



Обоснование выбора системы позиционирования для управления движением мобильного сельскохозяйственного робота

Артем Валерьевич Тетерев,
младший научный сотрудник,
e-mail: artemteterework@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Правильно подобранная система позиционирования для управления движением мобильного робототехнического средства обеспечивает высокую точность позиционирования роботизированной платформы на территории сада, позволяет автоматизировать точные операции в саду и систематизировать алгоритмы построения маршрута. (*Цель исследования*) Обосновать рациональный выбор системы позиционирования для управления движением мобильного робототехнического средства. (*Материалы и методы*) Сформировали требования к системе позиционирования для выполнения точных операций в саду, а именно: механизированный сбор плодов и ягод, дифференцированное внесение удобрений и средств химической защиты растений. Назвали основные из них: погрешность определения местоположения не более 5 сантиметров, устойчивость передачи информации на сервер для построения карт движения, движение робототехнического средства по заданной траектории, оснащение маяков мобильным источником питания емкостью не менее 800 миллиампер-час, обмен информацией между маяком и встроенным в робототехническое средство микропроцессорным контроллером по стандарту *RS-485*, площадь покрытия сигнала не менее 100 квадратных метров. (*Результаты и обсуждение*) Описали шесть наиболее актуальных систем позиционирования следующих производителей: *RealTrac*, Русофт ЦКТ, Неоматика, *ISBC*, *Avtosensor*, *Marvelmind*. Сравнили их технические и эксплуатационные параметры: рабочие частоты, дальность действия, интерфейс передачи данных, точность определения местоположения и стоимость готовых комплектов. Показали, что *Marvelmind* обеспечивает бесперебойную работу на частотах 433 и 915 мегагерц с погрешностью определения местоположения не более 2 сантиметров. Провели испытания на малогабаритном роботизированном транспортно-технологическом средстве со следующими характеристиками: максимальная транспортная скорость движения – 30 километров в час, эксплуатационная масса – 500 килограммов, длина 2 метра, ширина – 1,2 метра, высота – 1,6 метра. (*Выводы*) Обосновали выбор наиболее подходящей и доступной системы позиционирования *Marvelmind* и экспериментально подтвердили заявленную производителем точность позиционирования. При движении по беспетлевому и петлевому повороту точность позиционирования не превысила 1,5 сантиметра, что соответствует агротехническими требованиям к механизированному сбору плодов и ягод, к дифференцированному внесению удобрений и средств химической защиты растений.

Ключевые слова: система позиционирования, метка позиционирования, *RFID*-метка, ультразвуковой маяк, считыватель, робототехника.

Для цитирования: Тетерев А.В. Обоснование выбора системы позиционирования для управления движением мобильного сельскохозяйственного робота // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №4. С. 63-70. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-63-70.

Rationale for the Choice of a Positioning System for Mobile Agricultural Robot Movement Controlling

Artem V. Teterev,
junior researcher,
e-mail: artemteterework@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. A correctly selected positioning system for controlling the mobile robotic means movement ensures high positioning accuracy of the robotic platform in the garden, allows to automate precise operations in the garden and systematize route planning algorithms. (*Research purpose*) To substantiate the rational choice of a positioning system for controlling the mobile robotic

device movement. (*Materials and methods*) The author formulated requirements for the positioning system to perform precise operations in the garden: mechanized collection of fruits and berries, differentiated application of fertilizers and chemical plant protection products. The main ones were: the positioning error was no more than 5 centimetres, the stability of information transfer to the server for building traffic maps, the movement of a robotic device along a given trajectory, equipping beacons with a mobile power source with a capacity of at least 800 milliampere-hour, information exchange between the beacon and the built-in robotic means with a microprocessor controller according to the RS-485 standard, the signal coverage area was at least 100 square meter. (*Results and discussion*) The six most relevant positioning systems of the following manufacturers were described: RealTrac, Rusoft CKT, Neomatic, ISBC, Avtosensor, Marvelmind. The author compared their technical and operational parameters: operating frequencies, range, data transfer interface, location accuracy and cost of ready-made kits. He showed that Marvelmind provided uninterrupted operation at frequencies of 433 and 915 megahertz with a positioning error of no more than 2 centimetres. The tests were carried out on a small robotic vehicle with the following characteristics: maximum transport speed – 30 kilometre per hour, operating weight – 500 kilograms, length 2 metres, width – 1.2 metres, height – 1.6 metres. (*Conclusions*) The author substantiated the choice of the most suitable and affordable Marvelmind positioning system and experimentally confirmed the positioning accuracy declared by the manufacturer. When driving in a loop-free and looped turn, the positioning accuracy did not exceed 1.5 centimetres, which met the agrotechnical requirements for mechanized collection of fruits and berries, for differentiated application of fertilizers and chemical plant protection products.

