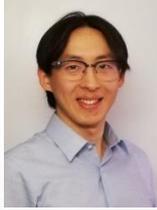


**Ansprechpartner:**



Xin Ye, M.Sc.  
FZI  
Forschungszentrum Informatik  
Raum 2.1.10  
Ye@fzi.de

**Beginn:** ab sofort möglich

**Dauer:** 6 Monate

experimentell  anwendungsorientiert  theorieorientiert

**Ihre Interessen:**

Robotik  maschinelles Lernen

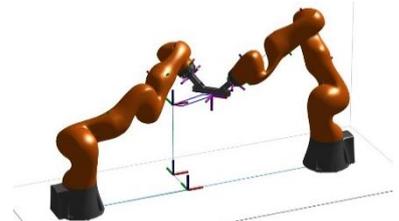


## Masterarbeit

# Entwicklung eines Lernverfahrens zur Ermittlung der inversen Dynamik für Multi-Roboter-Systeme unter Zwangsbedingungen

**Motivation:**

In robotergetriebenen Fertigungsprozessen bestehen Szenarien einer Multi-Roboter-Kooperation, wodurch die Effizienz und Gesamtfähigkeit gegenüber einzelnen Robotern erhöht werden können. In solchen Szenarien gibt es nicht nur Roboter-Werkstück-Kontakte, sondern auch physische Roboter-Roboter-Kopplungen, welche durch geometrische Zwangsbedingungen und Zwangskräfte charakterisiert sind. Bei einer zwangsläufigen Erfüllung der Zwangsbedingungen durch ein starres Koppelmodul (wie in Abbildungen dargestellt) entstehen große Zwangskräfte in dem Koppelmodul und somit Deformationen in Gelenken der Roboter. Das führt zur Bahnabweichung des Werkzeug-Endpunktes von der Soll-Trajektorie. Zur online Eliminierung der Bahnabweichung mittels der Vorsteuerung ist eine Fehlerprognose aufbasis der inversen Dynamik des Multi-Roboter-Systems notwendig.



Die gewöhnliche Euler-Newton-Methode der inversen Dynamik ist nicht in der Lage, Zwangskräfte, die eine hohe Sensitivität gegenüber den Fehlerquellen in der Roboterpositionierung und in der Geometrie der Kopplung aufweisen, zu ermitteln. Deswegen kann man dadurch weder die Fehlerprognose noch die online Eliminierung der Bahnabweichung erzielen. Allerdings ermöglichen die offline erfassten Messdaten einerseits die Identifizierung der Fehlerquellen in der Geometrie und andererseits das Lernen der Kontakt-behafteten Dynamik. In der Literatur der datengetriebenen Methoden gibt es aber noch keine Anwendung an Multi-Roboter-Systemen mit physischen Kopplungen.

**Aufgabenstellung:**

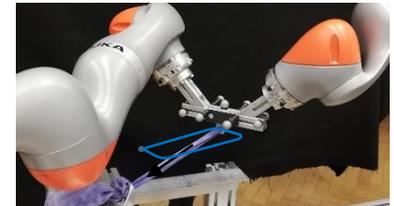
Das Ziel der Arbeit ist es, die inverse Dynamik für Multi-Roboter-Systeme mit Zwangsbedingungen durch Lernverfahren zu ermitteln. Zunächst soll eine gründliche Recherche über Methoden zum Lernen der inversen Dynamik unter Zwangsbedingungen durchgeführt werden. Eine geeignete Daten-getriebene Methode soll ausgewählt und für die zur Verfügung stehenden KUKA iiwa Roboter implementiert werden. Nach dem Training mit vorhandenen Messdaten soll die Fähigkeit der Generalisierung auf neue Bewegungen des Multi-Roboter-Systems überprüft werden. Trotz der Anwendung der künstlichen Intelligenz soll die entwickelte Methode möglichst modellbasiert und kompatibel zu physikalischen Gesetzen sein, damit der Aufwand zum Training reduziert werden kann.



## Masterarbeit

# Entwicklung eines Lernverfahrens zur Ermittlung der inversen Dynamik für Multi-Roboter-Systeme unter Zwangsbedingungen

In robotergetriebenen Fertigungsprozessen bestehen Szenarien einer Multi-Roboter-Kooperation, wodurch die Effizienz und Gesamtfähigkeit gegenüber einzelnen Robotern erhöht werden können. In solchen Szenarien gibt es nicht nur Roboter-Werkstück-Kontakte, sondern auch physische Roboter-Roboter-Kopplungen, welche durch geometrische Zwangsbedingungen und Zwangskräfte charakterisiert sind. Bei einer zwangsläufigen Erfüllung der Zwangsbedingungen durch ein starres Koppelmodul (wie in Abbildungen dargestellt) entstehen große Zwangskräfte in dem Koppelmodul und somit Deformationen in Gelenken der Roboter. Das führt zur Bahnabweichung des Werkzeug-Endpunktes von der Soll-Trajektorie. Zur online Eliminierung der Bahnabweichung mittels der Vorsteuerung ist eine Fehlerprognose aufbasis der inversen Dynamik des Multi-Roboter-Systems notwendig.



Die gewöhnliche Euler-Newton-Methode der inversen Dynamik ist nicht in der Lage, Zwangskräfte, die eine hohe Sensitivität gegenüber den Fehlerquellen in der Roboterpositionierung und in der Geometrie der Kopplung aufweisen, zu ermitteln. Allerdings ermöglichen die offline erfassten Messdaten das Lernen der Kontakt-behafteten Dynamik.

Das Ziel der Arbeit ist es, die inverse Dynamik für Multi-Roboter-Systeme mit Zwangsbedingungen durch Lernverfahren zu ermitteln. Zunächst soll eine gründliche Recherche über Methoden zum Lernen der inversen Dynamik unter Zwangsbedingungen durchgeführt werden. Eine geeignete Daten-getriebene Methode soll ausgewählt und für die zur Verfügung stehenden KUKA iiwa Roboter implementiert werden. Nach dem Training mit vorhandenen Messdaten soll die Fähigkeit der Generalisierung auf neue Bewegungen des Multi-Roboter-Systems überprüft werden. Die entwickelte Lern-Methode soll zur Verringerung des Trainingsaufwands möglichst modellbasiert und kompatibel zu physikalischen Gesetzen sein.