

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13516

(13) U

(45) 2024.07.20

(51) МПК

G 01C 21/04 (2006.01)

G 05B 19/00 (2006.01)

(54) УСТРОЙСТВО ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ТЕЛЕЖКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИИ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАННОМ ПОМЕЩЕНИИ

(21) Номер заявки: u 20240002

(22) 2024.01.03

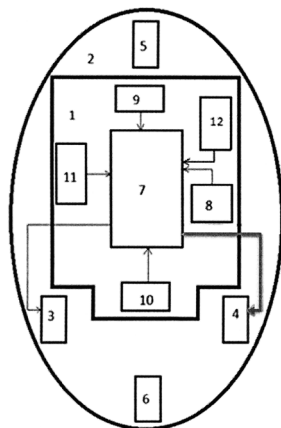
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Брестский государственный тех-
нический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Шуть Василий Николаевич;
Василюк Евгений Викторович; Туз
Иван Сергеевич; Тарасевич Максим
Дмитриевич; Швецова Елена Влади-
мировна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Брестский государственный
технический университет" (ВУ)

(57)

Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении с декартовой системой координат, образованной квадратными плитками горизонтальной поверхности помещения, содержащее эллиптическую платформу, независимо управляемые колеса-электромоторы, компьютер, выходы которого подключены к колесам-электромоторам, а его входы соединены с выходами ультразвуковых датчиков, блок ввода в компьютер координат начальной и конечной точек маршрута, оптоэлектрический датчик, выход которого подключен ко входу компьютера и расположен на малой оси эллипса тележки на расстоянии, равном или большем, чем 1,5 длины стороны квадратной плитки, от центра эллипса, отличающееся тем, что устройство дополнительно содержит второй оптоэлектрический датчик, симметрично расположенный относительно первого оптоэлектрического датчика на малой оси эллипса тележки с центром симметрии, совпадающим с центром эллипса.



Фиг. 1

ВУ 13516 U 2024.07.20

(56)

1. RU 139571, 2014 (аналог).

2. BY 12995, 2022 (прототип).

Полезная модель относится к робототехнике, а именно к устройствам навигации и определения местоположения тележки мобильного робота в плоских декартовых координатах "шахматная доска" при перемещении тележки робота по горизонтальной поверхности в заданном помещении.

В современной робототехнике одной из актуальных задач является задача разработки способов и устройств автономной "интеллектуальной" навигации роботов. При автономном передвижении робот должен уметь определять свое местоположение на карте местности с заданной точностью и осуществлять управление своим движением без участия человека. Поэтому актуальной является разработка специализированных "умных" устройств и программных средств, осуществляющих навигацию мобильных роботов.

Чтобы осуществлять такую навигацию, роботу необходимо иметь указание цели движения, некий алгоритм осуществления движений, карту местности, очерчивающую возможные пути передвижения, а также устройство, способное определять ориентацию робота и его текущее местоположение на карте. В общем случае такая задача сегодня полностью не решена, и единого, универсального способа и устройства для ориентации и навигации мобильного автономного робота в любом возможном пространстве перемещений пока не создано.

Данное техническое решение предназначено для решения одного из частных случаев этой общей задачи - случая перемещения мобильного робота в помещениях, пол которых выложен белыми и черными плитками в шахматном порядке, при наличии динамически перемещающихся других объектов (людей, механизмов). Такая задача возникает в производственных цехах, складах и т. д., где мобильные роботы заняты перевозкой грузов.

Сегодня известно много способов и устройств для автономной ориентации и навигации мобильных роботов и робототехнических автоматизированных систем (автокаров, автомобилей и т. п.) в пространстве.

Наиболее близким по своим эксплуатационным характеристикам к заявляемому техническому решению является устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении, изложенное в описании полезной модели к патенту [1]. Устройство ориентации и навигации выполнено с возможностью установки на тележку мобильного робота с электромоторами, содержит датчики расстояния и электронный блок памяти, вычислений и управления движением тележки (компьютер).