Keywords: positioning system, positioning tag, RFID tag, ultrasonic beacon, reader, robotics.

For citation: Teterev A.V. Obosnovanie vybora sistemy pozitsionirovaniya dlya upravleniya dvizheniem mobil'nogo sel'skokhozyaystvennogo robota [Rationale for the choice of a positioning system for mobile agricultural robot movement controlling]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 63-70 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-63-70.

Для оптимизации и управления технологически-ми рабочими процессами в сельском хозяйстве применяют специализированные системы глобального и локального позиционирования. Они позволяют отслеживать местоположение персонала, специализированного оборудования, животных, вести учет поголовья скота, систематизировать сбор данных и планировать ветеринарные мероприятия, идентифицировать сельскохозяйственную технику и прицепные оборудования. Существует множество различных устройств для реализации систем локального позиционирования с разной точностью и методами отслеживания. Стоимость таких комплектов варьируется в зависимости от назначения и может составлять от десяти тысяч рублей для оснащения игровых вертолетов и до нескольких миллионов рублей для реализации позиционирования на целом производстве.

Цель исследования – обосновать рациональный выбор системы позиционирования для управления движением мобильного робототехнического средства (РТС) по территории сада.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для выполнения механизированного сбора плодов и ягод, дифференцированного внесения удобрений и средств химической защиты растений сформировали следующие требования к системе позиционирования:

- возможность определения местоположения в реальном времени;
- передача информации на сервер для построения карт движения;
- реализация движения РТС по заданной траектории;

- оснащение маяков мобильным источником питания;
- передача информации о местоположении маяка на встроенный в РТС микропроцессорный контроллер по стандарту *RS-485*;
- площадь покрытия 100 м²;
- точность определения местоположения ±5 см.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для анализа выбрали наиболее часто используемые технологии позиционирования:

- радиочастотная идентификация – радиометки, радиомаяки, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *BLE*, *UWB* [1];
- спутниковое отслеживание – ГЛОНАСС, *GPS* [2];
- позиционирование в сотовых сетях через мобильную связь.

В большинстве систем позиционирования применяется технология *GPS*/ГЛОНАСС [3]. Она относится к глобальному позиционированию с помощью спутников и не поддерживает необходимой точности определения местоположения [4]. В отличие от нее, локальные технологии *Bluetooth* и *Wi-Fi* обеспечивают большую точность, системы с ними можно использовать в закрытых помещениях, однако радиус действия будет ограничен [5]. Стандарт *BLE (Bluetooth Low Energy)* – это версия спецификации ядра технологии *Bluetooth*, применяется для уменьшения размера конечного устройства [6]. *UWB (Ultra-Wide Band)* – беспроводная технология связи на малых расстояниях при низких затратах энергии, работающая на радиочастотах 2,85-10,6 ГГц в Российской Федерации. Она хорошо подходит для применения в помещениях [7]. С помощью радиомаяков и радиометок можно



повысить точность системы. Чтобы расширить площадь позиционирования, увеличивают количество радиомаяков в системе [8, 9]. Часто для улучшения точности позиционирования применяют системы с использованием нескольких технологий.

Для управления движением РТС рассмотрели шесть наиболее актуальных систем локального позиционирования в сельском хозяйстве: *RealTrac*, Русофт ЦКТ, Неоматика, *ISBC*, *Avtosensor*, *Marvelmind*.

Комплекс оборудования системы *RealTrac* состоит из меток, базовых станций *Lora* и программного обеспечения (рис. 1) [10]. Метки устанавливают на отслеживаемые объекты, на территории монтируют точки доступа *Lora*. Модуль *GPS*/ГЛОНАСС генерирует и передает данные позиционирования на сервер в режиме реального времени с помощью сети *Lora* (866 МГц). Программное обеспечение сервера обрабатывает поступающую информацию и выводит данные о местонахождении отслеживаемых объектов и их пройденном маршруте. Точность позиционирования – 1-5 м, радиус покрытия – 2 км.

