

А. С. Быков, А. М. Кошман, А. В. Леонард, В. А. Шурыгин

СПОСОБ ОБХОДА РОБОТОМ СТАТИЧНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОТКЛОНЯЮЩЕЙ СИЛЫ

Волгоградский государственный технический университет

alexanderbs00@mail.ru, artkoshman@gmail.com, alex-leonard@yandex.ru, au@vstu.ru

В статье предлагается способ обхода мобильным роботом одного статического препятствия, когда геометрический центр препятствия располагается в непосредственной близости к прямой линии, проходящей через точки стартовой и финальной позиций робота. Для обхода препятствия используется отклоняющая сила, перпендикулярная вектору скорости центра масс робота вблизи препятствия.

Ключевые слова: мобильный робот, планирование движения, обход препятствий, метод потенциальных полей, компьютерное моделирование.

A. S. Bykov, A. M. Koshman, A. V. Leonard, V. A. Shurygin

METHOD FOR A ROBOT BYPASSING A STATIC OBSTACLE ON THE HORIZONTAL PLANE USING A DEFLECTIVE FORCE

Volgograd State Technical University

The article proposes a method for a mobile robot to bypass a single static obstacle, when the obstacle's center is located in close proximity to a straight line passing through the robot's starting and final positions. To bypass the obstacle, a deflective force is used that is perpendicular to the velocity vector of the robot's center of mass near the obstacle.

Keywords: mobile robot, motion planning, obstacle avoidance, potential field method, computer modeling.

Введение

Разработка алгоритмов автоматической навигации мобильных роботов в условиях наличия препятствий представляет собой актуальную задачу робототехники. Существует большое количество различных подходов к решению задачи автоматической навигации [1–3]. Одним из направлений решения данной задачи является использование методов, основанных

на применении виртуальных (искусственных) силовых полей, которые позволяют эффективно планировать движение робота [2]. К группе данных методов можно отнести метод, описанный в статьях [4; 5]. При исследовании указанного метода была выявлена проблема заикленного движения робота вблизи препятствия, схожая проблеме локальных минимумов классических методов искусственных полей [6].

В статье [7] предложен метод исключения осцилляций робота за счет смещения исходного отталкивающего поля относительно статического препятствия. В данной статье предлагается способ исключения осцилляций робота, основанный на использовании отклоняющей силы, перпендикулярной вектору скорости центра масс робота вблизи препятствия.

1. Постановка задачи

Необходимо предложить подход по преодолению статического препятствия за заданное время для случая, когда центр препятствия располагается вблизи прямой линии, соединяющей начальную и конечную точки положения центра масс мобильного робота. При этом мобиль-

ный робот и препятствие моделируются окружностями. Масса робота сосредоточена в геометрическом центре окружности.

Робот осуществляет перемещение по горизонтальной плоскости без сил сопротивления движению, обладая идеальной маневренностью (центр масс робота способен реализовать движение в любом направлении сколь угодно быстро). Перемещение центра масс мобильного робота (МР) реализуется из начальной точки A в целевую B , в которую необходимо попасть за отведенное время τ с заданными начальными и конечными координатами и скоростями центра масс МР: $x_0, y_0, \dot{x}_0, \dot{y}_0$ и $x_\tau, y_\tau, \dot{x}_\tau, \dot{y}_\tau$ (рис. 1).

