

# Непрерывная навигация внутри и снаружи помещений для роботизированной логистики

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

УДК 629.056.8 | ВАК 2.2.12; 2.2.13

Рассмотрена проблема обеспечения непрерывной или сквозной навигации роботов и беспилотных транспортных средств в процессе их движения внутри и снаружи сооружений. Предложен способ непрерывной навигации при переходе из зоны устойчивого приема локальной системы навигации (или глобальной спутниковой навигационной системы) на открытой местности в экранирующее сооружение с установленной системой Indoor-навигации и обратно. Представлен навигационный алгоритм движения беспилотного транспортного средства, доставляющего груз из одного экранированного сооружения в другое.

**К** настоящему времени развитие робототехники и технологий искусственного интеллекта достигло такого уровня, на котором уже возможно исключение человека-оператора из процесса управления транспортными средствами. Сегодня экономически целесообразным выглядит массовое применение роботов и беспилотных транспортных средств (БТС) в службах доставки и транспортных компаниях [1], что позволит высвободить значительные трудовые ресурсы в логистических цепочках.

Кроме того, полностью автоматическое управление подвижными объектами повысит безопасность, снизит риски, связанные с присутствием людей в зоне воздействия неблагоприятных физических и химических факторов. По опыту пандемии COVID-19, полностью автоматическая, роботизированная доставка актуальна в условиях чрезвычайных ситуаций, карантинных ограничений и самоизоляции.

Однако практическая реализация беспилотной или роботизированной логистики сталкивается со сложностями, связанными с навигацией в плотной городской и промышленной застройке, где значительная часть маршрута обычно пролегает в труднодоступных местах (например, в складских помещениях, подземных переходах и т.п.).

Существующие навигационные системы обеспечивают или определение местоположения на открытом пространстве, либо навигацию внутри помещений. Таким образом, актуальной является проблема бесшовного перехода между зонами действия разных типов навигационных систем.

## СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ РОБОТОВ И БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Для определения координат управляемых экипажем транспортных средств, БТС и мобильных роботов, широко используются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). ГНСС-приемник может обеспечить необходимую для перемещения в городе точность измерений только в режиме дифференциальных поправок, получаемых от контрольно-корректирующих станций, а при слабом сигнале ГНСС или его полной потере навигация невозможна. На условия приема сигнала ГНСС влияет высота застройки, рельеф местности, растительность, а также наличие искусственных помех.

Полноценной альтернативой ГНСС являются локальные системы навигации (ЛСН), создающие навигационное поле в зоне действия заранее развернутых радионавигационных опорных станций, примерами которых являются разработки компании Locata (Австралия) [2] и АО «НИИМА «Прогресс» [3].

ГНСС и ЛСН предназначены для работы на открытой местности, то есть в условиях беспрепятственного распространения навигационных радиосигналов.

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

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

Внутри зданий или сооружений с экранирующими стенами прием навигационного сигнала затруднен и для определения местоположения могут быть использованы только системы Indoor-навигации, обеспечивающие формирование навигационного поля внутри закрытых объектов.

При этом для выполнения большей части задач роботизированной и беспилотной логистики необходимо формирование непрерывного навигационного поля, в котором могут передвигаться БТС и мобильные роботы, обеспечивающие перемещение грузов «от двери до двери».

В некоторых типах сооружений могут быть участки со слабым экранированием, в которых периодически появляется сигнал ГНСС/ЛСН. В результате навигационная аппаратура абонента может неконтролируемо переключаться между сигналами Indoor-навигации и ГНСС/ЛСН, что способно привести к нарушению определения его местоположения.

БТС и мобильные роботы традиционно имеют набор чувствительных датчиков для автономной навигации – телекамеры, радары, лазерные локаторы (лидары) и дальномеры, ультразвуковые дальномеры, инерциальные приборы, одометры.

Сложность заключается в том, что для надежной и точной навигации необходимо использовать несколько типов датчиков, а массовость применения требует уменьшения количества бортовой аппаратуры и снижения ее цены.

В этом плане ГНСС-приемники и абонентские терминалы ЛСН имеют большие преимущества за счет своей компактности и низкого энергопотребления. В качестве дополнительных датчиков перспективными выглядят телекамеры, так как они оптимально сочетают высокую информативность выдаваемых данных, невысокую стоимость и хорошие эксплуатационные характеристики.

## ПРОБЛЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ (БЕСШОВНОЙ) НАВИГАЦИИ

Система Indoor-навигации предназначена для создания навигационного поля внутри помещений и закрытых сооружений. В АО «НИИМА «Прогресс» для навигации рабочего персонала и посетителей общественных мероприятий (выставок, форумов, конференций и т.п.) была разработана такая система на базе технологий Bluetooth/Wi-Fi [4], в которой абонентский терминал представляет собой смартфон или планшет со специальным программным обеспечением.

Задачей бесшовной навигации при посещении и перемещении по протяженным промышленным сооружениям является постоянное определение местоположения абонента, позволяющее ему выбирать оптимальный маршрут

движения и перемещаться внутри сооружения и по прилегающей к нему территории с минимально возможными отклонениями и потерями времени.

Дополнительные задачи, которые могут возникнуть в зависимости от специфики сооружения, связаны с необходимостью исключить пересечение потоков БТС (роботов), одновременное нахождение людей и техники на одном участке, предотвращение образования скопления техники и т.д.

Для беспрепятственного перемещения абонента и определения им собственного местоположения, его навигационная аппаратура должна обеспечить быстрое и правильное переключение между сигналами Indoor-навигации и ГНСС/ЛСН.

На практике широко применяется комплексирование ГНСС-приемника и бесплатформенных навигационных систем (БИНС) с использованием различных схем, обеспечивающих автономную навигацию при потере навигационного радиосигнала [5]. Эти схемы могут также использоваться для комплексирования БИНС с абонентским терминалом ЛСН. Но в данном случае имеет место принципиальный недостаток, который заключается в накоплении ошибки БИНС с течением времени, при этом даже дорогостоящие БИНС высокого класса точности не обеспечивают субметровую погрешность определения координат.

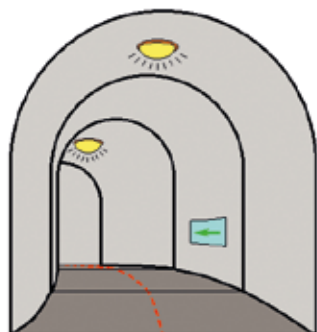
Способ комплексирования БИНС с приемником ГНСС и одометром, при использовании маркерных и реперных точек с известными координатами [6], позволяет снизить погрешность определения координат в автономном режиме, но имеет недостаток, связанный с накоплением ошибок одометра при движении.

Таким образом, пока еще не найдено оптимальное решение задачи непрерывной навигации при переходе из открытой местности в экранирующее сооружение и обратно, когда не происходит потери навигационного радиосигнала, неконтролируемого переключения между сигналами систем Indoor-навигации и ЛСН, а также накопления ошибки в отсутствие сигналов ЛСН и систем Indoor-навигации.

## СПОСОБ НЕПРЕРЫВНОЙ НАВИГАЦИИ

АО НИИМА «Прогресс» предложен способ непрерывной навигации при переходе БТС из открытой местности в экранирующее сооружение и обратно [7].

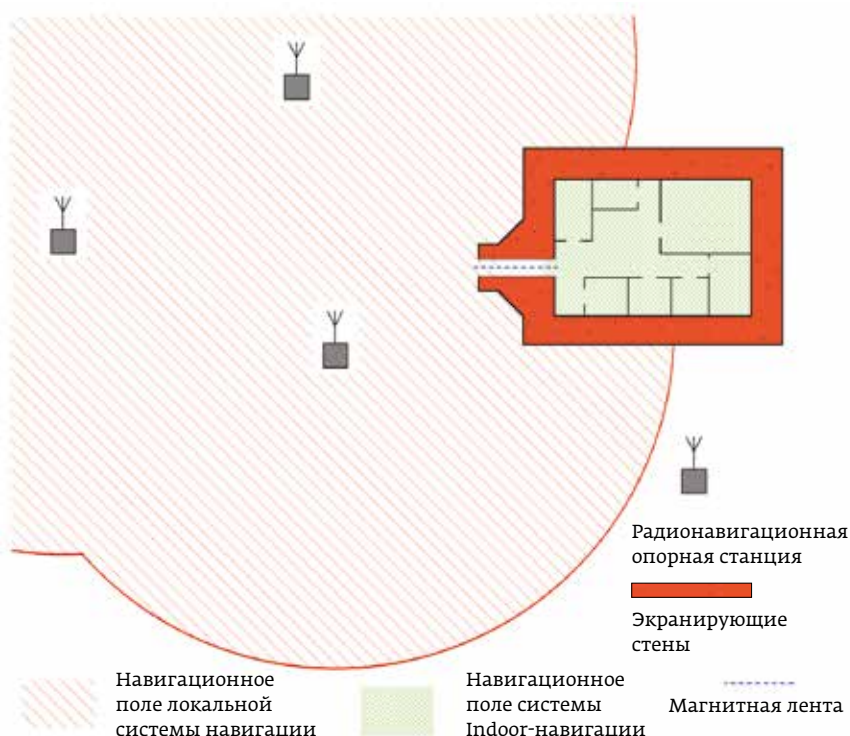
При навигации БТС вход в зону действия системы Indoor-навигации находится либо в зоне устойчивого приема навигационных сигналов ЛСН, от которой по связному каналу поступает команда переключения бортовой навигационной аппаратуры на сигналы системы Indoor-навигации, либо переключение выполняется при обнаружении маяка, метки или маркера, обозначающего зону действия системы