Устройство включает в себя электронный блок памяти, вычислений и управления ультразвуковыми датчиками расстояния и движением тележки (компьютер); выходы ультразвуковых датчиков расстояния выполнены с возможностью подключения ко входам электронного блока памяти, вычислений и управления ультразвуковыми датчиками расстояния и движением тележки; выходы электронного блока памяти, вычислений и управления ультразвуковыми датчиками расстояния и движением тележки выполнены с возможностью подключения входов устройств запуска ультразвуковых датчиков расстояния на измерение расстояния и устройств блока электромоторов тележки; в память электронного блока памяти, вычислений и управления ультразвуковыми датчиками расстояния и движением тележки заложена геометрическая карта-план помещений, содержащая номера всех помещений, доступных для робота, их геометрические размеры, а именно длину и ширину, а также алгоритм управления перемещением тележки мобильного робота в зависимости от текущих координат.

Недостатком данного устройства является невозможность одновременного движения мобильного робота в помещениях с другими динамически перемещающимися объектами (люди, механизмы и т. д.). Это существенный недостаток, так как он не позволяет использовать мобильный робот в цехах и на складах, где всегда присутствует большое количество людей.

Известно устройство для ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении (прототип), изложенное в описании полезной модели к патенту [2]. Устройство содержит эллиптическую платформу, независимо управляемые колеса-электромоторы, компьютер, выходы которого подключены к колесам-электромоторам, а его входы соединены с выходами ультразвуковых датчиков, блок ввода в компьютер координат начальной и конечной точек маршрута, оптоэлектрический датчик, выход которого подключен ко входу компьютера и расположен на малой оси эллипса тележки на расстоянии, равном или большем, чем 1,5 длины стороны квадратной плитки пола помещения, от центра эллипса.

В данном устройстве устранен недостаток устройства-аналога [1]. Тем не менее данное устройство имеет существенный недостаток, состоящий в том, что тележка мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности плиточного пола, образующего декартову систему координат, со временем теряет необходимую ориентацию в пространстве. Последнее связано с накоплением погрешности при движении робота. Малая ось эллипса платформы при прямолинейном движении должна быть параллельна стороне плитки (аналогично большая ось эллипса всегда перпендикулярна стороне плитки по вектору направления движения). Из-за неточности выполнения колес, проскальзывания колес относительно пола, изменений и колебаний электрических параметров колес-электромоторов, неточности при поворотах тележки на 90° вокруг центра эллипса платформы накапливается ошибка. Малая ось эллипса становится непараллельна стороне плитки, и со временем робот может потерять реальное свое положение в помещении.

Задача данного технического решения направлена на устранение вышеуказанного недостатка. Авторами предлагается недорогое, безопасное решение для устранения нарастающей погрешности положения тележки мобильного робота при его перемещении в заданном помещении по горизонтальной поверхности.

Поставленная задача решается следующим образом. В устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении в помещении с декартовой системой координат, образованной квадратными плитками горизонтальной поверхности помещения по патенту [2], содержащее эллиптическую платформу, независимо управляемые колеса-электромоторы, компьютер, выходы которого подключены к колесам-электромоторам, а его входы соединены с выходами ультразвуковых датчиков, блок ввода в компьютер координат начальной и конечной точек маршрута, оптоэлектрический датчик, выход которого подключен ко входу компьютера и расположен на малой оси эллипса тележки на расстоянии, равном или большем, чем 1,5 длины стороны квадратной плитки, от центра эллипса, дополнительно введен второй оптоэлектрический датчик, симметрично расположенный относительно первого оптоэлектрического датчика на малой оси эллипса тележки с центром симметрии, совпадающим с центром эллипса.

Полезная модель показана на фигурах.

На фиг. 1 изображено предлагаемое устройство, расположенное на эллиптической платформе тележки мобильного робота;

на фиг. 2 - проекция платформы тележки на пол помещения;

на фиг. 3 - маршрут движения мобильного робота от точки А до точки В;

на фиг. 4 - отклонение мобильного робота вправо от вертикального направления движения;

ВУ 13516 U 2024.07.20

на фиг. 5 - отклонение мобильного робота влево от вертикального направления движения.