Система позволяет обеспечить позиционирование в саду, отображать маршруты передвижения персонала, определять запретные и информационные зоны на территории ведения работ. Кроме того, возможно применение черного ящика для фиксирования данных о перемещении при выходе метки позиционирования из зоны действия сети передачи данных и последующей передаче данных в полном объеме на сервер при возвращении метки в зону позиционирования. Система обладает большим радиусом покрытия, но имеет низкую точность позиционирования.



Рис. 1. Модель системы позиционирования *RealTrac*
 Fig. 1. *RealTrac* Positioning System Model

Системы позиционирования, основанные на применении мобильных сетей, схожи по своему принципу работы с данной системой. Максимальная точность определения местоположения таких систем достигает 10 см.

В комплекте идентификации и учета объектов компании Русофт ЦКТ применяется технология использования радиочастотного электромагнитного излучения – *RFID* (*Radio Frequency Identification*). В его состав входит транспондер – метка, состоящая из двух частей: интегральной схемы для хранения и обработ-

ки информации и антенны для приема и передачи информации, а также считывающее устройство для обработки и распознавания информации, дополнительно осуществляется запись данных в *RFID*-метки (рис. 2) [11].

RFID-метки существуют в разных исполнениях: металлические пластины, силиконовые браслеты, наклейки с чипом. Рабочие диапазоны меток – 860-960 МГц, дальность считывания – 4-12 м.

Различают стационарные и мобильные *RFID*-считыватели. Первые определяют местонахождение маркированных объектов на расстоянии до 12 м через внешние антенны в диапазоне 902,75-927,25 МГц и могут одновременно работать с большим количеством меток, доходющим до нескольких тысяч. Вторые позволяют оператору видеть маркированные метками объекты, работать с документами или искать конкретную метку, функционируют в частотных диапазонах 865-868 МГц и 902-928 МГц и считывают метки на расстоянии до 6 м.

Применение *RFID*-технологии целесообразно при учете сельскохозяйственного оборудования и транспорта на территории сада. Она позволяет идентифицировать метки, но не обеспечивает локального позиционирования объектов.

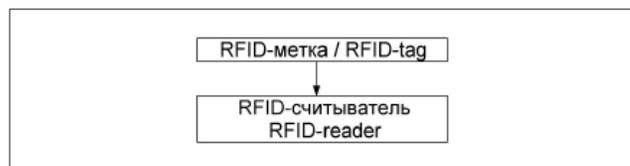


Рис. 2. Модель системы позиционирования Русофт ЦКТ
 Fig. 2. Positioning system model of Rusoft CKT

В системе Неоматика предусмотрены определение местоположения объекта, сбор информации с датчиков давления, температуры и влажности окружающей среды, наклона и уровня топлива (рис. 3). Расположенный на объекте приемник получает данные с датчиков по *Bluetooth* на расстоянии до 100 м и данные о своем местоположении по стандарту *GPS*/ГЛОНАСС. Затем передает их по *Bluetooth* на сервер или записывает на встроенный накопитель. Приемник имеет возможность выбора навигационной системы: ГЛОНАСС, *GPS*, ГЛОНАСС+*GPS*. Он может быть настроен с помощью приложения по *Bluetooth* и поддерживает управление через *Bluetooth*, *SMS*, *GPRS*. Точность позиционирования объектов – 1 м, что не соответствует предъявленным требованиям.

Система позиционирования *ISBC* основана на *RFID*-технологии. Она позволяет автоматизировать учет животных, а также работу ветеринаров и зоотехников (рис. 4). Каждому животному присваивается оригинальная личная метка, помогающая фиксировать информацию о перемещении животного и идентифицировать его, например при взвешивании. Дан-

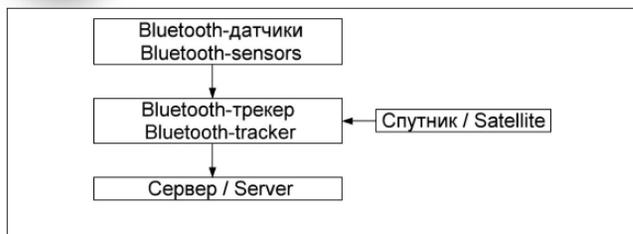


Рис. 3. Модель системы позиционирования Неоматика
Fig. 3. Positioning system model of Neomatica

ные о живой массе передаются в блок управления весами и в считыватель для планирования ветеринарных и зоотехнических мероприятий. Метки считываются на расстоянии 0,1-1,0 м. Считыватель работает на частоте 134,2 кГц при диапазоне считывания 0,5 м. Данная система позволяет идентифицировать объекты, но не обеспечивает локального позиционирования.

