

УДК 681.51.015

СИСТЕМА НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

А.А. Бобцов^а, Д. Добриборщ^а, А.А. Капитонов^а

^аУниверситет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Автор для переписки: Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 07.11.16, принята к печати 15.01.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-365-367

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Бобцов А.А., Добриборщ Д., Капитонов А.А. Система навигации и управления движением мобильным роботом // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 365–367. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-365-367

Аннотация

Представлены результаты разработки системы навигации, без знания карты полигона, для мобильного робота на базе конструктора LEGO Mindstorms NXT. Решена задача движения робота к точке с заданными координатами с объездом препятствий. Робот представляет собой платформу с дифференциальным приводом. Для оценки пройденного пути использованы энкодеры двигателя. Ориентация робота определяется по измеренному гироскопом угловой скорости и рассчитанному углу поворота, а расстояние до препятствия оценивается ультразвуковыми дальномерами. В данной работе задача объезда препятствий решается на основе метода тангенциального избегания.

Ключевые слова

мобильный робот, навигация, робототехника, системы управления, тангенциальное избегание

Благодарности

Работа выполнена на кафедре систем управления и информатики Университета ИТМО на средства гранта Президента Российской Федерации (№14.Y31.16.9281-НШ).

NAVIGATION AND CONTROL SYSTEM FOR MOBILE ROBOT

А.А. Bobtsov^а, D. Dobriborsci^а, А.А. Kapitonov^а

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^б Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, 197022, Russian Federation

Corresponding author: odn-pav@yandex.ru

Article info

Received 07.11.16, accepted 15.01.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-365-367

Article in Russian

For citation: Bobtsov A.A., Dobriborsci D., Kapitonov A.A. Navigation and control system for mobile robot. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 365–367 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-365-367

Abstract

The paper presents results of navigation and control system development carried out without any information about the polygon map for mobile robot based on LEGO Mindstorms NXT. We have solved the problem of the robot movement to a point with given coordinates and obstacle avoidance. The robot is a two-engine platform with differential drive. To estimate the covered distance we use encoders on the motor shaft. The robot navigation is defined by the angular velocity measured by a gyroscope and calculated angle of rotation, and the distance to the obstacle is estimated by ultrasonic distance measurement. The obstacle avoidance problem is solved by the method of tangential escape.

Keywords

mobile robot, navigation, robotics, control systems, tangential escape

Acknowledgements

The work was performed at Control Systems and Informatics Department of ITMO University and was partially financially supported by the grant of the President of the Russian Federation (No.14.Y31.16.9281-НШ)

Ранее в работе [1] показана возможность применения моделей на базе робототехнического конструктора Lego Mindstorms NXT для обучения студентов основам адаптивного управления. Полученные результаты могут быть актуальными как для образовательных, так и для научных целей. Представленные

в настоящей работе лабораторные работы уже несколько лет проводятся на кафедре систем управления и информатики и имеют определенный успех и интерес со стороны студентов. В развитие уже начатых работ предлагается расширение учебного курса с охватом темы навигации, т.е. прокладки пути из точки старта к цели с учетом препятствий на полигоне.

Рассмотрим конструкцию и кинематическую схему дифференциальной платформы, сконструированной на базе конструктора Lego Mindstorms NXT (рисунок). Как видно, робот представляет собой двухмоторную тележку, оснащенную двумя ультразвуковыми датчиками, которые необходимы для определения расстояния до препятствия, а также гироскопом, позволяющим измерять угловую скорость и рассчитывать угол поворота. На валах двигателей установлены энкодеры, с помощью которых проводятся оценки пройденного пути.

Робот перемещается за счет движения двух отдельно управляемых колес. Такая кинематическая схема имеет следующее математическое описание:

$$\dot{x} = \cos \psi \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R, \dot{y} = \sin \psi \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R, \dot{\psi} = (\omega_1 - \omega_2) \frac{R}{B},$$

где ω_1, ω_2 – соответствующие угловые скорости колес; x, y – соответствующие координаты; R – радиус колеса; B – расстояние между колесами; ψ – курс робота.

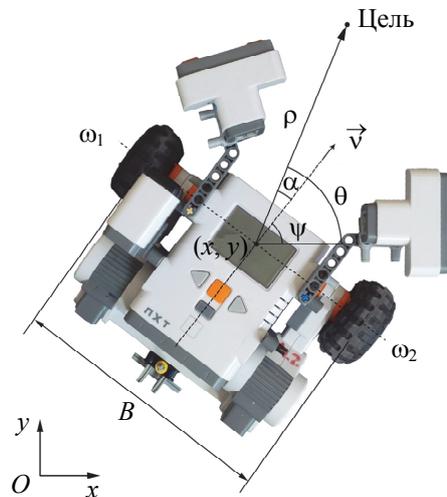


Рисунок. Внешний вид и кинематическая схема мобильного робота: α, θ, v, ρ – курсовой угол, азимут (угол между осью координат x и направлением на цель), линейная скорость робота, расстояние до целевой точки соответственно

Задача ставится следующим образом: робот должен достигнуть заданных координат $\rho \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$, т.е. робот должен стремиться в окружность с центром в заданных координатах и радиусом, равным допустимой погрешности, в нашем случае 3 см.

При решении задачи навигации используются два основных подхода:

- глобальный – определение абсолютных координат устройства при движении по длинным маршрутам, траектория выбирается еще до начала движения на основе полученной информации;
- локальный – определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке, планирование задает лишь небольшой отрезок траектории, в конечной точке которого выбирается дальнейшая траектория.