на фиг. 6 - траектория движения оптоэлектрического датчика относительно центра платформы при правом повороте мобильного робота;

на фиг. 7 - траектория движения оптоэлектрического датчика относительно центра платформы при левом повороте мобильного робота;

фиг. 8 поясняет принцип работы оптоэлектрического датчика.

Обозначения (фиг. 1):

- 1 - предлагаемое устройство;
- 2 - тележка мобильного робота;
- 3 - левое колесо-электромотор;
- 4 - правое колесо-электромотор;
- 5 - левое поддерживающее колесо;
- 6 - правое поддерживающее колесо;
- 7 - компьютер;
- 8 - блок ввода информации;
- 9, 10 - ультразвуковые датчики;
- 11 - левый оптоэлектрический датчик;
- 12 - правый оптоэлектрический датчик.

Предлагаемое устройство 1, размещаемое на эллиптической платформе тележки мобильного робота 2 с левым колесом-электромотором 3 и правым колесом-электромотором 4, а также двумя пассивными поддерживающими колесами 5 и 6, расположенными в фокусах эллипса, содержит компьютер 7 с блоком ввода информации 8, ультразвуковые датчики 9 и 10, выходы которых подключены ко входу компьютера 7, к входам которого также подключены оптоэлектрические датчики 11 и 12 (фиг. 1). Выходы компьютера 7 соединены с левым колесом-электромотором 3 и правым колесом-электромотором 4.

Пол помещения выстлан светлыми и темными плитками в шахматном порядке (фиг. 2). Геометрическая карта-план помещения содержится в блоке памяти компьютера и представляет собой сетку декартовых координат X_1, X_2 , по которым движется мобильный робот. Плитка квадратная. Робот выполняет движение по ортогональной сетке, как вертикально, так и горизонтально. В связи с этим повороты робот осуществляет только под прямым углом, как показано на фиг. 3.

Роботу из точки А (3, 3) с координатами (x_1, x_2) надо перевезти груз в точку В (9, 12) и снова вернуться в точку А за новой партией груза. Для этого он вначале движется из точки А вертикально до промежуточной точки С (3, 12), где делает правый поворот, после чего, двигаясь по горизонтали, достигает пункта назначения В (9, 12).

Центр платформы робота совпадает с центром эллипса, на малой полуоси которого слева в отдалении в 1,5 стороны плитки расположен левый оптоэлектрический датчик 11, а справа на таком же расстоянии от центра эллипса расположен правый оптоэлектрический датчик 12. Также на этой полуоси расположены колеса-электромоторы 3 и 4 (фиг. 2). Проекция на пол оптоэлектрических датчиков 11 и 12 в режиме остановки робота располагается на ортогонали (горизонтальной либо вертикальной). Центр эллиптической платформы (центр эллипса) совпадает с точкой пересечения горизонтальных и вертикальных ортогоналей пола помещения при остановке движения робота. Таким образом, траектория движения робота - это движение его центра дискретно точкам пересечения ортогоналей пола, образованных сторонами плиток.

Рассмотрим работу устройства. Оператор через блок ввода информации 8 вносит в память компьютера координаты точки отправления робота А (3, 3) и координаты точки назначения В (9, 12). Координаты точки поворота робота С (3, 12) и направление поворота (левый, правый) компьютер вычислит самостоятельно из следующих условий: $x_{1C} = x_{1A}$,

ВУ 13516 U 2024.07.20

$x_{2C} = x_{2B}$. Эта операция, выполняемая компьютером 7, называется прокладкой маршрута. Маршрут может быть построен и по другому варианту.

Например, в точке А (3, 3) робот разворачивается и движется по горизонтали до точки D (9, 3). В точке D он снова делает поворот и затем по вертикали достигает пункта назначения - точки В. Это два равноценных рабочих маршрута, которые могут быть проложены и могут использоваться мобильным роботом для перевозки груза из точки А в точку В, и наоборот.

