

потока углеродной плазмы, указаны их достоинства и недостатки. На основании проведённого обзора предложена конструкция фильтра, применяемого для сепарации импульсного потока углеродной плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (НИР № 20212075).

Список использованных источников

1. Vetter J. 60 years of DLC coatings: Historical highlights and technical review of cathodic arc processes to synthesize various DLC types, and their evolution for industrial applications / J. Vetter // Surf. Coat. Technol. – 2014. – Vol. 257. – P. 213–240.
2. Erdemir, Eryilmaz O. Achieving superlubricity in DLC films by controlling bulk, surface, and tribochemistry / Erdemir, O. Eryilmaz // Friction 2(2). – 2014. – P. 140–155.
3. Simpson, O.C. The vapor pressure and heat of sublimation of graphite / O.C. Simpson, R.J. Thorn, G.H. Winslow. – Michigan ; Argonne National Laboratory, Chemistry Division, 1949. – 172 p.
4. Schmellenmeier, H. Die Beeinflussung von festen Oberflächen durch eine ionisierte / H. Schmellenmeier // Exp. Tech. Phys. – 1953. Vol. 1. – P. 49–68.
5. Schmellenmeier, H. Kohlenstoffschichten mit Diamantstruktur / H. Schmellenmeier // Z. Phys. Chem. – 1956. – Vol. 205. – P. 349–360.
6. Bradley, D.E. Evaporated carbon films for use in electron microscopy / D.E. Bradley // Brit. J. Appl. Phys. – 1954. – Vol. 5. – P. 65–66.
7. Anders, A. Approaches to rid cathodic arc plasma of macro- and nanoparticles: A review / A. Anders // Surf. Coat. Technol. – 1999. – Vol. 120–121. – P. 319–330.
8. Аксенов, И.И. Установка для нанесения покрытий в вакууме / И.И. Аксенов, В.А. Белоус, В.Г. Падалка. А.с. СССР № 605425, 1978 г.
9. Высокоэффективный источник чистой углеродной плазмы / И.И. Аксенов [и др.] // ЖТФ. – 1980. – Т. 50, № 9. – С. 2000–2003.
10. Storer J. Transport of vacuum arc plasma through straight and curved magnetic ducts / J. Storer, J.E. Galvin, I.G. Brown // J. Appl. Phys. – 1989. – Vol. 66. – P. 5245–5250.
11. Anders, A. From fractal spots to energetic condensation / A. Anders. – New York ; Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, 2008. – 544 p.
12. Anders, A. Twist filter for the removal of macroparticles from cathodic arc plasmas / A. Anders, R.A. MacGill // Surf. Coat. Technol. – 2000. – Vol. 133–134. – P. 96–100.
13. Anders, A. Approaches to rid cathodic arc plasma of macro- and nanoparticles: a review / A. Anders // Surf. Coat. Technol. – 1999. – Vol. 120–121. – P. 319–330.

УДК 004.415.25

М.Д. Тарасевич

Брестский государственный технический университет

НОВЫЙ МЕТОД ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ТЕЛЕЖКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОВАРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ

В современной робототехнике одной из актуальных задач является задача разработки способов и устройств автономной «интеллектуальной» навигации роботов. В работе приводится новое техническое решение, которое предназначено для решения одного из частных случаев этой общей задачи – случая перемещения мобильного робота в помещениях при наличии динамически перемещающихся других объектов (людей, механизмов). Такая задача возникает в производственных цехах, складах и т. д., где мобильные роботы заняты перевозкой грузов.

Ключевые слова: беспилотная тележка, мобильный робот, система управления, автоматизация, роботизация, метод ориентации в пространстве.

Введение. Одной из наиболее интересных, перспективных и массовых технологий является идея создания беспилотного транспорта [1–12]. При этом развитие беспилотного автомобилестроения открывает новые возможности во многих других сопряженных областях. Таких, как разработка беспилотных грузовых тележек.

Беспилотные тележки представляют собой автономные транспортные средства, которые не требуют вмешательства человека в процессе их работы и могут работать в любых условиях, где необходимо перемещение материалов или товаров [13–18].