**Рис. 1.** Разметка на полу и указатели в переходной зоне для визуальной навигации



**Рис. 2.** Метка в виде QR-кода на границе переходной зоны



**Рис. 3.** Переходная зона с магнитной лентой между зонами покрытия ЛСН и Indoor-навигации в экранированном объеме

Indoor-навигации, либо при отсутствии навигационных сигналов ЛСН и специальных маяков имеется переходная зона с обозначенным RFID-метками, токоведущим кабелем, магнитной лентой, контрастной полосой или другими средствами маршрута, в конце которой находится зона действия системы Indoor-навигации. При этом после входа в переходную зону прием сигналов ЛСН алгоритмически блокируется системой управления БТС, а при выходе из переходной зоны алгоритмически устанавливается приоритет сигналов системы Indoor-навигации, по которым определяется местоположение абонента до момента его выхода из зоны действия системы Indoor-навигации, которая обозначена маяком, меткой или маркером, либо через переходную зону, навигация в которой выполняется с помощью RFID-меток, токоведущего кабеля, магнитной ленты, контрастной полосы или других средств, при этом в переходной зоне алгоритмически блокируется прием сигналов системы Indoor-навигации, а при выходе из переходной зоны алгоритмически устанавливается приоритет сигналов ЛСН.

Навигация БТС осуществляется полностью автоматически, при этом предусмотрены различные варианты ситуаций. В условиях отсутствия сигналов ЛСН и системы Indoor-навигации, а также иных навигационных средств, при невозможности автономного определения местоположения, выполняется принудительная остановка БТС.

Комплект бортовой навигационной аппаратуры в минимальной конфигурации должен иметь приемопередающий блок, совместимый с ЛСН, и телекамеру. В переходной зоне маршрут может определяться по разметке на полу, указателями и другим маркерам, в том числе предназначенным для навигации персонала (рис. 1).

На границе переходной зоны и зоны действия системы Indoor-навигации размещается QR-код (рис. 2), маяк, метка или любой другой маркер, обнаруживаемый телекамерой.

Аналогично выполняется переключение на сигналы ЛСН при выходе из переходной зоны наружу.

В условиях отсутствия зоны перекрытия сигналов ЛСН и системы Indoor-навигации, непрерывная навигация БТС обеспечивается за счет переходной зоны, в которой

предусмотрены средства для обозначения маршрута: это могут быть RFID-метки, токоведущий кабель, магнитная лента, контрастная полоса и т.д. Соответственно, на БТС должен быть предусмотрен считыватель RFID-меток, индукционные датчики или оптический датчик для распознавания контрастной полосы. Через переходную зону БТС автоматически перемещается в зону действия системы Indoor-навигации.

Пример использования переходной зоны с магнитной лентой для перехода между зонами покрытия ЛСН и Indoor-навигации в экранированном объеме показан на рис. 3.

В случае отсутствия навигационного сигнала в зоне покрытия ЛСН и Indoor-навигации БТС использует средства автономной навигации. Использование ГНСС-приемника в системе навигации БТС может обеспечить дополнительную надежность.