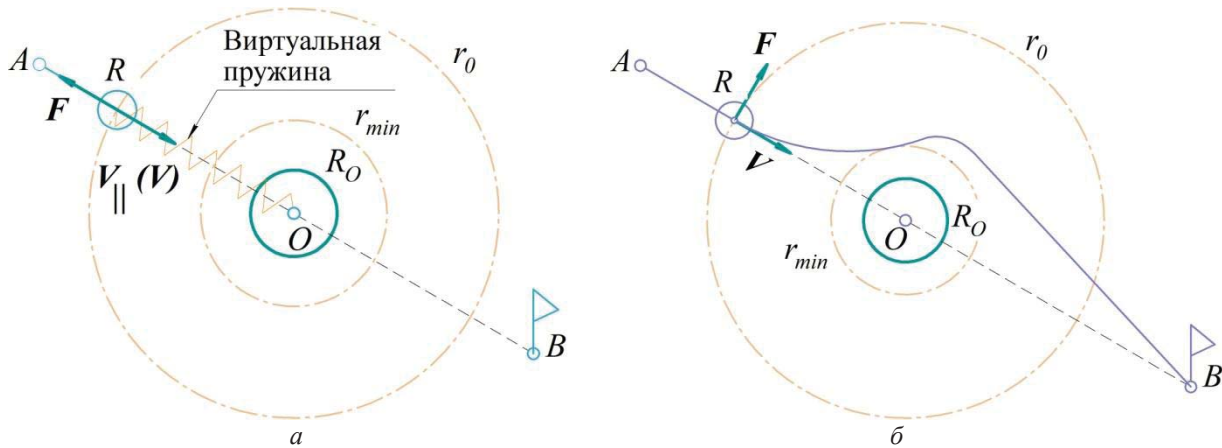


Рис. 1. Обход препятствия с помощью центрально-симметричного отталкивающего поля (а) и отклоняющей силы (б)

2. Предлагаемый способ

В статьях [4; 5] обход препятствия реализуется следующим образом. В процессе движения мобильного робота в зоне действия потенциального поля $[r_{min} \dots r_0]$ на него воздействует виртуальная пружина жесткостью c (рис. 1, а). Данное воздействие позволяет роботу (радиусом R) избежать столкновения с препятствием (радиусом R_O), при соответствующем расчете параметра поля c (жесткости виртуальной пружины) из условия безударного обхода [4]. Направление силы F действия виртуальной пружины всегда противоположно радиальной составляющей $V_{||}$ вектора скорости V робота. Предлагается заменить виртуальную пружину на силу F (рис. 1, б), направленную перпендикулярно вектору скорости V , когда линия вектора скорости пересекает границу опасной зоны радиуса r_{min} . После успешного обхода препятствия сила перестает действовать без обяза-

тельного выхода робота из зоны радиуса r_0 .

3. Общий алгоритм обхода препятствия с помощью отклоняющей силы

I этап – движение робота вне зоны обнаружения препятствия r_0 . На первом этапе (рис. 2) робот движется из стартовой точки A к целевой точке B по законам, например, вида [4]:

$$\begin{aligned} x &= C_{11} + C_{12}t + C_{13}e^{kt} + C_{14}e^{-kt}, \\ y &= C_{21} + C_{22}t + C_{23}e^{kt} + C_{24}e^{-kt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где константы интегрирования C_{ij} определяются из заданных граничных условий: $x_0, y_0, \dot{x}_0, \dot{y}_0$ и $x_\tau, y_\tau, \dot{x}_\tau, \dot{y}_\tau$.

II этап – обнаружение препятствия сенсорной системой мобильного робота и активация отклоняющей силы F . На втором этапе происходит обнаружение препятствия, например, с помощью лидара и определение радиуса моделирующей окружности R_O , координат ее центра O [8].

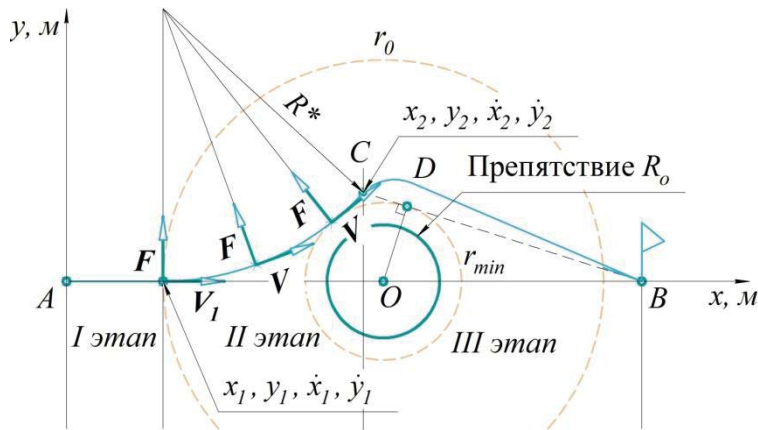


Рис. 2. Схема обхода препятствия с помощью отклоняющей силы

После этого производится проверка пересечения траекторией робота (1) границы опасной зоны вокруг препятствия радиуса r_{min} . Если пересечения нет – движение к целевой точке B продолжается по законам (1), уклонение от препятствия не требуется. При определении