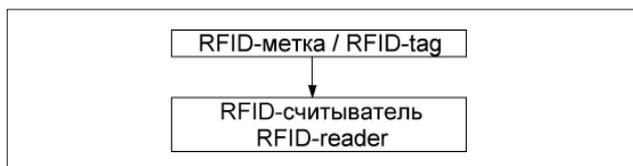


Рис. 4. Модель системы позиционирования ISBC
Fig. 4. Positioning system model of ISBC

Систему позиционирования *Avtosensor* задействуют, когда надо определить местоположение прицепов, навесных орудий, инструментов и прочей сельскохозяйственной техники (рис. 5). Радиометка передает свой уникальный номер на приемник по радиоканалу 2,4 ГГц и служит идентификатором. Приемник может принимать по радиоканалу данные одновременно от 80 радиометок на расстоянии до 200 м и передавать полученные данные на терминал по шине RS-485. Терминал предназначен для обработки и передачи данных на приемник со встроенных в сельскохозяйственную машину модулей GPS/ГЛОНАСС. Система не соответствует исходным требованиям, так как не может обеспечить позиционирование на сельскохозяйственной технике без установленных модулей GPS/ГЛОНАСС.

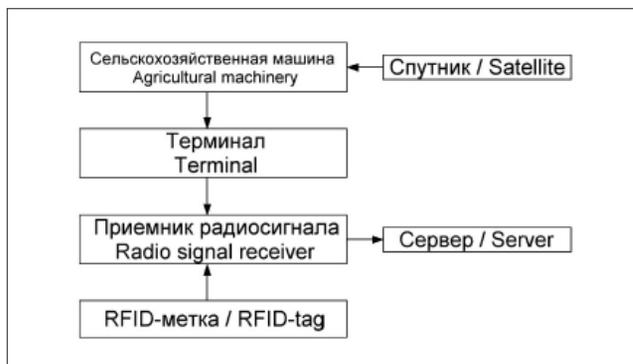


Рис. 5. Модель системы позиционирования Avtosensor
Fig. 5. Positioning system model of Avtosensor

Система фирмы *Marvelmind robotics* предназначена для установки внутри самоходных роботов, используется для комплексного отслеживания объектов или людей, имеющих специальные маяки (рис. 6). Она представляет собой набор ультразвуковых маяков, которые синхронизированы друг с другом по безлицензионному диапазону частоты. Определение собственных координат осуществляется на основе задержки возврата ультразвуковых волн при достижении стационарных маяков методом трилатерации [12-15]. Стационарные маяки устанавливаются по заданной территории для отслеживания координат местоположения в трех плоскостях. Система работает на частотах 433 или 915 МГц. Маяки имеют встроенный аккумулятор емкостью 1000 мА·ч. Точность измерения местоположения составляет 2 см, а площадь покрытия достигает 1000 м².

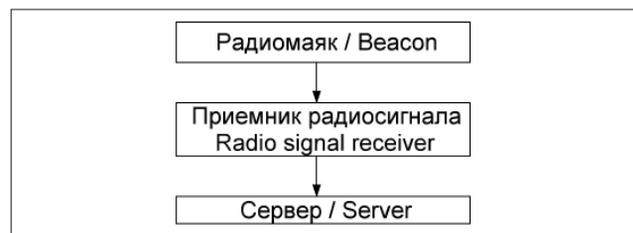


Рис. 6. Модель системы позиционирования Marvelmind
Fig. 6. Positioning system model of Marvelmind

Провели сравнительный анализ технических и эксплуатационных параметров систем локального позиционирования (таблица).

Выяснили, что система компании *Marvelmind* может обеспечить заданную точность позиционирования и работать без применения систем спутникового отслеживания, что важно при выборе системы позиционирования для РТС. С помощью дополнительного маяка можно осуществить мониторинг не только положения, но и направления РТС. Система работает на безлицензионных частотах и имеет возможность передачи данных по интерфейсу RS-485 в микропроцессорный контроллер, установленный в РТС. Для определения координат местоположения маяка применяют метод трилатерации [16]. Принцип ее работы заключается в построении на местности системы смежных треугольников, в которых измеряются длины сторон (рис. 7).

