

# GRAMPC-(D/S): Effiziente Software für die (verteilte/stochastische) nichtlineare modellprädiktive Regelung

**Andreas Völz, Knut Graichen**

Lehrstuhl für Regelungstechnik, Cauerstr. 7, 91058 Erlangen, E-Mail: andreas.voelz@fau.de

GRAMPC [græmp'si:] (die Abkürzung steht für „GRAdient based MPC“) ist eine Software zur nichtlinearen modellprädiktiven Regelung basierend auf dem projizierten Gradientenverfahren [1]. Der Algorithmus zeichnet sich durch sehr niedrigen Rechenaufwand pro Iteration, wenig Speicherbedarf und geringe Code-Komplexität aus. Dies ermöglicht die echtzeitfähige modellprädiktive Regelung von hochdynamischen mechatronischen Systemen auch mit schwacher Hardware wie z.B. elektronischen Steuergeräten.

In Version 2.0 wurde das Gradientenverfahren mit einer erweiterten Lagrange-Methode kombiniert, um auch allgemeine nichtlineare Beschränkungen systematisch berücksichtigen zu können [2]. Die Effizienz im Sinne von niedriger Rechenzeit und hoher Lösungsqualität wurde in Benchmark-Vergleichen mit ACADO und VIATOC gezeigt. GRAMPC ist in C programmiert und verfügt über Schnittstellen zu C++, Matlab, Simulink und Python (neu in v2.3) sowie eine umfassende Dokumentation.

GRAMPC-D ist eine Software zur verteilten modellprädiktiven Regelung (DMPC) [3]. Durch den modularen Aufbau können mit einer Problembeschreibung sowohl das zentrale als auch das verteilte Problem gelöst werden, wobei letzteres wiederum auf einem Rechner oder per TCP-Kommunikation auf mehreren Rechnern umgesetzt werden kann. Die verteilte Optimierung erfolgt entweder mit dem ADMM- oder einem sensitivitätsbasierten Algorithmus, wobei die unterlagerten lokalen Optimierungsprobleme jeweils mit GRAMPC gelöst werden. GRAMPC-D ist in C++ programmiert und verfügt über eine Python-Schnittstelle.

GRAMPC-S ist eine Software zur stochastischen modellprädiktiven Regelung (SMPC) [4], mit der probabilistische Unsicherheiten in den Anfangszuständen, den Parametern und normalverteiltes Prozessrauschen berücksichtigt werden können. Mit verschiedenen Propagationsverfahren wie z.B. der Unscented Transformation oder der Polynomial Chaos Expansion wird das stochastische Problem durch ein deterministisches Problem approximiert, welches dann wiederum mit GRAMPC effizient gelöst werden kann. Außerdem werden Gaußprozesse zur Approximation unbekannter Teile der Dynamik nativ unterstützt. GRAMPC-S ist in C++ programmiert und kann über eine S-Function auch in Simulink eingebunden werden.

Im Rahmen der Software-Session werden die drei Pakete zunächst überblicksartig vorgestellt. Anschließend werden ausgewählte Funktionen anhand von Simulationsbeispielen praktisch demonstriert. Bei Interesse kann die Software auch auf dem eigenen Rechner ausprobiert werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, bereits vorab einen Compiler für C/C++ zu installieren. Code und Dokumentation findet man bei [sourceforge.net/projects/grampc](https://sourceforge.net/projects/grampc) und bei [github.com/grampc](https://github.com/grampc).

## Literatur

- [1] Bartosz Käpernick und Knut Graichen. The gradient based nonlinear model predictive control software GRAMPC. In: Proc. of European Control Conference (2014), S. 1170–1175.
- [2] Tobias Englert, Andreas Völz, Felix Mesmer, Sönke Rhein und Knut Graichen. A software framework for embedded nonlinear model predictive control using a gradient-based augmented Lagrangian approach (GRAMPC). In: Optimization and Engineering 20.3 (2019), S. 769–809.
- [3] Daniel Burk, Andreas Völz und Knut Graichen. A modular framework for distributed model predictive control of nonlinear continuous-time systems (GRAMPC-D). In: Optimization and Engineering 23.2 (2022), S. 771–795.
- [4] Daniel Landgraf, Andreas Völz und Knut Graichen. A software framework for stochastic model predictive control of nonlinear continuous-time systems (GRAMPC-S). In: Optimization and Engineering (2025).