

УПРАВЛЕНИЕ ТОРМОЗНЫМИ ПРИВОДАМИ ОПОРНЫХ СТОЕК РОБОТА С ВРАЩАЮЩИМСЯ ВНУТРЕННИМ ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

Д.В. Бордюгов, Н.Г. Шаронов

Волгоградский государственный технический университет

Россия, 400005, Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28

E-mail: denklopuk@gmail.com

Ключевые слова: мобильный робот, внутренняя масса, периодическое взаимодействие, управление движением.

Аннотация: рассматривается метод управления мобильным роботом с внутренней массой, которая совершает вращательное движение вокруг вертикально оси, проходящей через центр корпуса робота. В процессе движения одна из опорных стоек находится в контактном взаимодействии с поверхностью и неподвижна, остальные способны свободно перемещаться вместе с корпусом. Поэтому робот может совершать только вращательное движение вокруг неподвижной опоры. Смена опорных стоек происходит в момент нулевой угловой скорости корпуса.

1. Введение

В настоящее время происходит активное развитие робототехнических систем, совершенствуются направления, связанные не только с применением традиционных способов перемещения и стандартных типов движителей, но и с использованием новых принципов приведения в движение. Наиболее широко распространены такие типы движителей, как колесные, шагающие, «шагающеподобные», гусеничные и т.д. [1]. Под «шагающеподобными» понимаются движители, которые также, как и шагающие, дискретно взаимодействуют с опорной поверхностью, например, колесно-тросовые [2], якорно-тросовые движители [3], якорно-тросово-гусеничные [4] и поворотнскользяще-заклинивающие [5]. Эти типы роботов можно рассматривать как механические системы, на которые накладываются голономные связи при взаимодействии с опорной поверхностью, или эти связи снимаются при их перемещении в новое положение.

2. Постановка задачи

Рассматривается мобильный робот, состоящий из корпуса (твёрдого тела), опирающегося на поверхность несколькими шарообразными опорами (в рассматриваемой кинематической схеме количество опорных стоек равно четырём) и внутреннего твёрдого тела, совершающего вращательное движение вокруг вертикальной оси. Движение происходит в несколько этапов, на каждом из которых одна из стоек находится в опорной фазе, что позволяет корпусу робота проворачиваться вокруг проходящей через нее вертикальной оси. Кинематическая схема представлена на рис. 1.