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 [15; 16].

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 [15].

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

Поставленная задача решается следующим образом (рисунок 1). В устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота 1 при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении, содержащее тележку мобильного робота 2 с независимо-управляемыми колесами-электромоторами 3–4 включены датчики меток 10–12, ультразвуковой датчик расстояния 9 и компьютер вычислений и управления движением тележки 7, выходы которого подключены к колесам-электромоторам 3–4, а его входы соединены с выходами датчиков меток 10–12 и ультразвукового датчика расстояния 9, а также блок ввода в компьютер координат начальной и конечной точек маршрута 8.

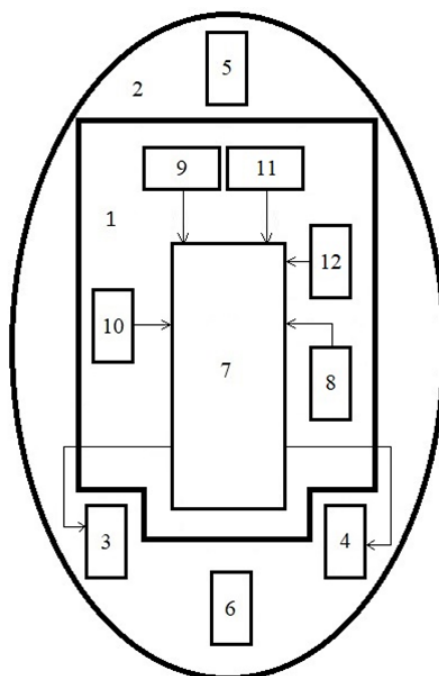


Рисунок 1 – Предполагаемое устройство тележки мобильного робота: 1 – предлагаемое устройство; 2 – тележка мобильного робота; 3 – левое колесо-электромотор; 4 – правое колесо-электромотор; 5 – левое поддерживающее колесо; 6 – правое поддерживающее колесо; 7 – компьютер; 8 – блок ввода информации; 9 – ультразвуковой датчик; 10–12 – датчики меток

Также для решения поставленной задачи на горизонтальную поверхность, по которой движется мобильный робот, нанесены метки в определенных местах для реализации алгоритма движения. Метки могут быть двух типов:

- магнитные (наклеивается на пол алюминиевая фольга). Считывание выполняется индукционным датчиком;
- цветные (темные либо светлые, наносятся на пол). Считывание выполняется ИК-датчиком, который работает по принципу отражения инфракрасного луча от поверхности пола.

Производственный цех представляет собой помещение, разделенное на кластеры (рисунок 2). В каждом кластере (зоне) расположено однотипное оборудование 14. В памяти компьютера оборудование пронумеровано (01-014). Въезд в кластеры ориентирован по вертикали. Как видно на рисунке 2, оборудование может быть разного размера, однако оно входит в границы кластера. Следует отметить, что не во всех кластерах может находиться оборудование. Карта производственного цеха содержится в блоке

памяти компьютера. Позиции п1–п20 являются точками поворота, в которых робот осуществляет повороты, наезжая на поворотные метки 13, расположенные в данных точках.

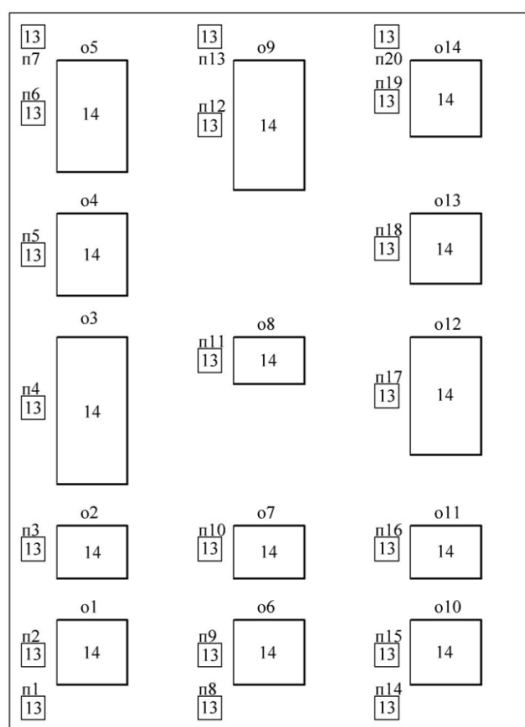


Рисунок 2 – Карта производственного цеха: 13 – поворотные метки; 14 – оборудование; п1–п20 – точки поворота; о1–о14 – нумерация оборудования

