



TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Praktikumsbericht

# ENTWICKLUNG UND IMPLEMENTIERUNG EINER AUTOMATISIERTEN SZENARIOBASIERTEN UNIT-TEST STRATEGIE FÜR EINEN MODELLPRÄDIKTIVEN PFADFOLGEREGLER IN EINER GITLAB CI PIPELINE

vorgelegt von

Georg Ehrler

Matrikel-Nr.: 521446

Studiengang: Energie- und Automatisierungssysteme

Betreuer: Francisco Moreno, M.Sc.  
Robert Ritschel, M.Sc. (IAV)

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Streif

Datum: 31. März 2024



IAV GmbH



Regelungstechnik und Systemdynamik  
Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Streif



# KURZFASSUNG

---

Diese Arbeit ist ein Beispiel für die Verwendung der ACSD-**internen** Vorlage für Abschlussarbeiten und Forschungsberichte aller Art. Es werden sowohl einige Hinweise zur korrekten Verwendung gegeben, als auch Beispiele für die verschiedenen Umgebungen und Bestandteile einer wissenschaftlichen Arbeit.

Der Inhalt dieser Arbeit wurde aus verschiedenen anderen Arbeiten zusammengetragen und hat daher nicht den Anspruch, einen sinnvollen zusammenhängenden Text zu bilden. **MACHEN SIE DAS NICHT IN IHRER ARBEIT!**

Beachten sie zudem, dass die Kurzfassung nicht als eine Seite umfassen sollte!



# ABSTRACT

---

This work is an example for the usage of the ACSD-**internal** template for final theses and research reports of all kinds. It contains hints for the correct usage as well as examples for the different environments and parts of a scientific thesis.

The content of this example thesis is taken from different other theses and does therefore not have the aspiration to form a meaningful coherent text. Do NOT DO THAT IN YOUR THESIS!

Also note that the Abstract should not be longer than one page!



# INHALTSVERZEICHNIS

---

SYMBOLVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI
1 EINLEITUNG	1
2 GRUNDLAGEN	3
2.1 Modellprädiktive Pfadfolgeregelung . . . . .	3
2.2 Softwaretests . . . . .	3
2.3 Continuous Integration . . . . .	3
3 IMPLEMENTIERUNG	5
3.1 Matlab Unit Test Framework . . . . .	5
3.2 Aufbau und Ablauf eines Szenarios . . . . .	5
3.3 Vorstellung implementierte Szenarien . . . . .	5
3.4 Parametrierung . . . . .	5
3.5 Key Performance Indicators . . . . .	5
3.6 CI Pipeline Integration . . . . .	5
4 ERGEBNISSE	7
5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	9
LITERATUR	10
A ANHANG	13
A.1 Test 1 . . . . .	13
A.2 Test 2 . . . . .	13





# SYMBOLVERZEICHNIS

---

$k$	time instant for the high level prediction model
$\kappa$	time instant for the low level prediction model
$\mathbf{x}$	state vector
$\mathbf{u}$	input vector
$\mathbf{y}$	output vector
$\tilde{\mathbf{x}}$	predicted state vector
$\tilde{\mathbf{u}}$	predicted input vector
$\tilde{\mathbf{y}}$	predicted output vector
$\mathbf{x}_i$	state vector of the $i^{\text{th}}$ subsystems
$\mathbf{u}_i$	input vector of the $i^{\text{th}}$ subsystems
$\mathbf{x}_{\max}$	upper bound for the state
$\mathbf{x}_{\min}$	lower bound for the state
$\mathbf{u}_{\max}$	upper bound for the input
$\mathbf{u}_{\min}$	lower bound for the input
$N$	length of the prediction horizon
$\mathbf{I}$	identity matrix of appropriate dimension
$\mathcal{X}$	state sequence of the prediction
$\mathcal{U}$	input sequence of the prediction
$\mathbb{R}$	set of real numbers
$\mathbb{R}^n$	set of $n$ -dimensional vectors of real numbers
$\mathbb{R}^{n \times m}$	set of $n \times m$ matrices of real numbers
$\mathcal{U}$	set of feasible inputs
$\mathcal{X}$	set of feasible states



# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

MPC	Model Predictive Control
HMPC	Hierarchical Model Predictive Control
mpP	Multi-Parametric Programming
PWA	Piecewise Affine
KKT	Karush-Kuhn-Tucker optimality condititon
SCS	Strict complementary slackness
LICQ	Linear indipendent constraint qualification
SOSC	Second-order sufficiency condition



# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---



# EINLEITUNG

---

Die modellprädiktive Regelung (MPC) hat sich in vielen Industrien, einschließlich der Automobilindustrie, als effektive Methode zur Vorhersage und Regelung dynamischer Systeme herausgestellt. Im Bereich des automatisierten Fahrens können durch die Anwendung von MPC optimale Fahrentscheidungen in Echtzeit getroffen werden, die den Komfort und die Sicherheit des Fahrzeugs erhöhen. Bezogen auf die sehr hohen Ansprüche an Sicherheit und im besonderen Maße an die Zuverlässigkeit solcher Systeme, sollen im Rahmen dieses Pflichtpraktikums realitätsnahe Fahrszenarien entwickelt werden, welche mittels festgelegter Key Performance Indicators (KPIs) in einer Test-Pipeline bewertet werden sollen.