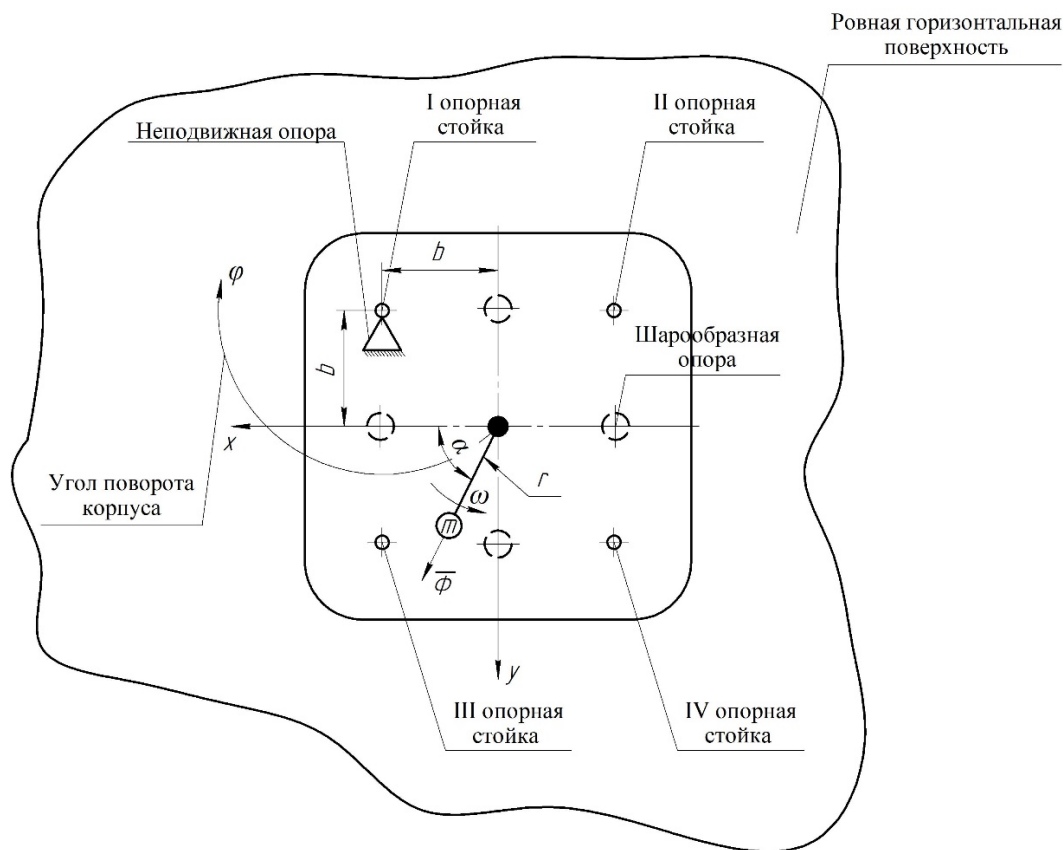


Рис. 1. Кинематическая схема мобильного робота с внутренней массой, совершающей вращательное движение вертикальной оси, проходящей через центр корпуса: Φ – сила инерции; m – масса внутреннего твердого тела; r – длина стержня, на котором закреплен груз; b – расстояние от зафиксированной опоры до линии, проходящей через центр робота; α – угол отклонения стержня относительно горизонтальной оси; ω – угловая скорость стержня с закрепленным на нем твердым телом; φ – угол поворота корпуса.

Управление движением мобильного робота происходит за счет вращательного движения твердого тела с постоянной скоростью и согласованного наложения, и одновременного снятия голономных связей, обеспечиваемых приводами тормозных стоек-опор. Режим движения зависит от последовательности вступающих в контакт и прерывающих взаимодействие с опорной поверхностью тормозных стоек, их количества и расположения на корпусе. Рассматриваемый принцип движения опирается на исследования перемещения тел за счет движения внутренних масс [6, 7]. Рассматривается движение системы с периодически изменяющейся скоростью, обусловленные перемещением внутреннего тела относительно корпуса. За счет этого возникает момент силы инерции, также периодически изменяющийся по направлению. Важным аспектом является выбор оптимального режима, критериями которого могут быть: минимальность сил сопротивления движению; максимум развиваемых тяговых усилий; комфортабельность движения; минимальность затраченной работы на единицу пройденного пути [8].

Рассматриваемый принцип движения способен обеспечить перемещение робота в определенном направлении.

Совместное использование методов управления перемещением внутреннего твердого тела и снятия или наложения голономных связей на тормозные стойки, способно обеспечить оптимальность режима движения по тому или иному критерию.

2. Управление движением и имитационное моделирование

В предположении малости сил инерции, обусловленных непосредственно вращательным движением робота относительно неподвижной опоры, уравнение движения корпуса имеет вид:

$$(1) \quad \begin{aligned} J_a \ddot{\Phi} &= M_a \\ J_a \ddot{\Phi} &= \Phi_x b + \Phi_y b \end{aligned}$$

$$J_a \ddot{\Phi} = mr\omega^2 \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t) \cdot b + mr\omega^2 \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t) \cdot b$$

где: J_a – момент инерции корпуса робота; M_a – момент силы Φ , действующий со стороны вращающегося груза относительно неподвижной опоры; α_0 – начальный угол отклонения стержня относительно горизонтальной оси; $\ddot{\Phi}$ – угловое ускорение корпуса робота.

Рассматривается механическая система со следующими параметрами: $\alpha_0 = 1,0472$ рад; $\omega = 0,5$ рад/с; $b = 0,4$ м; $r = 0,35$ м; $J_a = 0,9054$ кг·м³; $m = 2$ кг; и начальными условиями: $\Phi = 0$ рад; $\dot{\Phi} = 0$ рад/с.

