

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Болгарская Академия наук  
ООО «Научно исследовательское предприятие «Лазерные технологии»

# **ИННОВАТИКА-2019**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**XV Международной школы-конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых  
25–27 апреля 2019 г.  
г. Томск, Россия**

*Под редакцией А.Н. Солдатов, С.Л. Минькова*

Scientific & Technical Translations



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**

**Томск – 2019**

## ПРОЕКТ РОБОТА-ПЕРЕВОЗЧИКА

**Е.А. Колотвин, О.Ю. Фролов**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
egorwinegorwin@hotmail.ru*

## CARRIER ROBOT PROJECT

**E.A. Kolotvin, O.Yu. Frolov**

*National Research Tomsk State University*

*The article discusses the method of moving a mobile robot in space according to given coordinates. The basic requirements and tasks that a mobile robot should perform are formulated. A transfer algorithm was developed and a prototype was created. According to the test results, conclusions were drawn about the advisability of using the developed model of a mobile robot for solving automation problems.*

*Keywords: mobile robot, carrier robot, cybernetic constructor TRIK.*

В условиях быстрого развития автоматизации рабочих процессов перед производством все чаще встает вопрос об оснащении предприятий мобильными роботами для выполнения складских работ, обслуживания технологического оборудования и повышения эффективности выполнения различных операций в целом. В связи с этим разработка алгоритмов локализации и навигации [1], является на сегодняшний день актуальной задачей.

Целью работы является создание алгоритма перемещения мобильного робота в пространстве по заданным координатам и его реализация на опытном образце. При этом сформулированы следующие требования: робот должен работать в циклическом режиме, корректировать свое текущее положение, не используя внешние устройства, установленные на складе, использовать минимальный набор датчиков.

Для решения поставленной задачи используются: модель мобильного робота на базе кибернетического конструктора ТРИК, оснащенная двумя лазерными дальномерами спереди и сбоку, а также гироскопом; рабочее пространство; среда разработки TRIK Studio, позволяющая осуществлять визуальное программирование различных образовательных конструкторов и интерпретировать созданную диаграмму в текстовый язык с последующим автономным исполнением его на роботе [2].

Для перемещения робота по заданным координатам используется следующий порядок действий: определение угла поворота, на который необходимо повернуть, чтобы быть ориентированным на целевую точку,

поворот, расчет расстояния до цели, перемещение на вычисленное расстояние, регистрация новых положений и ориентации робота в пространстве.

Для определения угла поворота принимаем, что робот находится в начале координат и ориентирован вдоль оси X. Чтобы определить угол, на который необходимо повернуть, роботу достаточно знать координаты точки, в которой он находится, координаты точки, в которую необходимо переместиться, а также предыдущий угол поворота. Рассматриваются четыре варианта расположения целевой точки в каждой четверти декартовой системы координат, а также четыре варианта, когда она лежит на одной из осей (рис. 1). Буквой  $\alpha$  обозначен угол, на который должен повернуть робот, буквой  $\beta$  – вспомогательный угол, используемый для вычислений. Угол  $\beta$  вычисляется по формуле:

$$\beta = \arctan \frac{y_2 - y_1}{|x_2 - x_1|} \quad (1)$$

где  $y_2$  и  $x_2$  – координаты точки цели, а  $y_1$  и  $x_1$  – текущие координаты.

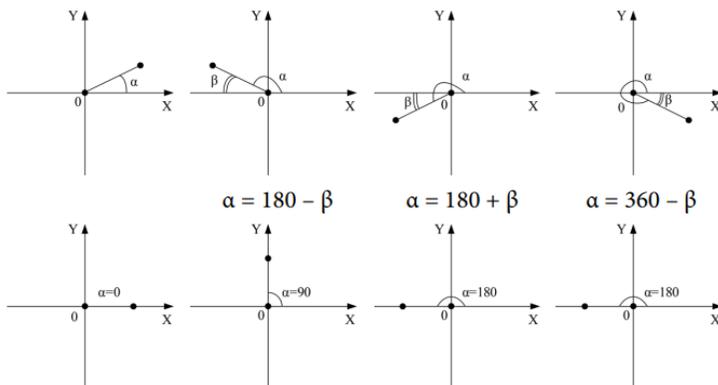


Рис. 1. Варианты расположения целевой точки

После того, как робот рассчитал угол поворота и принял новую ориентацию, относительно своего начального положения, он вычисляет расстояние до целевой точки и совершает перемещение на полученную величину. Далее робот регистрирует координаты достигнутой целевой точки как текущие и переходит к вычислению угла поворота и расстояния до новой целевой точки. После того, как робот объехал все целевые

точки, он возвращается в место старта и повторяет все описанные выше действия. К сожалению, с каждым новым «объездом» рабочего пространства робот будет все больше и больше отклоняться от изначальной траектории движения. Связано это с накоплением погрешности, возникающей вследствие пробуксовки колес и возможной неравномерности поверхности, по которой перемещается робот [3]. Эта погрешность носит временной характер и становится тем больше, чем дольше робот находится в движении.