Маршруты равноценны в плане того, что в каждом из них использован только один поворот. Минимизация числа поворотов важна, так как при повороте скорость передвижения снижается. Робот имеет равноценную переднюю и заднюю часть и по маршруту может двигаться из крайних точек без разворота. Колеса-электромоторы 3 и 4 реверсны, а в передней и задней части робота установлены ультразвуковые датчики 9 и 10. При появлении перед роботом неожиданного препятствия, не предусмотренного в карте помещения (хранится в памяти компьютера), робот останавливается и продолжает движение только после исчезновения неожиданного препятствия.

Рассмотрим вопрос идентификации роботом своего положения в помещении при движении. Для этого в устройстве имеются оптоэлектрические датчики 11 и 12 (фиг. 1). Принцип работы оптоэлектрического датчика поясняется фиг. 8. Инфракрасный светодиод излучает свет. Если он попадает на светлую поверхность, то он отражается и попадает на фотодиод. Выход такого фотодиода соответствует логической единице. В случае попадания на темную поверхность на выходе фотодиода будет ноль. Сигналы с фотодиода поступают на обработку в компьютер 7. При движении робота по плиточной поверхности в компьютер постоянно поступают обновляющиеся сигналы в форме логической 1 и 0.

В исходном положении центр платформы робота располагается на пересечении ортогоналей $x_1 = 3$ и $x_2 = 5$ (фиг. 2), а оптоэлектрические датчики 11, 12 расположены слева и справа на расстоянии в 1,5 стороны плитки от продольной оси платформы, или большой полуоси эллипса. На фиг. 2 оптоэлектрические датчики расположены на горизонтали пола с координатой $x_2 = 5$. При начале движения робота (фиг. 2) вдоль вертикали (движение вверх) левый оптоэлектрический датчик 11 скользит вначале над темной плиткой, и, следовательно, с его выхода в компьютер поступает логический ноль; затем над светлой плиткой, и с его выхода в компьютер 7 поступает логическая единица. Как только робот пересечет горизонталь $x_2 = 6$, сигнал с датчика поменяется с 0 на 1. Каждый раз смена сигнала информирует компьютер, что робот прошел один ряд плиток. Это отображается компьютером 7 на карте помещения, хранящейся в памяти компьютера.

Аналогичные сигналы, только инверсные (1, 0), поступают в компьютер 7 с правого оптоэлектрического датчика 12.

Карта помещения имеет две составляющие: статическую и динамическую. Статическая часть отображает размер, геометрическую конфигурацию и пол помещения в декартовых координатах в условных единицах "одна плитка" (фиг. 2). Также статическая составляющая карты отображает места расположения машин, оборудования и т. д., если это производственный цех либо стеллажи для продукции в случае склада. Она заложена в память компьютера и отличается высокой степенью постоянства.

Динамическая составляющая, наоборот, постоянно меняется, так как она отображает движение и положение робота в пространстве цеха, склада и т. д. Компьютеру 7 всегда известно, где находится робот. Так, в исходном положении он расположен на позиции А (3, 3) (фиг. 3). Ему необходимо доставить груз на позицию В (9, 12) через точку С (3, 12), ранее определенную для поворота. Для этого компьютер 7 должен рассчитать расстояние в плитках от А (3, 3) до С (3, 12) по формуле: $R_{AC} = |x_{2A} - x_{2C}| = |3 - 12| = 9$. Таким образом, роботу необходимо проехать 9 горизонталей. С левого оптоэлектрического датчика 11 в процессе движения на компьютер 7 будут поступать следующие сигналы: 101010101(0). Компьютер отслеживает эту последовательность и после пятой единицы

ВУ 13516 U 2024.07.20

при появлении нуля останавливает работа на горизонтали $x_2 = 12$ (точка С (3, 12)). Аналогичные сигналы, только инверсные 0101010(1), поступают в компьютер 7 с правого оптоэлектрического датчика 12.