Углы в треугольнике вычисляют по одной из следующих формул:

$$\cos \alpha = \frac{2p(p-a)}{bc} - 1;$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{bc}{p(p-a)}} - 1; \quad p = \frac{a+b+c}{2}, \quad (1)$$

где a , b и c – стороны треугольника, м;
 p – полупериметр треугольника, м.

Среднюю квадратическую ошибку вычисленного угла можно определить по следующей формуле:



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ COMPARATIVE ANALYSIS OF POSITIONING SYSTEMS					
Наименование Name	Рабочие частоты Operating frequency	Дальность, м Range	Интерфейс передачи данных Interface	Точность Accuracy	Стоимость, тыс. руб. Cost
RealTrac	866 МГц, GPS/ГЛОНАСС	1000	–	1-5 м	900
Русофт ЦКТ Rusoft СКТ	902,75-927,25 МГц, 865-868 МГц, 902-928 МГц	12	RS232	–	600
Неоматика / Neomatika	Bluetooth, GPS/ГЛОНАСС	100	–	–	20
ISBC	134,2 кГц, 125 кГц	9-91	RS232	–	100
Avtosensor	2,4 ГГц	200	RS485	–	15
Marvelmind	433 МГц, 915 МГц	50	RS485	2 см	40

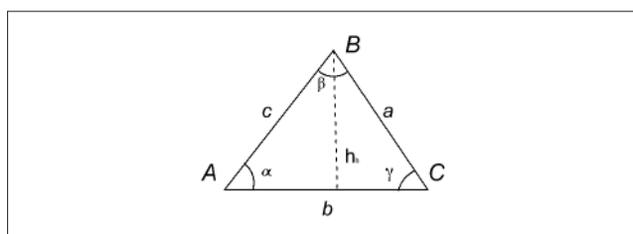


Рис. 7. Модель треугольника трилатерации
A, B, C – вершины треугольника; α, β, γ – углы треугольника; a, b, c – стороны треугольника; h_a – высота треугольника, опущенная из вершины на сторону a
Fig. 7. Model of the trilateration triangle
A, B, C – triangle vertices; α, β, γ – triangle angles; a, b, c – triangle sides; h_a – triangle height lowered from the vertex to the side a

$$m_\alpha^2 = \beta^2(A^2m_a^2 + B^2m_b^2 + C^2m_c^2), \quad (2)$$

где β – среднее значение связующего угла ряда;
 m_a, m_b и m_c – средние квадратические ошибки измерения сторон;

$$A = \frac{1}{h_\alpha};$$

$$B = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_\alpha}{b}\right)^2};$$

$$C = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_\alpha}{c}\right)^2}, \quad (3)$$

где h_a – высота треугольника, опущенная из вершины на сторону a, м.

Из цепочки треугольников создают сеть трилатерации для линейно протяженных объектов (рис. 8).

Одним из основных недостатков вытянутого ряда цепочки треугольников с измеренными сторонами считается то, что в таких сетях поперечный ряд m_u существенно превышает продольный m_t .

При оценке ожидаемой точности ряда равносторонних треугольников трилатерации используют формулы:

а) для продольного сдвига:

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N}{2}} \quad (\text{при } N \text{ четном}); \quad (4)$$

б) для поперечного сдвига:

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N-1}{2}} \quad (\text{при } N \text{ нечетном}), \quad (5)$$

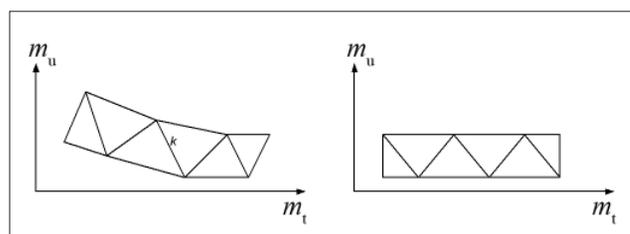


Рис. 8. Модель цепей треугольников сети трилатерации
 m_u, m_t – поперечный и продольный ряд цепочки треугольников; k – порядковый номер связующей стороны
Fig. 8 Triangle chains model of the trilateration network
 m_u, m_t – transverse and longitudinal row of a chain of triangles; k – serial number of the connecting side

где m_s – средняя квадратическая ошибка измерения сторон;

N – число фигур ряда;

б) для поперечного сдвига:

$$m_u = m_s \sqrt{0,111k^3 + 0,25k^2 + 1,3k}, \quad (6)$$

где k – порядковый номер связующей стороны;

в) для дирекционного угла связующей стороны:

$$m_{\alpha k} = \frac{m_s \rho}{S} m_s \sqrt{1,33k + 0,67}, \quad (7)$$

где S – длина связующей стороны треугольников, м.