Для того чтобы корректировать текущее положение робота и сбрасывать накопленную погрешность, был реализован следующий метод: до начала объезда рабочего пространства робот помещается оператором в одной из целевых точек. В этой точке робот фиксирует текущую ориентацию  $A_0$  в градусах, а после запоминает расстояние до препятствий перед собой и справа,  $D_{t0}$  и  $D_{r0}$  соответственно.

Важным требованием для выбора такой точки является наличие близости объектов, до которых робот сможет измерить расстояния. Каждый раз, приезжая в эту точку, робот будет считать, что находится ровно в заданной точке с координатами  $(X_{ид}; Y_{ид})$ , однако в силу пробуксовки колес его истинное положение будет в точке с координатами  $(X_{реал}; Y_{реал})$ . Для корректировки текущего положения робот в этой точке определяет свою текущую ориентацию  $A_1$ , сравнивает ее со значением ориентации  $A_0$ , полученной до начала обхода рабочего пространства, после чего совершает поворот на угол, равный разнице этих двух значений, таким образом, приобретая изначальную ориентацию.

Далее робот замеряет расстояние до объекта перед собой  $D_{t1}$  и до объекта справа  $D_{r1}$ . Сравнивает их со значениями  $D_{t0}$  и  $D_{r0}$  соответственно и получившуюся разницу вычитает из координат текущей целевой точки по X (2) и Y (3) соответственно. Полученные результаты и будут текущими координатами робота.

$$X_{реал} = X_{ид} - (D_{r1} - D_{r0}), \quad (2)$$

$$Y_{реал} = Y_{ид} - (D_{t1} - D_{t0}). \quad (3)$$

В результате серии испытаний были получены значения отклонений действительного положения робота от ожидаемого. Результаты, полученные при использовании описанного метода корректировки положения и без него, продемонстрированы в таблице 1. Как видно из таблицы, при использовании описанного метода корректировки максимальное отклонение реального положения робота от ожидаемого по оси ординат по

модулю не превышает 1.6 см, а по оси абсцисс 3.2 см. При объезде рабочего пространства роботом без метода корректировки максимальное отклонение на 10 круге по оси ординат составило 23.9 см, а по оси абсцисс 42 см, и продолжало увеличиваться с каждым новым кругом.

Т а б л и ц а

Номер круга	Отклонения положения робота с коррекцией и без			
	Величины отклонений положения робота			
	Отклонение по X с коррекцией, см	Отклонение по Y с коррекцией, см	Отклонение по X без коррекции, см	Отклонение по Y без коррекции, см
1	-5.9	-2.7	-5.6	-3.4
2	-3.2	-1.6	-7.3	-5.7
3	-0.2	-0.8	-11.1	-8.9
4	0.7	-0.3	-15.2	-11.4
5	2.4	0.8	-18.6	-13.3
6	0.3	0.1	-24.2	-16.3
7	-1.2	-0.3	-29.7	-18.1
8	-0.1	-0.1	-35.3	-20.8
9	0.9	0.2	-42.0	-23.9
10	1.4	0.4	-47.6	-26.8

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы: использование мобильных роботов с алгоритмами перемещения по заданным координатам являются эффективным средством для решения задач автоматизации. Они не требуют оснащения рабочего пространства специальными датчиками и напольной разметкой, а используют только встроенные в самого робота датчики. Данный метод имеет недостаток в виде накопления погрешности положения робота, однако внедрение систем корректировки успешно решает эту проблему.

### Литература

1. Роботы и робототехнические системы: сб. науч. тр. / отв. ред. Елисеев С.В. – Иркутск: ИПИ, 1985. – 156 с.
2. Мордвинов Д.А., Литвинов Ю.В. Сравнение образовательных сред визуального программирования роботов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2016. – №3. – С. 32–49.
3. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов / Каляев А.В., [и др.] ; под ред. А.В. Каляева, Ю.В. Чернухина. – М. : Наука, 1990. – 147 с.