Рассмотрим алгоритм движения тележки. Работа организуется следующим образом: тележка подъезжает к кластеру, рабочий кладет на ее поверхность заготовки, тележка везет их в другой кластер, рабочий забирает заготовки, и кладет другие, и так по кругу в соответствии с заданным алгоритмом, что представляет собой полностью автоматизированный производственный цех. Это может широко использоваться при массовом конвейерном производстве, допустим при производстве продуктов питания, одежды, деталей и т. п.

Робот осуществляет повороты, наезжая на поворотные метки, расположенные в точках поворота. Все повороты, как левые, так и правые, осуществляются только на 90 градусов. Тележка подъезжает к оборудованию строго слева, что обозначено тонкой линией на рисунке, и затем, когда рабочий заберет необходимые заготовки и положит на поверхность тележки другие, едет к следующему станку.

Допустим, в соответствии с заданным алгоритмом роботу необходимо отвезти заготовки от станка о1 до станка о8, затем отвезти другие заготовки до станка о11 и вернуться к станку о1. В таком случае робот пройдет по маршруту п2–п6–п7–п13–п11–п8–п14–п16–п20–п7–п2. Как можно заметить, робот строит маршрут без разворотов и циркулирует между кластерами с оборудованием в соответствии с заданным алгоритмом.

На рисунке 3 показано расположение датчиков относительно метки. В исходном положении, когда расстояние между крайними датчиками меток равно квадратной стороне метки (рисунок 3, а), на компьютер со всех датчиков будут поступать сигналы в виде логических единиц (1, 1, 1).

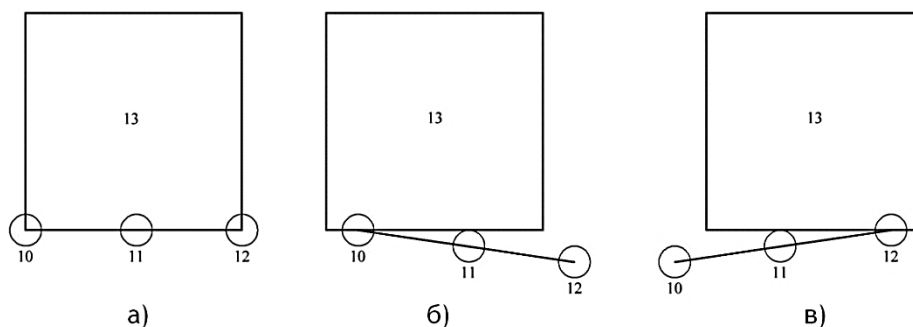


Рисунок 3 – Расположение датчиков относительно метки: а – работа в исходном положении; б – смещение вправо; в – смещение влево; 10–12 – датчики меток; 13 – поворотные метки

Если левое колесо будет работать быстрее (рисунок 3, б), то произойдет смещение эллиптической платформы тележки вправо относительно метки, на компьютер с датчика 11 будет поступать логическая единица, с датчиков 12 и 13 – логический ноль (1, 0, 0). В таком случае робот будет смещаться влево до тех пор, пока на компьютер не поступят сигналы в виде 1, 1, 0.

Если правое колесо будет работает быстрее (рисунок 3, в), то произойдет смещение эллиптической платформы тележки влево относительно метки, на компьютер с датчиков 11 и 12 будет поступать логический ноль, с датчика 13 – логическая единица (0, 0, 1). В таком случае робот будет смещаться вправо до тех пор, пока на компьютер не поступят сигналы в виде 0, 1, 1.

