К.Ю. Борисов, З.К. Кондрашов, А.В. Григорьев, В.В. Юров, А.В. Александров, А.С. Кузнецов, Е.А. Анищенко, М.А. Шолин, Е.И. Старовойтов.