пересечения активируется сила F , перпендикулярно направленная к вектору скорости V для каждого последующего момента времени. Законы движения центра масс робота на втором этапе могут быть выражены зависимостями вида (2):

$$\begin{cases} x = x_1 - \frac{mV_1}{F} \left[\dot{y}_1 - \dot{y}_1 \cos\left(\frac{F}{mV_1}t\right) - \dot{x}_1 \sin\left(\frac{F}{mV_1}t\right) \right], \\ y = y_1 + \frac{mV_1}{F} \left[\dot{x}_1 + \dot{y}_1 \sin\left(\frac{F}{mV_1}t\right) - \dot{x}_1 \cos\left(\frac{F}{mV_1}t\right) \right]. \end{cases} \quad (2)$$

Величина силы F определяется из соотношения (3):

$$F = mV_1^2 / R^*. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) соответственно: $x_1, y_1, \dot{x}_1, \dot{y}_1$ – координаты и скорости центра масс робота в момент активации силы F ; m – масса робота; V_1 – величина абсолютной скорости в момент активации силы F ; R^* – радиус дуги окружности (траектории центра масс робота в режиме уклонения от препятствия), величина которого определяется из геометрических условий касания траекторией робота окружности радиуса r_{min} и ее сопряжения с участком траектории (1) в точке (x_1, y_1) .

Второй этап продолжается до тех пор, пока робот или не покинет зону обнаружения препятствия r_0 , или пока траектория робота (2) не пересечет в некоторой точке C (x_2, y_2) линию

BD, касательную к окружности радиуса r_{min} и проходящую через целевую точку B.

III этап – завершение движения робота в целевую точку за оставшееся время. Движение центра масс робота на III этапе происходит по законам I этапа (1) с переопределением начальных условий: $x_0 = x_2, y_0 = y_2, \dot{x}_0 = \dot{x}_2, \dot{y}_0 = \dot{y}_2$, времени $\tau - \tau_I - \tau_{II}$ и соответствующим перерасчетом констант C_{ij} .

4. Результаты компьютерного моделирования

Для подтверждения работоспособности предлагаемого способа решения проблемы замкнутого движения робота вблизи препятствия были проведены численные эксперименты в авторском программном инструменте, реализованном на языке программирования C# (рис. 3).

