

НЕЛИНЕЙНОЕ АДАПТИВНОЕ ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Динь Н.Т.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Борисов О.И.¹

Научный консультант – канд. техн. наук, Живицкий А.Ю.¹

¹Университет ИТМО

dinhngoctuan6789@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №640112 «Развитие методов управления БАС на основе технологий ИИ в режимах экстремального маневрирования в динамическом окружении».

Введение

Нелинейное траекторное управление робототехническими системами в условиях неопределённости и внешних возмущений остаётся актуальной задачей, поскольку реальные платформы характеризуются нелинейной динамикой, связями между степенями свободы, трением и вариациями параметров при изменении режимов эксплуатации. В качестве иллюстративного объекта рассматривается всенаправленная колесная платформа, востребованная в задачах автономной внутрискладской транспортировки и логистики в стеснённых внутренних пространствах [1, 2].

Основная часть

Широкий класс мобильных роботов может быть описан нелинейными системами второго порядка в рамках формализма Эйлера—Лагранжа, включающими инерционные, кориолисовы/центробежные и трение-зависимые члены [3, 4]. На практике существенную роль играют рассогласование модели и неопределённости (массо-инерционные параметры, сопротивление качению, коэффициенты взаимодействия с опорной поверхностью, переменная нагрузка и др.), из-за чего регуляторы, синтезированные по номинальному описанию, могут терять качество слежения и робастность [5]. Поэтому в современных исследованиях активно развиваются нелинейные робастные и адаптивные подходы, включая активное подавление возмущений на основе расширенных наблюдателей состояния (ESO) и их каскадированных структур (CESO) для повышения качества слежения при неучтённых воздействиях [6], нечетко-адаптивные алгоритмы совместно с управлением по динамической поверхности для компенсации параметрических неопределённостей [7], а также робастно-адаптивные варианты скользящего управления, подтверждённые моделированием и экспериментами в литературе [8]. В данной работе предлагается и реализуется структура адаптивного траекторного управления с учётом параметрических неопределённостей и внешних возмущений на примере платформы на колёсах Меканум.

Выводы

Предложенный подход ориентирован на обеспечение устойчивого и точного слежения за траекторией при неопределённостях модели и изменяющихся условиях эксплуатации. Верификация выполняется в среде МАТЛАБ, а эффективность оценивается по ошибке слежения и гладкости управляющих воздействий. Полученные постановки и решения могут быть использованы как модельно-ориентированная база для дальнейшего развития методов управления нелинейными робототехническими объектами в динамических средах, включая последующую интеграцию с ИИ-подходами в рамках тематик НИР по управлению БАС.

Литература

1. Kanjanawanishkul K. Omnidirectional wheeled mobile robots: wheel types and practical applications // International Journal of Advanced Mechatronic Systems. 2016. Vol. 6, no. 6. P. 289–302. <https://doi.org/10.1504/IJAMECHS.2015.074788>.
2. Taheri H., Zhao C. X. Omnidirectional mobile robots, mechanisms and navigation approaches // Mechanism and Machine Theory. 2020. Vol. 153. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103958>.
3. Lin L. C., Shih H. Y. Modeling and Adaptive Control of an Omni-Mecanum-Wheeled Robot // Intelligent Control and Automation. 2013. Vol. 4, no. 2. P. 166–179. <https://doi.org/10.4236/ica.2013.42021>.
4. Hendzel Z., Rykala L. Modelling of Dynamics of a Wheeled Mobile Robot with Mecanum Wheels with the use of Lagrange Equations of the Second Kind // International Journal of Applied Mechanics and Engineering. 2017. Vol. 22, no. 1. P. 81–99. <https://doi.org/10.1515/ijame-2017-0005>.
5. Alwan H. M., et al. Kinematic and Dynamic Modeling Based on Trajectory Tracking Control of Mobile Robot with Mecanum Wheels // International Journal of Technology. 2024. Vol. 15, no. 5. P. 1473–1486. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i5.6908>.
6. Banik N., Ghommam J., Rahman H. H. Finite-Time Pure Pursuit Guidance Control of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot with Active Disturbance Rejection // IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 39214–39234. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3546864>
7. Nguyen M. D., et al. Trajectory tracking control for four-mecanum-wheeled robots considering mass eccentricity: A fuzzy adaptive and dynamic surface control approach // Journal of Computer Science and Cybernetics. 2025. Vol. 41, no. 1. P. 63–78. <https://doi.org/10.15625/1813-9663/21537>.
8. Alakshendra V., Chiddarwar S. S. A robust adaptive control of mecanum wheel mobile robot: simulation and experimental validation // 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS): Proceedings. 2016. P. 5606–5611. <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759824>.

Автор:

Динь Нгок Туан

Научный руководитель:

Борисов Олег Игоревич

Научный консультант:

Живицкий Андрей Юрьевич