В точке С робот разворачивается и начинает движение по горизонтали $x_2 = 12$ к конечному пункту В (9, 12). Аналогичным образом рассчитывается расстояние от точки С до точки В: $R_{CB} = |x_{1C} - x_{1B}| = |3 - 9| = 6$ и контролируется двоичная последовательность 101010(1) (фиг. 3). Компьютер отслеживает эту последовательность и сразу при появлении четвертой единицы останавливает робот на горизонтали $x_2 = 12$ (точка В (9, 12)). С правого оптоэлектрического датчика 12 считываются в компьютер 7 инверсные сигналы 010101(0).

Из-за несимметричности изготовления колес, проскальзывания колес относительно пола, нестабильности электрических параметров колес-электромоторов и т. д. возможны ситуации отклонения тележки мобильного робота от прямолинейного движения как по вертикали, так и по горизонтали. Отклонение может быть как вправо (фиг. 4), так и влево (фиг. 5). Причем незначительные отклонения при переходе от одного ряда плиток к другому накапливаются и через некоторое время могут составить значительную величину, как это показано на фиг. 4 и 5. Тележка мобильного робота со временем будет находиться совсем не там, где она отражена в памяти компьютера 7.

Для устранения этого недостатка устройства прототипа введен второй правый оптоэлектрический датчик 12, который позволяет полностью устранить подобную ситуацию.

Выполняется это следующим образом. При движении центра А тележки мобильного робота 2 по вертикали $x_1 = 3$ (фиг. 4) к точке В (3, 13) центр тележки последовательно проходит горизонтальные ряды плиток. Возможна ситуация (фиг. 4), когда левый оптоэлектрический датчик 11 первым достигнет горизонтали $x_2 = 5$, нежели правый оптоэлектрический датчик 12. То есть с левого оптоэлектрического датчика 11 пришла смена сигнала 0(1), а с правого оптоэлектрического датчика 12 еще нет. Тогда компьютер 7 отключает левое колесо-электромотор 3, в то время как правое колесо-электромотор 4 продолжает работать и дотягивает тележку мобильного робота 2 до требуемого положения, когда правый оптоэлектрический датчик 12 станет над горизонталью $x_2 = 5$. С него поступит в компьютер 7 сигнал смены плитки 1(0). Далее вновь включается левое колесо-электромотор 3, и выровненная тележка мобильного робота 2 продолжает движение по вертикали через следующий ряд горизонтальных плиток.

Таким образом, при прохождении тележки мобильного робота 2 каждого ряда горизонтальных плиток происходит коррекция положения тележки. Поэтому в предлагаемом устройстве такого большого отклонения, как показано на фиг. 4, не может быть, в то время как в устройстве-прототипе это возможно за счет постепенного накопления ошибки позиционирования.

Аналогичным образом выполняется коррекция положения тележки мобильного робота 2 при левом ее смещении, как это показано на фиг. 5. То есть в этом случае правый оптоэлектрический датчик 12 первым достигает горизонтали $x_2 = 5$, в то время как левый оптоэлектрический датчик 11 ее не достиг. С правого оптоэлектрического датчика 12 в компьютер 7 поступает сигнал смены плитки со светлой на темную 1(0). Подача напряжения на правое колесо-электромотор 4 прекращается, а левое колесо-электромотор работает до момента, пока с левого оптоэлектрического датчика 11 не поступит смена сигнала 0(1). Тележка выровнена.