Получены траектории движения центра корпуса мобильного робота при различных алгоритмах смены опорных стоек, взаимодействующих с поверхностью, рис. 2. Время движения робота во всех случаях одинаково и равно 40 сек. Алгоритмы смены опорных стоек представлены в таблице 1. Изменение опоры, взаимодействующей с поверхностью, происходит при условии нулевого значения угловой скорости корпуса робота $\dot{\Phi} = 0$ рад/с.

Таблица 1. Алгоритмы смены опорных стоек.

	1 участок движения	2 участок движения	3 участок движения	4 участок движения
1 последовательность смены опор	I опора в фазе взаимодействия с поверхностью	III опора в фазе взаимодействия с поверхностью	IV опора в фазе взаимодействия с поверхностью	II опора в фазе взаимодействия с поверхностью
2 последовательность смены опор	II опора в фазе взаимодействия с поверхностью	IV опора в фазе взаимодействия с поверхностью	I опора в фазе взаимодействия с поверхностью	III опора в фазе взаимодействия с поверхностью
3 последовательность смены опор	III опора в фазе взаимодействия с поверхностью	I опора в фазе взаимодействия с поверхностью	II опора в фазе взаимодействия с поверхностью	IV опора в фазе взаимодействия с поверхностью
4 последовательность смены опор	IV опора в фазе взаимодействия с поверхностью	II опора в фазе взаимодействия с поверхностью	III опора в фазе взаимодействия с поверхностью	I опора в фазе взаимодействия с поверхностью