При перекрытии зон покрытия ЛСН/ГНСС и Indoor-навигации, метка для переключения между системами должна размещаться с соблюдением условия (рис. 4)

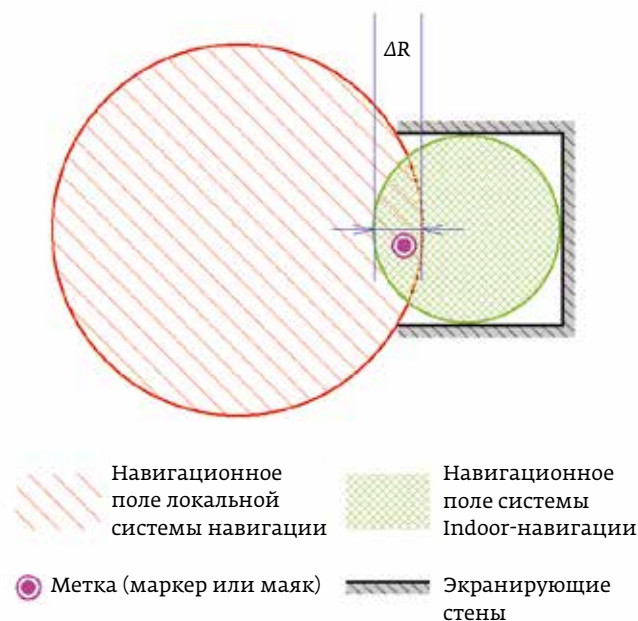
$$\Delta R \geq D_M, \quad (1)$$

где  $\Delta R$  – протяженность зоны перекрытия ЛСН/ГНСС и Indoor-навигации;  $D_M$  – дальность обнаружения или распознавания метки.

В случае использования переходной зоны, характеристики применяемых там навигационных систем средств должны обеспечивать выполнение следующих условий

$$\begin{cases} \Delta S \leq D_{\text{ПУ}} \\ \Delta S \leq \Delta S_{\text{ПУ}} \\ R = R_{\text{ПУ}} + D_{\text{ПУ}} + D_M \end{cases} \quad (2)$$

где  $R$  – общая протяженность переходной зоны;  $R_{\text{ПУ}}$  – протяженность переходного участка между ЛСН/ГНСС и системой Indoor-навигации;  $\Delta S$  – погрешность определения



**Рис. 4.** Перекрытие зон сигналов ЛСН/ГНСС и Indoor-навигации

координат ЛСН/ГНСС;  $\Delta S_{\text{ПУ}}$  – погрешность определения координат системой, используемой в переходной зоне;  $D_{\text{ПУ}}$  – дальность действия системы, используемой в переходной зоне.

В табл. 1 представлены типовые значения дальности действия и погрешности определения координат на плоскости для основных типов навигационных систем.

В качестве примера реализации способа непрерывной навигации рассмотрим задачу перемещения между двумя пунктами: доставку груза с базы на место назначения – в экранированное сооружение (склад). Навигационный алгоритм движения БТС по маршруту представлен на рис. 5.

**Таблица 1.** Дальность действия и погрешность определения координат разных навигационных систем

| Тип системы                       | ГНСС                         | ЛСН             | Bluetooth     | RFID      | Токоведущий кабель | Магнитная лента |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------|-----------|--------------------|-----------------|
| Дальность действия, м             | Глобальная                   | В зоне покрытия | 50,0          | 1,0...2,0 | 0,2                | 0,1             |
| Погрешность определения координат | 3,0...5,0 м/<br>0,2...0,4 м* | 0,1...5,0 м     | 1,0 м/0,1 м** | 0,1 м     | 1 см               | 1 мм            |

\* В режиме дифференциальных поправок

\*\* При использовании технологии Bluetooth Low Energy (BLE)

## АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЛОГИСТИКИ

АО «НИИМА «Прогресс» разработаны аппаратные решения для навигации потребителя по данным ГНСС, ЛСН и Indoor-навигации, которые могут использоваться в роботизированной и беспилотной логистике.

Навигационный модуль ПРО-04М, на базе которого создана навигационная аппаратура, позволяет осуществлять прием сигналов разных ГНСС в автономном режиме и при наличии дифференциальных поправок.