Центральным моментом данной транспортной системы является поворот робота на 90° вокруг своего центра (фиг. 6, 7). Различают два типа поворота робота - правый и левый. Траектория движения оптоэлектрических датчиков 11 и 12 относительно центра платформы С при правом повороте мобильного робота изображена на фиг. 6. Левый оптоэлектрический датчик 11 вместе с платформой переходит из положения "а" в положение "б" по дуге окружности "аб" относительно центра С. Аналогично правый оптоэлектрический

ВУ 13516 U 2024.07.20

датчик 12 переходит из положения "в" в положение "г" по дуге окружности "вг" относительно центра С. При повороте оба колеса-электромотора 3 и 4 вращаются в разные стороны. Левое колесо электромотор вращается по часовой стрелке, правое - против, чем обеспечивается совпадение центра платформы с точкой поворота С. То есть робот повернулся вокруг своего центра (центр эллипса платформы) на 1/4 окружности (90°). Во время поворота левый оптоэлектрический датчик 11 сначала проходит над темной плиткой, затем над светлой и вновь над темной. Значит, на вход компьютера 7 поступит следующая двоичная последовательность: 010(1). Последняя единица в скобках информирует компьютер, что поворот завершен и необходимо остановить колеса-электромоторы.

Аналогично во время поворота правый оптоэлектрический датчик 12 сначала проходит над темной плиткой, затем над светлой и вновь над темной. Значит, на вход компьютера 7 поступит следующая двоичная последовательность: 010(1). При поворотах двоичная последовательность с обоих датчиков совпадает. Оба колеса-электромоторы останавливаются при совпадении двоичных последовательностей.

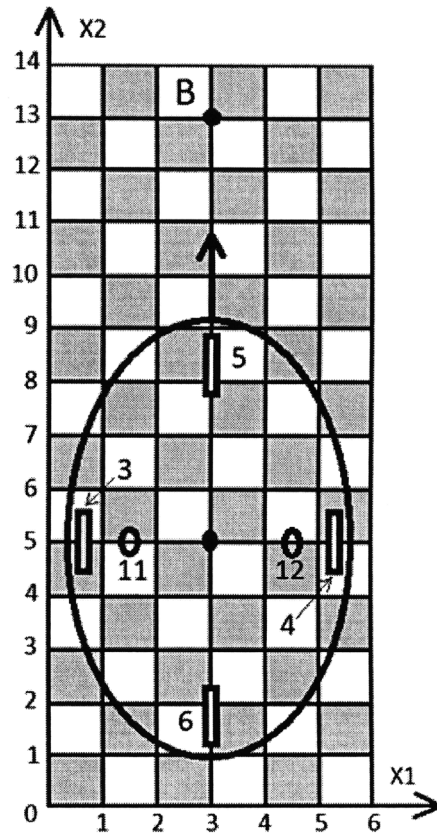
При левом повороте траектория движения оптоэлектрических датчиков 11 и 12 относительно центра платформы С мобильного робота изображена на фиг. 7. Процесс поворота осуществляется аналогично. Левый оптоэлектрический датчик 11 переходит из положения "а" в "б", а правый оптоэлектрический датчик 12 - из положения "в" в "г". Двоичная последовательность следующая: 101(0), т. е. она инверсна последовательности сигналов правого поворота. Поворот заканчивается при появлении нуля (в скобках) с обоих датчиков. Таким образом, операция поворота, как одна из сложных в данном устройстве, просто реализуется. Компьютер 7 благодаря оптоэлектрическим датчикам 11 и 12 постоянно имеет информацию, где и в каком положении находится мобильный робот. Введение в устройство второго оптоэлектрического датчика 12 позволяет четко выполнять поворот на 90°.

Два ультразвуковых датчика 9 и 10 предназначены для фиксации объектов, которые не отмечены в карте помещения. Если такой объект в поле зрения датчика появляется, то робот останавливается и продолжает движение при его исчезновении. Робот симметричен как продольно, так и поперечно относительно полуосей эллипса, поэтому у него нет явно выраженной передней или задней части и он движется по маршруту как вперед, так и назад без разворота.

