

УСТРОЙСТВО ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ТЕЛЕЖКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

студент Сидоренко А. А.,

студент Марач М. С.

Научный руководитель - канд. техн. наук Шуть В. Н.

Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

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.

В данной работе предлагается техническое решение для 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.

Предлагаемое устройство, размещаемое на эллиптической платформе (рисунок 1) тележки мобильного робота 2 с левым колесом-электромотором 3 и правым колесом 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, ещё один вход которого

подключен к оптоэлектрическому датчику 11 Выходы компьютера 7 соединены с левым колесом-электромотором 3 и правым колесом 4.

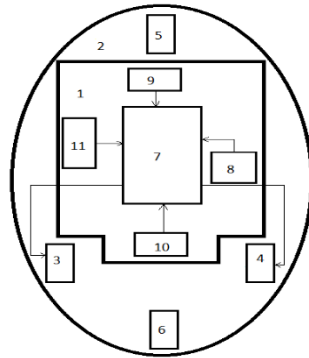


Рисунок 1. Устройство, расположенное на эллиптической платформе тележки мобильного робота

Пол помещения выстлан светлыми и темными плитками в шахматном порядке (рисунок 2).

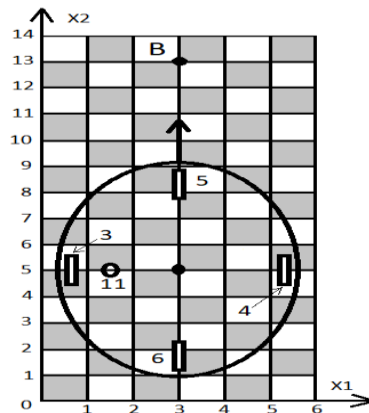


Рисунок 2. Проекция платформы тележки на пол помещения

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 рисунке 3.

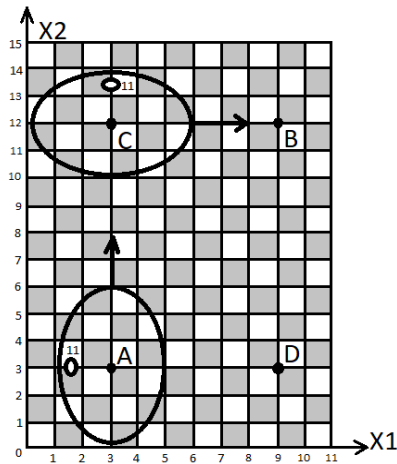


Рисунок 3. Маршрут движения мобильного робота от точки А до точки В

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 оптоэлектрический датчик 11. Также на этой полуоси расположены колеса-электромоторы 3 и 4 (см. Рисунок 2). Проекция на пол оптоэлектрического датчиков 11 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 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: $x_{1C} = x_{1A}$, $x_{2C} = x_{2B}$. 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 Д (9,3). В точке Д он снова делает поворот и затем по вертикали достигает пункта назначения точки В. Это два равноценных рабочих маршрута, которые могут быть проложены и 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 препятствий 9 и 10. При появлении перед роботом неожиданного препятствия, не предусмотренного в карте помещения (храниться в памяти компьютера), робот останавливается и продолжает движения только после исчезновения неожиданного препятствия.

Рассмотрим вариант прокладки маршрута при наличии в помещении оборудования (Рисунок 4).

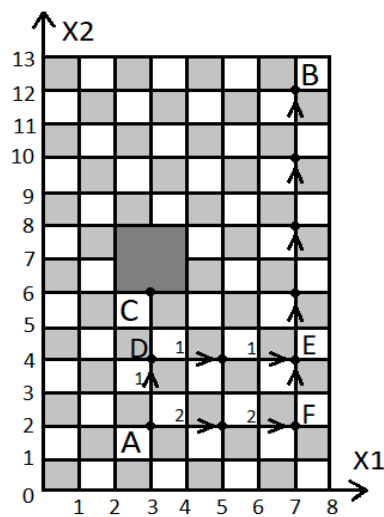


Рисунок 4. маршрут движения мобильного робота от точки А до точки В при наличии в помещении оборудования

Компьютер 7 начинает первую прокладку вертикально вверх. Пройдя точку Д, и переходя к следующему шагу (точка С), программа компьютера 7

обнаруживает, что точка С занята. Тогда программа возвращается назад в точку Д и делает правый поворот двигаясь в направлении которого доходит до точки Е, в которой делается левый поворот, после которого, двигаясь вертикально вверх будет достигнут искомый пункт назначения В. Этим построен маршрут 1 (Рисунок 4), в котором использовано два поворота.

Затем компьютер начинает построение альтернативных маршрутов из точки А. Двигаясь горизонтально в точке F он делает левый поворот, после которого, двигаясь по ординате вверх, достигает пункта назначения В. Это альтернативный маршрут 2, в котором всего один поворот и который рекомендован компьютером 7 к реализации. К оптимальным маршрутам относятся одноповоротные маршруты, либо нулевые, когда пункт отправления груза А расположен на одной вертикали или горизонтали с конечным пунктом приема груза В.

Рассмотрим вопрос идентификации роботом своего положения в помещении при движении. Для этого в устройстве имеется оптоэлектрический датчик 11 (фиг.1). Принцип работы датчика поясняется приложением 1. 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 $x_2 = 5$, а датчик 11 расположен слева на расстоянии в 1.5 стороны плитки от продольной оси платформы, или большой полуоси эллипса (фиг.2). На фиг.2 датчик расположен на горизонтали пола с координатой $x_2 = 5$. При начале движения робота вдоль вертикали (движение вверх) 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.

