

Trajectory Control Algorithms for Mobile Robots with State Constraints and Input Saturation

Le Xinyi ¹(student)

Scientific supervisor – PhD, Aleksandr Yu. Krasnov. ²

^{1,2} ITMO University

¹ sillyle@outlook.com

² aykrasnov@itmo.ru

Abstract

In this work, we studies trajectory control algorithms for mobile robots under state constraints and input saturation. The proposed method uses Barrier Lyapunov Functions (BLF) combined with backstepping and Dynamic Surface Control (DSC) to enforce state constraints while avoiding the differential explosion problem. The BLF-based controller ensures that robot states remain within safe bounds, and the DSC structure reduces the complexity of the operation. To address nonlinear disturbances introduced by output saturation in the robot drive motor, an auxiliary system is introduced for compensation. In addition, a passive nonlinear controller provides extra velocity regulation, activating only when velocity approaches the limits to ensure safety and preserve tracking objectives. This method is tested in MATLAB/Simulink for both omnidirectional and differential drive robot. Simulation results demonstrate stable and accurate trajectory tracking while satisfying state constraints and input saturation, showing that the proposed approach is effective and applicable to multiple mobile robot platforms.

Keywords

trajectory control, mobile robots, state constraints, input saturation, barrier Lyapunov function

Алгоритмы управления траекторией мобильных роботов при ограничениях на состояние и насыщении входных сигналов

Лэ Синьи ¹(магистрант)

Научный руководитель – Александр Юрьевич Краснов ²

^{1,2} Университет ИТМО

¹ sillyle@outlook.com

² aykrasnov@itmo.ru

Аннотация

В данной работе рассматриваются алгоритмы управления траекторией мобильных роботов при наличии ограничений на состояние и насыщения управляющих сигналов. Предложенный метод использует барьерные функции Ляпунова (BLF) в сочетании с методом обратной подстановки и управлением с динамической поверхностью (DSC) для соблюдения ограничений на состояние при избегании проблемы дифференциального взрыва. Контроллер на основе BLF обеспечивает нахождение состояний робота в пределах безопасных границ, а структура DSC снижает сложность проектирования. Для компенсации нелинейных возмущений, вызванных насыщением выходных сигналов приводных моторов, введена вспомогательная система. Кроме того, пассивный нелинейный контроллер обеспечивает дополнительное регулирование скорости, активируясь только при приближении скорости к пределам, что обеспечивает безопасность и сохраняет задачи слежения. Метод протестирован в MATLAB/Simulink на всенаправленных и дифференциальных мобильных роботах. Результаты моделирования демонстрируют устойчивое и точное отслеживание траектории при соблюдении ограничений на состояние и насыщение управляющих сигналов, показывая, что предложенный подход эффективен и применим для различных мобильных платформ.

Ключевые слова

управление траекторией, мобильные роботы, ограничения на состояние, насыщение управляющих сигналов, барьерная функция Ляпунова

Trajectory control is a critical task in mobile robot applications. In real-world environments, mobile robots are subject to physical limitations, including state constraints and input saturation. Barrier Lyapunov Function (BLF)[1, 4, 5] have proven effective for the trajectory tracking under state constraints. However, most existing methods assume ideal actuation or are platform-specific, lacking a unified solution for trajectory control under state constraints and input saturation. This work proposes a trajectory control algorithm that integrate BLF-based constraint enforcement with input saturation handling. The proposed approach provides a general framework for trajectory control applicable to multiple mobile robot platforms.

The proposed trajectory control algorithms consists of several components. The details of the work are as follows: Barrier Lyapunov Function (BLF)-based control combing the backstepping method enforce state constraints. Dynamic Surface Control (DSC) is applied to avoid the differential explosion problem. Inspired by [2], to compensate for the nonlinear disturbance generated by input saturation an auxiliary system is introduced. Additionally, a passive nonlinear controller[3] provides an extra layer of velocity regulation, enhancing safety during aggressive maneuvers while remaining inactive under nonmail operation, thereby ensuring that the primary tracking objectives are unaffected. The algorithms are implemented using MATLAB/Simulink on omnidirectional mobile robot (OMR) and differential drive mobile robot (DDMR).

This work presents trajectory control algorithms for mobile robots that integrate Barrier Lyapunov Function-based constraint enforcement with input saturation handling. Simulations on omnidirectional and differential drive robots demonstrate stable and accurate trajectory tracking under state and actuator limits. The results indicate the practical applicability and structural adaptability of the proposed algorithms.

References

1. Dong, C. Barrier Lyapunov function based adaptive finite-time control for hypersonic flight vehicles with state constraints / C. Dong, Y. Liu, Q. Wang – Text : direct // ISA Transactions. 2020. Vol. 96. – P. 163-176.
2. Gao, Y.-F. Adaptive Tracking Control for a Class of Stochastic Uncertain Nonlinear Systems With Input Saturation // IEEE Transactions on Automatic Control. 2017. Vol. 62. № 5. – P. 2498-2504.
3. Peñaloza-Mejía, O. Motion Control Design for an Omnidirectional Mobile Robot Subject to Velocity Constraints // Mathematical Problems in Engineering. 2015. Vol. 2015. – P. 1-15.
4. Tee, K. P. Barrier Lyapunov Functions for the control of output-constrained nonlinear systems / K.P. Tee, S.S. Ge, E.H. Tay – Text : direct // Automatica. 2009. Vol. 45. № 4. – P. 918-927.
5. Zhiqiang, C. Dynamic surface control for omnidirectional mobile robot with full state constrains and input saturation // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2023. Vol. 23. № 6. – P. 1096-1105.