Программное обеспечение системы *Marvelmind* находится в свободном доступе вместе с пошаговой инструкцией по установке комплекта на территории. На территории сада устанавливают маяки на расстоянии не более 50 м друг от друга (рис. 9). Мобильный маяк фиксируют на работе для позиционирования относительно стационарных маяков [17].

Для обеспечения навигации по саду необходимо расположить по маяку на каждой стороне территории. При помощи встроенного в каждый маяк компаса координаты системы позиционирования привязываются к координатам карты сада. Для этого определяют азимут базовой стороны сада, на котором расположен маяк 1. Это положение служит началом координат системы позиционирования и имеет координаты (0,0). Для определения начала координат карты необходимо расположить мобильный маяк в точке A.

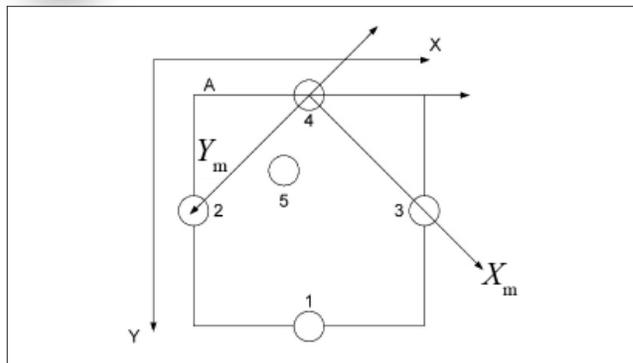


Рис. 9. Взаимное расположение систем координат Marvelmind и сада: 1-4 – расположение стационарных маяков; 5 – расположение мобильного маяка; X, Y – системы координат карты сада; X_m, Y_m – системы координат Marvelmind

Fig. 9. The relative position of the Marvelmind coordinate systems and the garden: 1 - 4 – location of stationary beacons, 5 – location of a mobile beacon. X, Y – coordinate systems of the garden map. X_m, Y_m – Marvelmind coordinate systems

Далее вычисляют угол между осями карты сада и карты системы позиционирования, что позволит пересчитывать координаты карты в координаты системы позиционирования.

В соответствии с указанной выше методикой экспериментально подтвердили заданную точность позиционирования. При проведении испытаний систему позиционирования устанавливали на малогабаритное роботизированное транспортно-технологическое средство (рис. 10).



Рис. 10. Малогабаритное роботизированное транспортно-технологическое средство

Fig. 10. Small-sized robotic transport and technological vehicle

Оно предназначено для транспортирования или буксирования в прицепе малогабаритных грузов массой до одной тонны. Максимальная транспортная скорость движения роботизированного средства – 30 км/ч,

эксплуатационная масса – 500 кг, габаритные размеры ($Д \times Ш \times В$) – 2,0×1,2×1,6 м.

После сопряжения и калибровки маяков погрешность определения местоположения не превышала 1 см. Для подтверждения заявленной производителем точности позиционирования провели тестирование на необходимой для выполнения агротехнических процессов в садоводстве скорости транспортного средства – 4 км/ч. Изучили траектории движения роботизированного средства по беспетлевому и петлевому повороту (рис. 11). Максимальная погрешность позиционирования составила 1,5 см, что соответствует агротехническими требованиями к механизированному сбору плодов и ягод, дифференцированному внесению удобрений и средств химической защиты растений.