Для комплексированной навигационной системы услуг навигации (КОНСУЛ) на основе ЛСН разработаны абонентский терминал базовый (АТБ) и абонентский терминал высокоточный (АТВ), обеспечивающие навигацию в условиях отсутствия сигналов ГНСС.

Модуль на базе ПР32-В3 может быть использован в системе Indoor-навигации, использующей технологии Bluetooth/Wi-Fi.

Основные характеристики модулей для навигации подвижного абонента представлены в табл. 2.

\*\*\*

Предложенное техническое решение и имеющийся задел по аппаратуре позволяют обеспечить непрерывную навигацию БТС при переходе из зоны устойчивого приема ЛСН на открытой местности в экранирующее сооружение с установленной системой Indoor-навигации и обратно, при котором не происходит потери координат, не накапливается ошибка за время прохождения маршрута и исключается неконтролируемое переключение между сигналами систем Indoor-навигации и ЛСН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Яндекс» рассказал о планах по расширению выпуска роботов-курьеров \_ Forbes.ru. URL: <https://www.forbes.ru/>

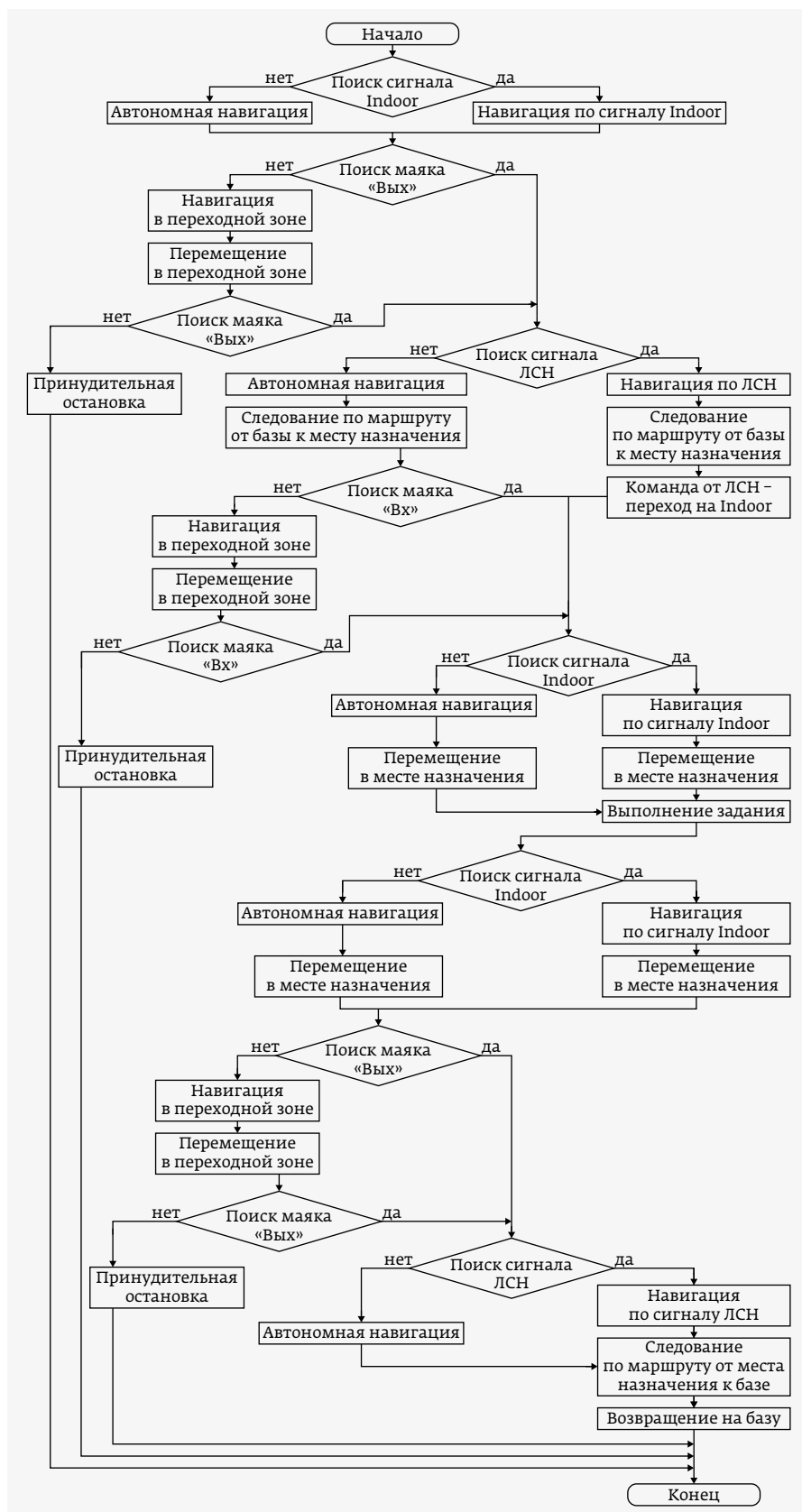


Рис. 5. Навигационный алгоритм БТС при движении по маршруту между двумя пунктами

Таблица 2. Основные характеристики модулей для навигации подвижного абонента

| Модули                                          | ПРО-04М                     | АТБ                                                          | АТВ                                                          | Модуль на базе ПР32-В3 (Bluetooth/Wi-Fi) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Частотные диапазоны                             | GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, SBAS | GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, Bluetooth, Wi-Fi, ЛСН (450...470 МГц) | GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, Bluetooth, Wi-Fi, ЛСН (450...470 МГц) | Bluetooth, Wi-Fi                         |
| Погрешность координат на плоскости, не более, м | 2,5/1,5*                    | 1,0                                                          | 0,1                                                          | 1,0 (Bluetooth)<br>3,0 (Wi-Fi)           |
| Потребляемая мощность                           | 450 мВт                     | 50 Вт                                                        | 50 Вт                                                        | 500 мВт                                  |
| Масса, не более                                 | 15 г                        | 5 кг                                                         | 7 кг                                                         | 500 г                                    |