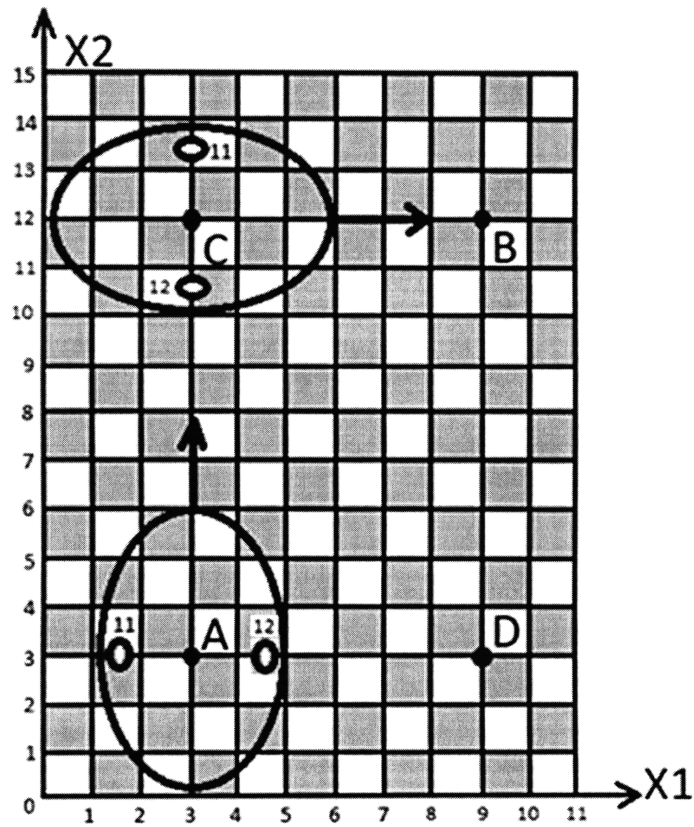
Таким образом, предложенное техническое решение функционально позволяет с заданной точностью, достаточной для практического применения, определять координаты тележки робота на карте местности и ее угловое положение при перемещении тележки робота по горизонтальной поверхности в заданном производственном или складском помещении, пол которого выстлан светлыми и темными плитками, при наличии в помещении двигающихся людей, механизмов.

При этом через блок ввода информации 8 легко вносится любой маршрут для робота посредством ввода начальной точки А и конечной точки В маршрута, что удобно и не требует переклейки магнитной ленты или рисования на полу белых (черных) линий. С использованием данного устройства возможно роботу задать программу работы на сутки с указанием времени смены маршрута. Это важно, так как на предприятии или на складе до обеда надо перевозить детали из точки А₁ в точку В₁, а после обеда - из А₂ в В₂. Для этого через блок ввода информации в компьютер 7 вносится суточный план работы робота в форме множества векторов $\{(A_1, B_1, t_1), (A_2, B_2, t_2) \dots\}$, т. е. с времени t_1 робот перевозит грузы из А₁ в В₂, при наступлении времени t_2 робот начинает перевозить грузы из А₂ в В₂ и т. д.

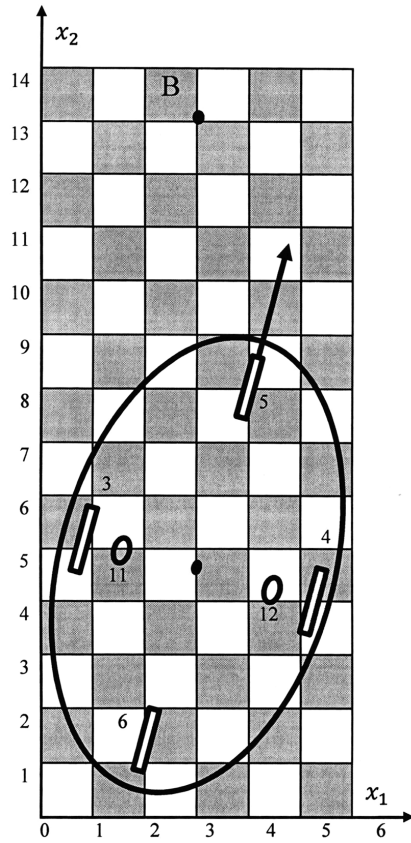
Еще одной особенностью предлагаемого устройства является эллиптическая форма платформы. Для работы в цехе и на складе при наличии людей это самая удобная форма без острых углов.



