

A Contribution to Adaptive Sliding-Mode Control with Gaussian Radial-Basis-Function Networks

Ein Beitrag zur adaptiven Sliding-Mode-Regelung mit Netzen von Gaußschen radialen Basisfunktionen

MSc. Lei Ma

Lehrstuhl Informatik VII, Universität Würzburg, 97074 Würzburg

In dieser Dissertation wird die adaptive Sliding-Mode-Regelung (SMC) mit Netzen von Gaußschen radialen Basisfunktionen vorgestellt. Nach einer Zusammenfassung für des SMC-Verfahrens und Diskussion der Problematik im Kapitel 2, werden die Hauptbeiträge dieser Arbeit in Kapiteln 3 und 4 präsentiert. Der Einsatz der Netze von Gaußschen radialen Basisfunktionen (GRBF-Netze) in SMC wird intensiv studiert. GRBF-Netze besitzen neben der besseren Konvergenz auch ein schnelles Lernverhalten. In dieser Arbeit sind GRBF-Netze im Sinne der Ljapunow-Stabilitätsanalyse in die Sliding-Mode-Regelung integriert. Neue Regelungsstrukturen und eine Wachstum-Strategie für die GRBF-Netze werden vorgeschlagen. Die simulierten und experimentellen Beispiele werden in Kapiteln 5 und 6 präsentiert.

Die Robustheit eines Systems mit Sliding-Mode geht zurück auf die hochfrequente Stellgröße, die höher als die obere Schranke der Größe der Unsicherheiten gewählt wird. Wenn sie die Oberschranke nicht übersteigt, verliert der Regelkreis seine Robustheit. Das Problem kann gelöst werden, indem neuronale Netze als Approximator für die Unsicherheiten eingeführt werden. Eine Kaskadenregelungsstruktur wurde vorgeschlagen. Ein GRBF-Netz wird parallel mit einem klassischen SMC geschaltet, um die unbekannte Dynamik zu approximieren. Die Aufgabe von dem Sliding-Mode-Regler wird erleichtert, da er sich nicht mehr direkt um die unbekannte Dynamik kümmert. Stattdessen dient der Sliding-Mode-Regler dazu, nur den Approximationsfehler des Netzes zu kompensieren. Die starke, konservative Stellgröße beim klassischen SMC wird deshalb in dieser Regelungsstruktur vermieden. Die Realisierung dieser Idee liefert einen neuen Direct Addaptive Sliding-Mode Control (DASMC). Der DASMC ist geeignet für die Regelung nichtlinearer Mehrgrößensysteme.

Die klassische SMC basiert auf der sogenannten Matching-Condition, dass sich alle Unsicherheiten in der Eingabe der Regelstrecke zusammenfassen lassen. Die Matching-Condition liefert aber eine starke Annahme über die Struktur der Systemdynamik, welche die Anwendung des SMC ziemlich beschränkt. Die Kombination des SMC mit dem Backstepping-Verfahren bietet neue Möglichkeiten an. Diese Idee wurde im Kapitel 4 für Systeme in der NPPF-Form mit dem ABSMC-Verfahren (Addaptive Backstepping Sliding-Mode Control) realisiert. Eine Sliding-Surface wird im letzten Schritt des Backsteppings eingeführt, die die Eigenschaften der "virtuellen Fehler" in jedem Schritt umfasst. Mehrere GRBF-Netze werden eingesetzt, um die Nichtlinearitäten in jedem Subsystem zu approximieren. Verglichen mit dem DASMC-Verfahren, die Problematik der Approximation ist hierbei in mehrere Subprobleme von niedriger Dimension unterteilt. Dieses Verfahren vermeidet die redundante Repräsentation von Fehlern wie in der Literatur erkannt, und liefert einen einfacheren Reglerentwurf.

Zum Training der GRBF-Netze wurde eine neue Strategie für das Wachstum der Netze vorgeschlagen. Diese ist begründet auf der Erkenntnis, dass das Einsetzen von zu vielen Neuronen weder hilft das Übergangsverhalten zu verbessern, noch die bleibenden Regelabweichungen zu reduzieren. Im Kapitel 3 wird eine Oberschranke der ungemessenen Regelabweichung gebildet. Neue Neuronen werden nur ins Netz eingesetzt, wenn der Fehler die entsprechende Oberschranke übersteigt. Das schnelle Wachstum des Netzes wird daher vermieden.

Die vorgeschlagenen Reglerstrukturen bzw. die Wachstum-Strategie der GRBF-Netze wurden mit mehreren simulierten und experimentellen Beispielen getestet. Als Anwendungsfeld wurden Robotersysteme vorgesehen, die Methoden kann aber auch anderweitig angewendet werden. Die Regelung von Robotersystemen bildet herausfordernde Aufgaben der Regelungstechnik. Die Folgeregelung wurde für sowohl einen mehrgliedrigen Roboterarm als auch einen Roboterarm mit einem elastischen Gelenk implementiert. Zum Vergleich wurden auch klassische Sliding-Mode-Regelung bzw. LQ-Regelung in den Experimenten implementiert. Während die modellbasierten Reglerstrukturen bei unbekannter Systemdynamik Schwächen zeigen, liefern die vorgeschlagenen DASMC und ABSMC sehr gute Leistungen trotz den starken Nichtlinearitäten und der manchmal sogar zeitvarianten unbekanntem Systemdynamik.