Среди существующих методов локальной навигации выделим гистограмму векторного поля [2], потенциальное поле [3, 4], диаграмму близких расстояний [5], тангенциальное избегание [6]. В [7] авторы утверждают, что наиболее подходящим методом для решения поставленной задачи управления подобным роботом является метод тангенциального избегания.

Рассмотрим математическую модель, описывающую навигацию робота к цели в полярных координатах:

$$\dot{\rho} = -v \cos \alpha, \dot{\alpha} = -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho}, \dot{\theta} = -v \frac{\sin \alpha}{\rho}. \quad (1)$$

Фактически управление роботом возможно с помощью значений угловой и линейной скоростей (ω, v) , поэтому достаточно найти такие их значения, при которых выполняется условие поставленной задачи $\rho \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$. Для этого предлагается воспользоваться аппаратом функции Ляпунова, включающей в себя расстояние до цели и курсовой угол:

$$V(\alpha, \rho) = \frac{1}{2}\rho^2 + \frac{1}{2}\alpha^2. \quad (2)$$

Производная функции (2) должна быть строго отрицательна

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = \rho\dot{\rho} + \alpha\dot{\alpha} < 0.$$

Учитывая (1), получим

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = -\rho u \cdot \cos \alpha + \alpha \left(-\omega + u \frac{\sin \alpha}{\rho} \right).$$

Тогда в качестве управляющего воздействия из функции Ляпунова получим следующие значения скоростей:

$$u = \rho \cdot \cos \alpha,$$

$$\omega = k_\omega \alpha + u_{\max} \frac{u}{\rho} \sin \alpha.$$

Для избегания препятствий введем поправку на вычисление курсового угла: $\alpha = \theta - \psi - K_p (d_{\min} - d)$ при $d_{\min} - d > 0$; $\alpha = \theta - \psi$ при $d_{\min} - d \leq 0$, где K_p – коэффициент пропорциональной составляющей курсового угла, d, d_{\min} , – расстояние до препятствия и минимально возможное расстояние до препятствия.

С помощью предложенного метода было реализовано движение робота к цели с объездом препятствий. В ходе эксперимента выявлено появление погрешности, обусловленной проскальзыванием колес. Проблема решается добавлением интегральной составляющей в регулятор.

Результаты выполненного исследования нашли применение в учебных дисциплинах кафедры систем управления и информатики «Введение в специальность» и «Основы теории автоматического управления».

Литература

1. Бобцов А.А., Капитанюк Ю.А., Капитонов А.А., Колобин С.А., Пыркин А.А., Чепинский С.А., Шаветов С.В. Технология Lego Mindstorms NXT в обучении студентов основам адаптивного управления // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. 2011. №1. С. 103–108.
2. Borenstein J., Koren Y. The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1991. V. 7. N 3. P. 278–288. doi: 10.1109/70.88137
3. Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots // International Journal of Robotics Research. 1986. V. 5. N 1. P. 90–98.
4. Rubagotti M., Della Vedova M., Ferrara A. Time optimal sliding-mode control of a mobile robot in a dynamic environment // IET Control Theory and Applications. 2011. V. 5. N 16. P. 1916–1924. doi: 10.1049/iet-cta.2010.0678
5. Minguez J., Montano L. Nearness Diagram (ND) navigation: collision avoidance in troublesome scenarios // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2004. V. 20. N 1. P. 45–59. doi: 10.1109/TRA.2003.820849
6. Ferreira A., Vassallo R.F., Pereira F.G., Filho T.F.B., Filho M.S. An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape // Controle y Automacao. 2008. V. 19. N 4. P. 395–405.
7. Matveev A.S., Hoy M.C., Savkin A.V. A globally converging algorithm for reactive robot navigation among moving and deforming obstacles // Automatica. 2015. V. 54. P. 292–304. doi: 10.1016/j.automatica.2015.02.012

Авторы

Бобцов Алексей Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, bobstov@mail.ru
Добриборщ Дмитрий – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru
Капитонов Александр Александрович – кандидат технических наук, ассистент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Kap2fox@gmail.com

References

1. Bobtsov A.A., Kapitanjuk Yu.A., Kapitonov A.A., Kolyubin S.A., Pyrkin A.A., Chepinskiy S.A., Shavetov S.V. Lego Mindstorms NXT for teaching the principles of adaptive control theory to students. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 1, pp. 103–108. (In Russian)
2. Borenstein J., Koren Y. The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1991, vol. 7, no. 3, pp. 278–288. doi: 10.1109/70.88137
3. Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *International Journal of Robotics Research*, 1986, vol. 5, no. 1, pp. 90–98.
4. Rubagotti M., Della Vedova M., Ferrara A. Time optimal sliding-mode control of a mobile robot in a dynamic environment. *IET Control Theory and Applications*, 2011, vol. 5, no 16, pp. 1916–1924. doi: 10.1049/iet-cta.2010.0678
5. Minguez J., Montano L. Nearness Diagram (ND) navigation: collision avoidance in troublesome scenarios. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2004, vol. 20, no. 1, pp. 45–59. doi: 10.1109/TRA.2003.820849
6. Ferreira A., Vassallo R.F., Pereira F.G., Filho T.F.B., Filho M.S. An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape. *Controle y Automacao*, 2008, vol. 19, no. 4, pp. 395–405.
7. Matveev A.S., Hoy M.C., Savkin A.V. A globally converging algorithm for reactive robot navigation among moving and deforming obstacles. *Automatica*, 2015, vol. 54, pp. 292–304. doi: 10.1016/j.automatica.2015.02.012

Authors

Alexey A. Bobtsov – D.Sc., Professor, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, bobstov@mail.ru
Dmitrii Dobriborsci – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru
Alexander A. Kapitonov – PhD, Assistant, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Kap2fox@gmail.com