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Praktikums soll eine automatisierte Teststrategie für dieses Modul konzeptioniert und implementiert werden. Teilaufgaben dabei sind:

- Konzeptentwicklung
- Definition geeigneter Fahrszenarien
- Parametrierung
- Definition von KPIs zur Beurteilung der Leistung der MPC
- Einbindung in eine Gitlab CI Pipeline

## Strukturierung

Im nächsten Kapitel wird zunächst eine Einführung in alle Themenbereiche gegeben. Insbesondere wird der modellprädiktive Pfadfolgeregler näher erläutert, um ein besseres Systemverständnis zu erlangen und so die Qualität der Tests zu steigern. Außerdem wird auf Strategien für das Überprüfen von Software und Testabläufe, speziell in der Automobilindustrie, näher eingegangen und ein Einblick in aktuelle Softwareentwicklungsabläufe mit *Continuous Integration (CI)* und *Continuous Deployment (CD)* gegeben.

Anschließend werden die implementierten Tests vorgestellt. Dies beinhaltet den Aufbau der Testklassen, die Parametrierung der Fahrszenarien und die Definition von Kriterien für die Bewertung der Simulationsergebnisse, *Key Performance Indicators (KPI)*.

Abschließend wird der Ablauf in der Gitlab CI Pipeline und einige durch die Tests aufgedeckte Probleme der aktuellen Reglerimplementierung vorgestellt.





## **GRUNDLAGEN**

---

**2.1 Modellprädiktive Pfadfolgeregelung**

**2.2 Softwaretests**

**2.3 Continuous Integration**



## **IMPLEMENTIERUNG**

---

- 3.1 Matlab Unit Test Framework**
- 3.2 Aufbau und Ablauf eines Szenarios**
- 3.3 Vorstellung implementierte Szenarien**
- 3.4 Parametrierung**
- 3.5 Key Performance Indicators**
- 3.6 CI Pipeline Integration**



## ERGEBNISSE

---









# LITERATUR

---

- [1] G. Betti, M. Farina und R. Scattolini. „A Robust MPC Algorithm for Offset-Free Tracking of Constant Reference Signals“. In: *IEEE Transactions on Automatic Control* 58.9 (2013), S. 2394–2400. ISSN: 0018-9286. DOI: [10.1109/TAC.2013.2254011](https://doi.org/10.1109/TAC.2013.2254011).
- [2] D. Limon, I. Alvarado, T. Alamo und E.F. Camacho. „MPC for tracking piecewise constant references for constrained linear systems“. In: *Automatica* 44.9 (2008), S. 2382–2387. ISSN: 0005-1098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2008.01.023>.
- [3] Bruno Picasso, Xinglong Zhang und Riccardo Scattolini. „Hierarchical Model Predictive Control of independent systems with joint constraints“. In: *Automatica* 74.Supplement C (2016), S. 99–106. ISSN: 0005-1098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2016.07.030>.
- [4] Robert Ritschel, Frank Schrödel, Juliane Hädrich und Jens Jäkel. „Nonlinear Model Predictive Path-Following Control for Highly Automated Driving“. In: *IFAC-PapersOnLine* 52.8 (2019). 10th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles IAV 2019, S. 350–355. ISSN: 2405-8963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.112>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631930446X>.
- [5] David Stenger, Robert Ritschel, Felix Krabbes, Rick Voßwinkel und Hendrik Richter. „What Is the Best Way to Optimally Parameterize the MPC Cost Function for Vehicle Guidance?“ In: *Mathematics* 11.2 (2023). ISSN: 2227-7390. DOI: [10.3390/math11020465](https://doi.org/10.3390/math11020465). URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/2/465>.



# ANHANG

---



A.1 Test 1

A.2 Test 2



<p>Name:</p> <p>Vorname:</p> <p>geb. am:</p> <p>Matr.-Nr.:</p>	<p><b>Bitte beachten:</b></p> <p>1. Bitte binden Sie dieses Blatt am Ende Ihrer Arbeit ein.</p>
--	---

Selbstständigkeitserklärung\*

Ich erkläre gegenüber der Technischen Universität Chemnitz, dass ich die vorliegende selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Die vorliegende Arbeit ist frei von Plagiaten. Alle Ausführungen, die wörtlich oder inhaltlich aus anderen Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Datum: .....

Unterschrift: .....

---

\* Statement of Authorship

I hereby certify to the Technische Universität Chemnitz that this thesis is all my own work and uses no external material other than that acknowledged in the text.

This work contains no plagiarism and all sentences or passages directly quoted from other people's work or including content derived from such work have been specifically credited to the authors and sources.

This paper has neither been submitted in the same or a similar form to any other examiner nor for the award of any other degree, nor has it previously been published.

