

Asynchrone sensitivitätsbasierte verteilte modellprädiktive Regelung

Maximilian Pierer von Esch†, Knut Graichen†

†Lehrstuhl für Regelungstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Cauerstraße 7, 91058 Erlangen, Tel: +49(0)9131/85-27133, E-Mail: maximilian.v.pierer@fau.de

Die verteilte modellprädiktive Regelung (Engl.: Distributed Model Predictive Control, DMPC) ermöglicht die effiziente Regelung großskaliger, vernetzter Systeme durch die verteilte Lösung des zugrunde liegenden zentralisierten Optimalsteuerungsproblems [1]. Die meisten bestehenden kooperativen DMPC-Verfahren setzen allerdings eine synchrone Ausführung der genutzten Optimierungsalgorithmen voraus. In realen Kommunikationsnetzwerken führen jedoch unterschiedliche Rechenzeiten der Agenten sowie Kommunikationsverzögerungen zu Wartezeiten, welche die Echtzeitfähigkeit und Robustheit des DMPC-Schemas deutlich beeinträchtigen können.

Dieser Vortrag stellt einen asynchronen sensitivitätsbasierten Ansatz zur verteilten Lösung nichtlinearer Optimalsteuerungsprobleme vor [2]. Im Gegensatz zu einer strikten synchronen Ausführung führen die Agenten ihre Optimierungsschritte unabhängig voneinander aus und verwenden dabei die jeweils aktuell verfügbaren und gegebenenfalls veralteten Informationen ihrer Nachbarn. Unter der Annahme beschränkter Kommunikationsverzögerungen wird gezeigt, dass die lineare Konvergenz des synchronen Verfahrens in eine R-lineare Konvergenz übergeht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird der Algorithmus in ein kooperatives DMPC-Verfahren integriert und es werden Bedingungen hergeleitet, welche trotz einer begrenzten Anzahl an asynchronen Optimierungsiterationen pro MPC-Schritt die lokale exponentielle Stabilität des geschlossenen Regelkreises gewährleisten [3].

Die theoretischen Ergebnisse werden anhand numerischer Simulationen sowie Hardwareexperimente auf einer verteilten Rechnerplattform mit netzwerkbasierter Kommunikation validiert. Obwohl die asynchrone Ausführung aufgrund der langsameren Konvergenz mehr Optimierungsiterationen benötigt, zeigen die Untersuchungen eine deutliche Reduktion der Gesamtausführungszeit durch eingesparte Wartezeiten gegenüber der synchronen Variante. Zusammenfassend stellt der vorgestellte Ansatz einen wichtigen Schritt zur Flexibilisierung und zur praktischen Umsetzbarkeit der verteilten modellprädiktiven Regelung nichtlinearer Systeme dar.

Literatur

- [1] Christofides, P.D.; Scattolini, R.; De La Pena, D.M.; Liu, J.: Distributed model predictive control: A tutorial review and future research directions, *Computers & Chemical Engineering* 51, pp. 21-41, 2013
- [2] Pierer v. Esch, M.; Völz, A.; Graichen, K.: Asynchronous Sensitivity-based Distributed Optimal Control for Nonlinear Systems, *IEEE American Control Conference (ACC)*, 2025.
- [3] Pierer v. Esch, M.; Völz, A.; Graichen, K.: Asynchronous Sensitivity-Based Distributed NMPC, *ArXiv preprint arXiv:2607.03412*, 2026