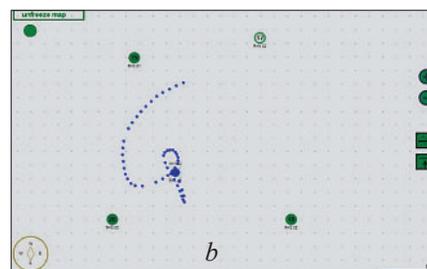
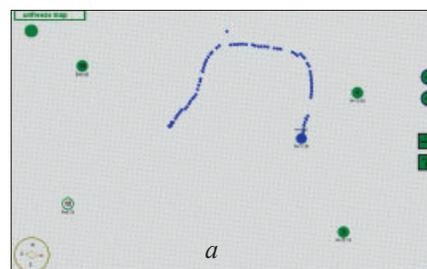


Рис. 11. Траектория движения робототехнического средства с беспетлевым (а) и петлевым (б) поворотом

Fig. 11. Trajectory of robotic vehicle movement with loopless (a) and looped (b) rotation

Выводы. Установили, что на рынке представлено большое количество систем позиционирования. Однако из-за использования разных методов определения местоположения каждой системы их технические и эксплуатационные параметры сильно варьируются, что ограничивает их применение в реальных агротехнологиях и не обеспечивает точности позиционирования в соответствии с агротехническими требованиями.

Сформировали требования к системе позиционирования для выполнения точных операций в саду. Обосновали выбор наиболее подходящей и доступной системы позиционирования – Marvelmind. Описали принцип ее работы и метода определения местоположения – трилатерации.

Экспериментально подтвердили заявленную производителем точность позиционирования – не более 1,5 см.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богуренко П.А., Бурлаков М.Е. Обзор методов локального позиционирования объектов в WI-FI сетях // *Вестник ПНИПУ*. 2017. N23. С. 146-158.
2. Овчинников С. Системы позиционирования и мониторинга // *Технологии и средства связи*. 2014. N2. С. 18-22.
3. Миниахметов Р.М., Рогов А.А., Цымблер М.Л. Обзор алгоритмов локального позиционирования для мобильных устройств // *Вестник Южно-Уральского Государственного университета*. 2013. N2-2. С. 83-95.
4. Соколин Д.Д. (научный руководитель Паротькин Н.Ю.). О решении задачи локального позиционирования объектов в помещениях // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017. Т. 2. N13. С. 239-241.
5. Yang Q., Zheng S., Liu M., Zhang Y. Research on Wi-Fi indoor positioning in a smart exhibition hall based on received signal strength indication. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. N1. 275.
6. Ассур О.С., Филаретов Г.Ф. Разработка комплексного метода позиционирования объектов по данным беспроводных сетей Wi-Fi и устройств BLE (Bluetooth Low Energy) // *Известия института инженерной физики*. 2015. N2(36). С. 2-10.
7. Дмитриев В. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов (UWB) // *Компоненты и технологии*. 2004. N1(36). С. 64-67.
8. Харламов М.И., Гончаровский О.В. Навигация автономного робота с помощью системы позиционирования для помещений // *Автоматизированные системы управления и информационные технологии*. 2018. С. 110-112.
9. Ladd A.M., Bekris K.E., Rudys A., et al. Robotics-based Location Sensing Using Wireless Ethernet. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York. USA: ACM. 2002. 227-238.
10. Гимаранов Р.Р., Киричек Р.В., Шпаков М.Н. Технология межмашинного взаимодействия LORA // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2015. Т. 3. N2. С. 62-73.
11. Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. New York: John Wiley & Sons. 2003. 462.
12. Пантюхин А.Р., Беляев А.С. Система определения местоположения объектов внутри помещений // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. N10-3(64). С. 81-84.
13. Колмаков Ю.А., Перевезенцев И.Н. Влияние корреляции свободных членов ряда трилатерации на оценку точности измеренных сторон // *Вестник Ульяновского государственного технического университета*. 2010. N2(50). С. 70-72.
14. Соколов Ю.Г., Тимошенко Н.А., Данильченко П.М. К вопросу составления условных уравнений в геодезических сетях из треугольников с измеренными сторонами // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2007. N28. С. 34-40.
15. Андоленко В.И., Ключин Е.Б. Исследование точности радиальных симметричных сетей трилатерации // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1990. N2. С. 3-12.
16. Авакян В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ. М.: Инфра-Инженерия. 2016. 588 с.
17. Харламов М. И., Гончаровский О.В. Навигация автономного мобильного робота с помощью системы позиционирования Marvelmind // *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика*. 2017. Т. 1. С. 56-60.