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» (Рисунок 2). Также статическая составляющая карты отображает места расположения машин, оборудования и т.д., если это производственный цех (Рисунок 4), 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) (Рисунок 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 оптоэлектрического датчика 11 в процессе движения на компьютер будут поступать следующие сигналы 101010101(0). Компьютер отслеживает эту последовательность и после пятой единицы при появлении нуля останавливает робота на горизонтали $x_2 = 12$ (точка С(3,12)).

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 робота на горизонтали $x_2 = 12$ (точка В(9,12)).

Центральным моментом данной транспортной системы является поворот робота на 90 градусов вокруг своего центра (фиг.3). Различают два типа поворота робота: правый и левый. Траектория движения оптоэлектрического датчика 11 относительно центра платформы С при правом повороте мобильного робота изображена на рисунке 5.

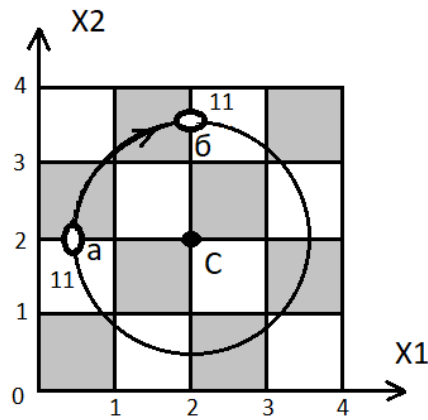


Рисунок 5. Траектория движения оптоэлектрического датчика относительно центра платформы при правом повороте мобильного робота

Оптоэлектрический датчик 11 вместе с платформой переходит из положения «а» в положение «б» по дуге окружности «аб» 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 $\frac{1}{4}$ окружности (90 градусов). Во время поворота 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.

При левом повороте траектория движения оптоэлектрического датчика 11 относительно центра платформы С мобильного робота изображена на рисунке 6.

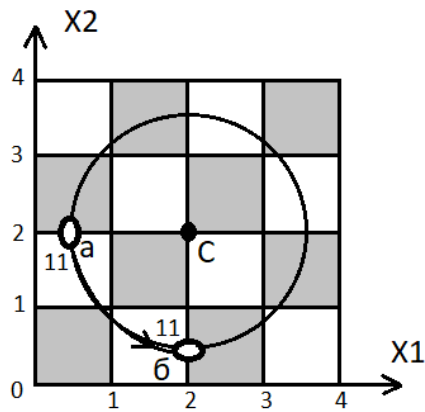


Рисунок 6. Траектория движения оптоэлектрического датчика относительно центра платформы при левом повороте мобильного робота

Процесс поворота осуществляется аналогично. Двоичная последовательность, следующая 101(0), то есть она инверсна последовательности сигналов правого поворота. Поворот заканчивается при появлении нуля (в скобках). Таким образом, операция поворота, как одна из сложных в данном устройстве, просто реализуется. Компьютер 7 постоянно имеет информацию, где и в каком положении находится мобильный робот.

Важной особенностью предложенной транспортной системы является выбор места установки на малой оси эллипса оптоэлектрического датчика относительно центра платформы (рисунок 7).

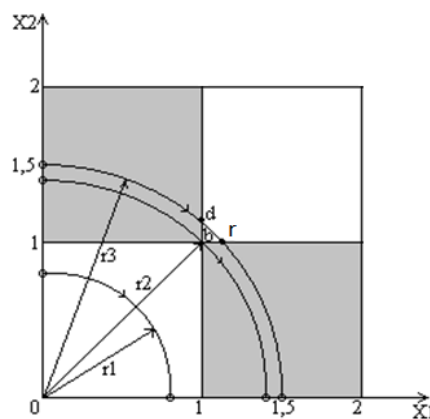


Рисунок 7. Параметры места установки оптоэлектрического датчика. Приложение 1 поясняет принцип работы оптоэлектрического датчика.

Если установить оптоэлектрический датчик на расстоянии $r_1 < 1$, где 1 означает в условных единицах длину стороны плитки, то при повороте платформы датчик 11 выдаст укороченный код 1(0), что снижает надежность работы системы. При расположении датчика на расстоянии $r_2 = \sqrt{2}$ - диагональ плитки, процесс работы оптоэлектрического датчика становится неустойчивым. И только при $r_3 \geq 1.5$ при повороте платформы вокруг центра эллипса обеспечивается значительный сектор вгд (Рисунок 7), которым гарантируется требуемая последовательность 010(1).

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 вносятся 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 A_1 в точку B_1 , а после обеда из A_2 в B_2 . Для этого через блок ввода 8 в компьютер 7 вносятся суточный план работы робота в форме множества векторов $\{(A_1, B_1, t_1), (A_2, B_2, t_2) \dots \dots \dots\}$, то есть с времени t_1 робот перевозит грузы из A_1 в B_1 , при наступлении времени t_2 робот начинает перевозить грузы из A_2 в B_2 , и т.д.

Ещё 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.

Литература

1. <https://www.electronicshub.org/arduino-line-follower-robot/>
2. Глонасс, GPS и др. (см. Бобровский, С.Н. Навигация мобильных роботов // Журн. PC Week. - 2004. - №9. - С. 60-63)