\* В режиме дифференциальных поправок

- biznes/512818-andeks-rasskazal-o-planah-po-rassireniu-vypuska-robotov-kur-erov (28.05.2024)
- Брагин А.С.** Сравнительный анализ систем глобального и локального позиционирования // Экономика и качество систем связи. 2021. № 3. С.71–77.
  - Корнеев И.Л., Кузнецов А.С., Королев В.С.** Режимы работы локальной системы навигации в проекте «КОНСУЛ». Потребители системы «КОНСУЛ» // Наноиндустрия. Спец-выпуск. 2021. 7с. Т.14 (107). С.57–59.
  - Скиба Е., Старовойтов Е.** Технология BLE. Встретимся внутри // Рубеж. <https://ru-bezh.ru/evgeniy-skiba/51140-tehnologiya-ble-vstretimsya-vnutri>
  - Матвеев В.В., Распопов В.Я.** Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб. ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2009. 280 с.
  - Голован А.А.** Интеграционное решение «БИНС-одометр»: позиционный вариант // Гирскопия и навигация. 2021. Т.29. № 2 (113). С.110-125. DOI 10.17285/0869-7035.0066.
  - Способ навигации с интеграцией систем и средств обеспечения сквозного позиционирования повышенной точности и устойчивости к помехам. Заявка на изобретение № 2023135430. 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, В.С. Королев, Е.А. Анищенко, Е.И. Старовойтов.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



## МЕТОДЫ СПУТНИКОВОГО И НАЗЕМНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Под ред. Д. Дардари, Э. Фалетти, М. Луизе

Книга содержит обзор последних результатов научных исследований в области обработки сигналов для определения местоположения и навигации, в ней впервые объединены спутниковое и наземное позиционирование. В обзоре рассматриваются как «классические» технологии позиционирования с помощью спутниковых систем, так и новые темы: нахождение конечных пределов точности систем позиционирования, прямое позиционирование, методы оптимального сочетания измерений на основе радиосигналов и сигналов с различных датчиков, суперточная дальнометрия в закрытых помещениях с использованием сигналов с ультраширокой полосой пропускания и т.д. Книга написана на основе работ, проводимых в европейской сети передового научного опыта в области беспроводной связи NEWCOM++.

Книга послужит справочным пособием для всех, кого интересуют позиционирование и навигация, и вызовет значительный научный и технический интерес ученых и инженеров, работающих в данной области.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2012. – 528 с.,  
ISBN 978-5-94836-338-7

Цена 975 руб.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphaera.ru](mailto:knigi@technosphaera.ru), [sales@technosphaera.ru](mailto:sales@technosphaera.ru)