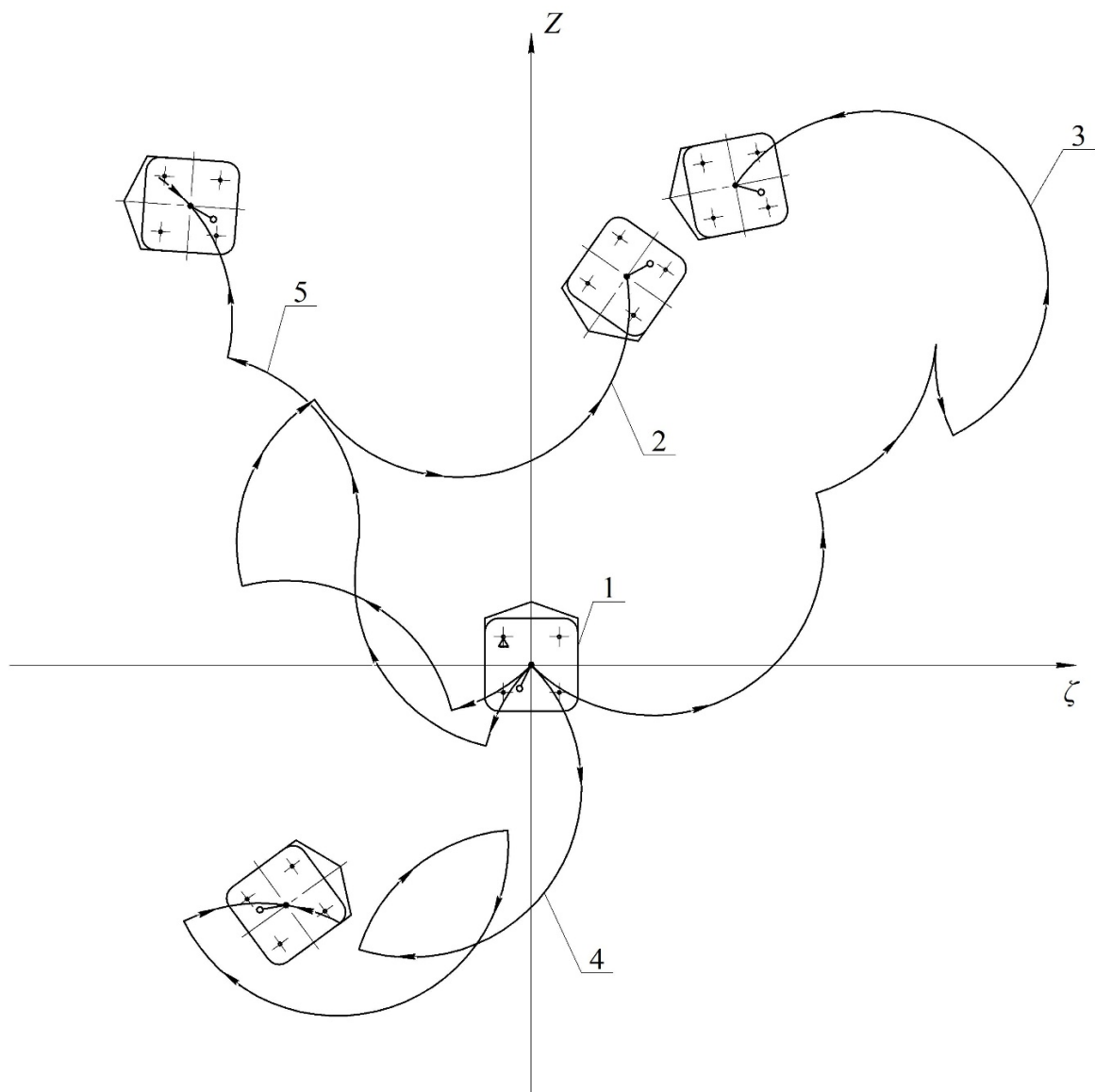


Рис. 2. Изменение положения центра корпуса мобильного робота в процессе движения при различных алгоритмах смены опорных стоек: 1 – начальное положение; 2 – траектория движения центра корпуса робота при первой последовательности смены опорных стоек; 3 – траектория движения центра корпуса робота при второй последовательности смены опорных стоек; 4 – траектория движения центра корпуса робота при третьей последовательности смены опорных стоек; 5 – траектория движения центра корпуса робота при четвертой последовательности смены опорных стоек.

3. Заключение

Представлена математическая модель робота с внутренним твердым телом, совершающим вращательное движение и тормозными стойками, находящимися в заторможенном или свободном состоянии. Перевод стойки из свободного состояния в состояние контактного взаимодействия в горизонтальной плоскости и наоборот происходит в момент нулевой угловой скорости корпуса робота.

Рассмотренный метод управления позволяет осуществлять различные движения мобильного робота, различающиеся по виду и характеру. Перемещение центра корпуса осуществляется по дугам окружностей.

Работа поддержана грантом РФ № 24-21-00477.

Список литературы

1. Брискин Е.С., Чернышев В.В., Малолетов А.В., Шаронов Н.Г. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1(1). С. 6-14.
2. Брискин Е.С., Ефимов М.И., Шаронов Н.Г. Тросовый робот вертикального перемещения // Патент на полезную модель 201924 U1, 21.01.2021. Заявка № 2020134938 от 26.10.2020.
3. Брискин Е.С., Шаронов Н.Г., Серов В.А., Пеньшин И.С. Управление движением подводного мобильного робота с якорно-тросовыми движителями // Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 2 (19). С. 39-45.
4. Брискин Е.С., Гулевский В.В., Шаронов Н.Г., Серов В.А. Движитель для мобильной платформы // Патент на полезную модель 204261 U1, 17.05.2021. Заявка № 2021102367 от 02.02.2021.
5. Бордюгов Д.В., Брискин Е.С., Шаронов Н.Г. Об управлении движением мобильного робота с движителями, работающими на эффекте периодического заклинивания // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2023. № 4(275). С. 23-28.
6. Черноусько Ф.Л. О движении тела, содержащего подвижную внутреннюю массу // Доклады Академии наук. 2005. Т. 405, № 1. С. 56-60.
7. Болотник Н.Н., Фигурия Т.Ю. Оптимальное управление прямолинейным движением твердого тела по шероховатой плоскости посредством перемещения двух внутренних масс // Прикладная математика и механика. 2008. Т. 72, № 2. С. 216-229.
8. Черноусько Ф. Л. Анализ и оптимизация движения тела, управляемого посредством подвижной внутренней массы // Прикладная математика и механика. 2006. Т. 70, № 6. С. 819-842.