REFERENCES

1. Bogurenko P.A., Burlakov M.E. Obzor metodov lokal'nogo pozitsionirovaniya obektov v WI-FI setyah [Review of methods for local positioning of objects in WI-FI networks]. *Vestnik PNIPIU*. 2017. N23. 146-158 (In Russian).
2. Ovchinnikov S. Sistemy pozitsionirovaniya i monitoringa [Positioning and monitoring systems]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2014. N2. 18-22 (In Russian).
3. Miniahmetov R.M., Rogov A.A., Cymbler M.L. Obzor algoritmov lokal'nogo pozitsionirovaniya dlya mobil'nykh ustroystv [Review of local positioning algorithms for mobile devices]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo universiteta*. 2013. N2-2. 83-95 (In Russian).
4. Sokolin D.D. Nauchnyy rukovoditel' –Parot'kin N.Yu. O reshenii zadachi lokal'nogo pozitsionirovaniya obektov v pomeshcheniyah [On the solution of the problem of local positioning of objects in premises]. *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki*. 2017. Vol. 2. N13. 239-241 (In Russian).
5. Yang Q., Zheng S., Liu M., Zhang Y. Research on Wi-Fi indoor positioning in a smart exhibition hall based on received signal strength indication. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. N.1. 275 (In English).
6. Assur O.S., Filaretov G.F. Razrabotka kompleksnogo metoda pozitsionirovaniya obektov po dannym besprovodnykh setey Wi-Fi i ustroystv BLE (Bluetooth Low Energy) [Development of an integrated method for positioning objects according to data from wireless Wi-Fi networks and BLE (Bluetooth Low Energy) devices]. *Izvestiya instituta inzhenernoy fiziki*. 2015. N2(36). 2-10 (In Russian).
7. Dmitriev V. Tekhnologiya peredachi informatsii s ispol'zovaniem sverkhshirokopolosnykh signalov (UWB) [Technology of information transmission using ultra-wideband signals (UWB)]. *Komponenty i tekhnologii*. 2004. N1. (36). 64-67 (In Russian).
8. Harlamov M.I., Goncharovskiy O.V. Navigatsiya avtonomnogo robota s pomoshch'yu sistemy pozitsionirovaniya dlya pomeshcheniy [Navigation of an autonomous robot using a positioning system for rooms]. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2018. 110-112 (In Russian).

9. Ladd A.M., Bekris K.E., Rudys A., et al. Robotics-based Location Sensing Using Wireless Ethernet. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York. New York City. USA: ACM. 2002. 227-238 (In English).

10. Gimaranov R.R., Kirichek R.V., Shpakov M.N. Tekhnologiya mezhmashinnogo vzaimodeystviya LORA [LORA machine-to-machine interaction technology]. *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii*. 2015. Vol. 3. N2. 62-73 (In Russian).

11. Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. New York: John Wiley & Sons, 2003. 6 (In English).

12. Pantyuhin A.R., Belyaev A.S. Sistema opredeleniya mestopolozheniya obektov vnutri pomeshcheniy [A system for determining the location of objects indoors]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2017. N10-3(64). 81-84 (In Russian).

13. Kolmakov Yu.A., Perevezentsev I.N. Vliyaniye korrelyatsii svobodnykh chlenov ryada trilateratsii na otsenku tochnosti izmerennykh storon [The influence of the correlation of free members of the trilateration series on the assessment of the accuracy of the measured sides]. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. N2(50). 70-72 (In Russian).

14. Sokolov Yu.G., Timoshenko N.A., Danil'chenko P.M. K voprosu sostavleniya usloynykh uravneniy v geodezicheskikh setyah iz treugol'nikov s izmerennymi storonami [On the issue of drawing up conditional equations in geodetic networks of triangles with measured sides]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2007. N28. 34-40 (In Russian).

15. Andolenko V.I., Klyushin E.B. Issledovanie tochnosti radial'nykh simmetrichnykh setey trilateratsii [Research of the accuracy of radial symmetric trilateration networks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*. 1990. N2. 3-12 (In Russian).

16. Avakyan V.V. Prikladnaya geodeziya: Tekhnologii inzhenerno-geodezicheskikh rabot [Applied geodesy: technologies of engineering and geodetic works]. Moscow: 2016. 37-40 (In Russian).

17. Harlamov M.I., Goncharovskiy O.V. Navigatsiya avtonomnogo mobil'nogo robota s pomoshch'yu sistemy pozitsionirovaniya Marvelmind [Navigation of an autonomous mobile robot using the Marvelmind positioning system]. *Innovatsionnye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika*. Perm': 2017. Vol. 1. 56-60 (In Russian).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.10.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 29.10.2020

Статья принята к публикации 25.11.2020
The paper was accepted
for publication on 25.11.2020