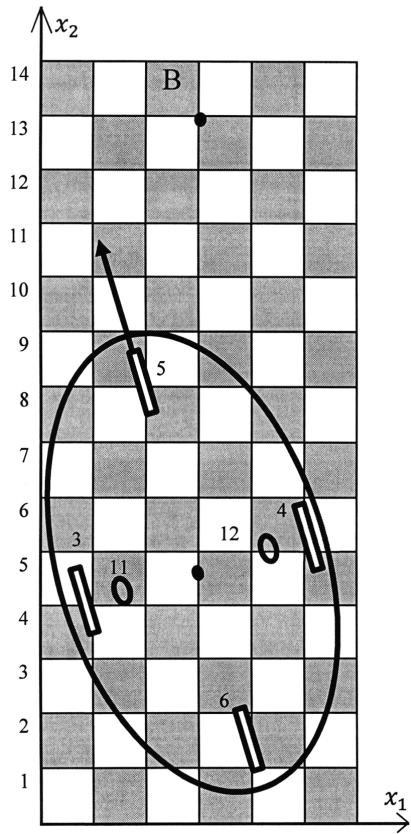
Фиг. 2



Фиг. 3

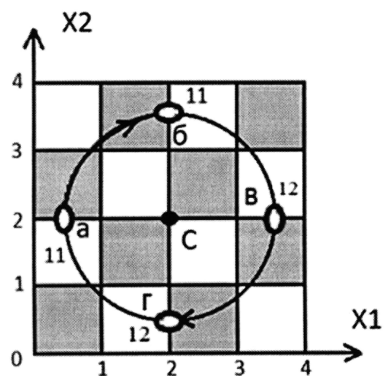


Фиг. 4

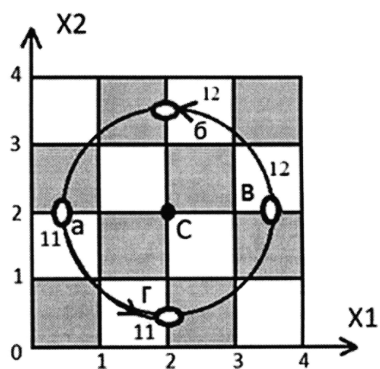


Фиг. 5

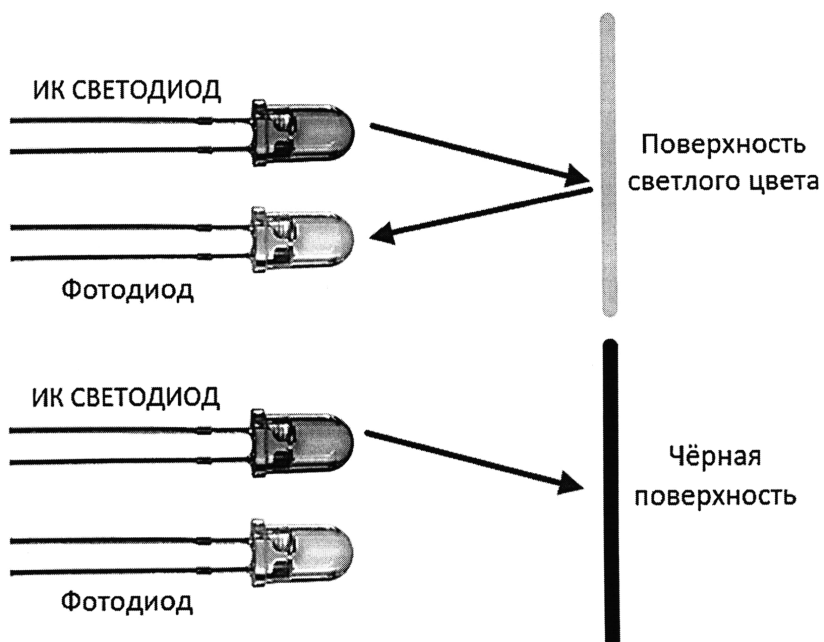
BY 13516 U 2024.07.20



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8