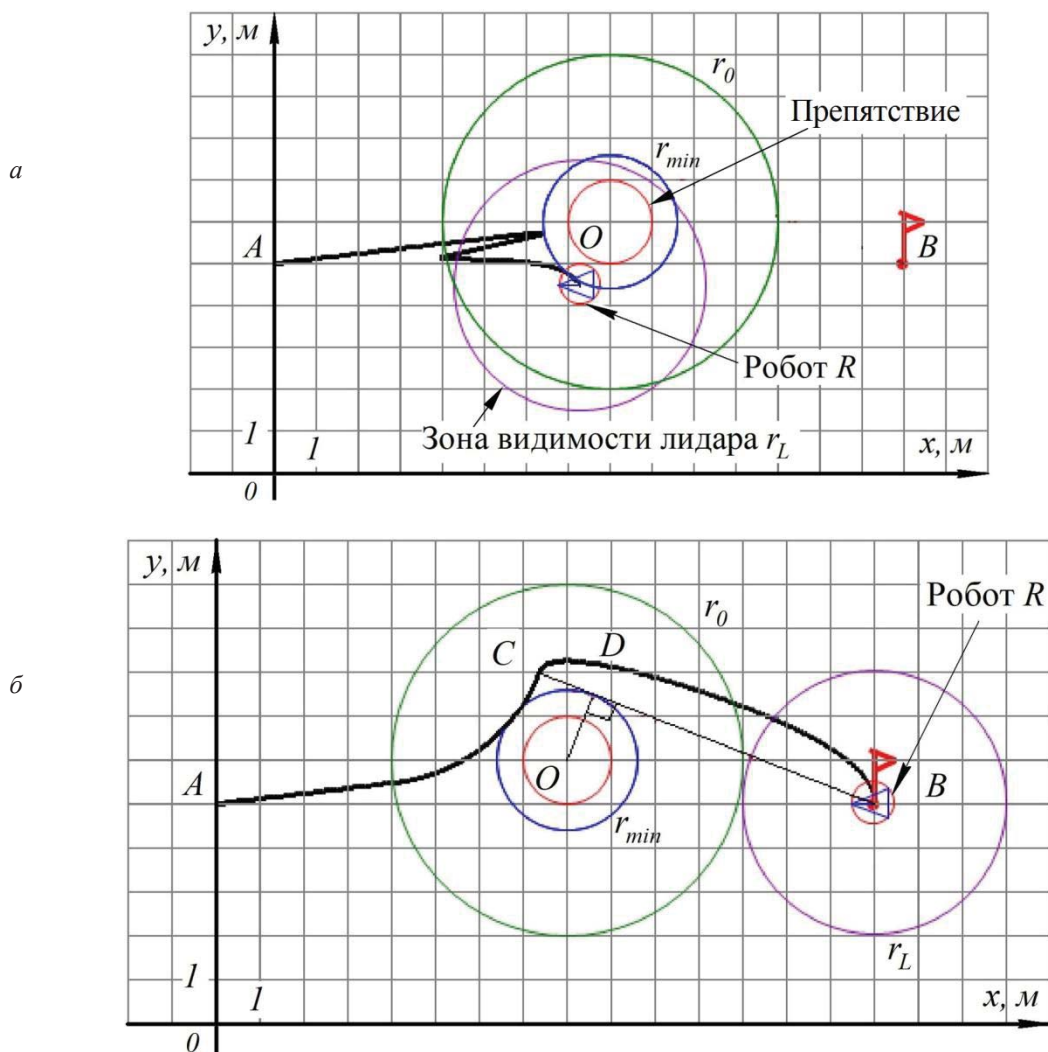


Рис. 3. Движение робота с конечной скоростью $\dot{y}_B = -2$ м/с:

a – обход препятствия с помощью центрально-симметричного поля; *б* – обход препятствия с помощью отклоняющей силы

Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что предложенный способ (на основе отклоняющей силы) обхода роботом статичного препятствия позволяет исключить проблему осцилляции робота вблизи статичного препятствия (рис. 3, *a*) и обеспечить роботу достижение целевого положения за отведенное время (рис. 3, *б*). Рассмотренный способ может быть использован для обхода роботом нескольких статичных препятствий, расположенных на значительном удалении друг от друга, и применен в составе других методов автоматического планирования движения робота с соответствующим учетом ограничений на скорости и ускорения робота. Использование представленного способа для обхода роботом группы близко расположенных друг к другу препятствий требует модификации описанного алгоритма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chunxi, Cheng Path planning and obstacle avoidance for AUV : A review / Chunxi Cheng, Qixin Sha, Bo He, Guangliang // Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 235. Article 109355.
2. Лю, В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) / В. Лю // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 1. – С. 15–8.
3. Казаков, К. А. Обзор современных методов планирования движения / К. А. Казаков, В. А. Семенов // Труды ИСП РАН. – 2016. – Т. 28. Вып. 4. – С. 241–294.
4. Леонард, А. В. Планирование движения наземного робота с обходом стационарного препятствия при заданных: начальных и конечных координатах, скоростях и оперативном времени (VC/APF+BC_τ¹). Ч.1 Теория / А. В. Леонард // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 9 (268) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 34–42.
5. Леонард, А. В. Планирование движения наземного робота с обходом стационарного препятствия при заданных: начальных и конечных координатах, скоростях и оперативном времени (VC/APF+BC_τ¹). Ч. II. Результаты / А. В. Леонард // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 9 (268) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 42–48.

6. *Khatib, O.* Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots // 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation, March 25-28, 1985, St. Louis. – P. 500–505.

7. *Кошман, А. М.* Планирование движения мобильного робота со смещением исходного центра потенциально-го поля статичного препятствия / А. М. Кошман, А. С. Быков, А. В. Леонард, В. А. Шурыгин // Известия ВолгГТУ :

научный журнал № 4 (287) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – С. 65–71.

8. *Быков, А. С.* Классификация препятствий и способы их аппроксимации для задач обхода статичных препятствий / А. С. Быков, А. М. Кошман, А. В. Леонард, В. А. Шурыгин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4(287) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – С. 35–40.