При появлении перед роботом неожиданного препятствия, не предусмотренного в карте помещения (хранится в памяти компьютера), от ультразвукового датчика поступает сигнал на компьютер, робот останавливается и продолжает движение только после исчезновения препятствия.

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, на полу которого нанесены метки.

Список использованных источников

1. Шуть, В.Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы / В.Н. Шуть, Л. Персия. – Брест : Изд-во УО «БрГТУ», 2017. – 230 с.
2. Пегин, П.А. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем / П.А. Пегин, Д.В. Капский, В.В. Касьяник, В.Н. Шуть. – СПб. : СПбГАСУ, 2019. – 198 с.
3. Шуть, В.Н. Кассетно-конвейерная технология скоростных систем городских перевозок / В.Н. Шуть, Е.В. Швецова ; БрГТУ, 2023. – 207 с.
4. Шуть, В.Н. Городской автоматический транспорт / В.Н. Шуть // Транспорт Урала. – 2022. – № 1(72). – С. 3–7.
5. Shviatsova, A. The Intellectual Transport with Divisible Parts / A. Shviatsova, V. Shuts // Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. – Cham : Springer, 2022. – Vol. 416. – P. 265–274.
6. Ракицкий, А.В. Робототехническая транспортная система / А.В. Ракицкий, В.Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013) : материалы междунар. науч. конф. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 82–83.
7. Шуть, В.Н. Информационная транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров / В.Н. Шуть, Л. Персия, Г. Джустиани // Искусственный интеллект. – 2015. – № 1–2. – С. 213–221.
8. Пролиско, Е.Е. Высокопроизводительный транспорт городской перевозки пассажиров на базе мобильных роботов / Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 7. – С. 105–116.
9. Шуть, В.Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов / В.Н. Шуть, Е.Е. Пролиско // Штучний інтелект. – 2016. – № 2 (72). – С. 170–175.
10. Шуть, В.Н. Интеллектуальная система городского общественного транспорта / В.Н. Шуть, В.В. Касьяник // Искусственный интеллект. – 2018. – № 3. – С. 141–149.
11. Шуть, В.Н. Интеллектуальная, кассетная, робототехническая транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров на базе мобильных роботов / В.Н. Шуть // Каталог перспективных разработок и инновационных предложений. – Брест, 2019. – С. 21–23.
12. Shuts, V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / V. Shuts, V. Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – Vol. 12, No 4. – P. 52–60.
13. Ляшук, Н.У. Транспортировка продукции на технологических линиях мясозировых производств / Н.У. Ляшук, В.Н. Шуть, Е.В. Василюк, И.С. Николайчик, В.Р. Лазарук // Мясная индустрия. – 2021. – № 11. – С. 8–12.
14. Ляшук, Н.У. Применение беспилотных транспортных тележек в технологических линиях мясозировых производств / Н.У. Ляшук, В.Н. Шуть, Е.В. Василюк, А.О. Заречный, А.Л. Михняев, Д.В. Крупко // Мясные технологии. – 2022. – № 10. – С. 42–46.
15. Патент BY13516 BY, МПК G01C21/04. Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении / В.Н. Шуть, Е.В. Василюк, И.С. Туз, М.Д. Тарасевич, Е.В. Швецова. – Опубл. 2023.
16. Патент BY12995 BY. Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении / В.Н. Шуть, Н.У. Ляшук, И.В. Колядич, Е.В. Василюк, Я.О. Заречный, А.О. Заречный, Н.С. Монтик, А.В. Бойко. – Опубл. 2023.
17. Шуть, В.Н. Интеллектуальная грузовая беспилотная тележка / В.Н. Шуть, Е.В. Василюк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы 12-й международной конференции, посвященной 160-летию белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 г. : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Ч. 2. – С. 89–90.
18. Швецова, Е.В. Безопасность беспилотных транспортных систем / Е.В. Швецова, В.Н. Шуть // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Ч. 1. – С. 90–91.