

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Biowissenschaften / Chemie / Mathematik / Physik

Fachgebiet: Mathematik

Betreuer: Prof. Jens Starke
Niklas Kruse
(e-mail: niklaskru@icloud.com)

Data-driven control of periodic orbits

Englische Zusammenfassung

It is a common theme in multiple branches of sciences to detect and control genuine unstable states periodic in time, as illustrated by e.g. dynamical properties in neuroscience, chemical catalytic surface reactions, or optimizing atomic force microscopy in surface physics, to mention just a few. When underlying equations of motion are known, such as satellite dynamics in celestial motion, the task reduces to solving boundary value problems. A considerable challenge occurs when no suitable accurate mathematical model is available, such as in areas mentioned above. Then the control and detection tasks have to be based predominantly on experimental observations. This work proposes methods for the stabilization of unstable periodic orbits by dynamically adjusting a system parameter. In particular, the case where the equations of motion of the system that possesses periodic orbits are unknown is discussed. First, a stabilization scheme based on a linear state feedback of a Poincaré map is presented. Furthermore, a nonlinear control scheme that leads to a large basin of attraction of the stabilized periodic orbit is proposed. We also develop a strategy that enables nonlinear control directly from input-state time series of a Poincaré map. Thus neither the equations of motion have to be known nor arbitrary choices for the control gains are necessary. The presented methods are numerically validated on both autonomous and non-autonomous nonlinear dynamical systems.

Deutsche Zusammenfassung

In vielen Teilen der Wissenschaft ist es erforderlich, zeitperiodische Zustände zu identifizieren und zu stabilisieren. Dynamische Eigenschaften in den Neurowissenschaften, katalytische Oberflächenreaktionen in der Chemie oder die Optimierung der Rasterkraftmikroskopie in der Oberflächenphysik sind nur einige Beispiele hierfür. Liegt der Fall vor, dass die Bewegungsgleichungen des vorliegenden Systems bekannt sind, wie es beispielsweise bei der Satellitendynamik in der Himmelsmechanik der Fall ist, reduziert sich obiges Problem auf das Lösen von Randwertproblemen. Ist dies nicht der Fall, müssen die Methoden zur Identifizierung und Stabilisierung der zeitperiodischen Zustände vorwiegend auf Messdaten basieren. In der vorliegenden Arbeit werden Methoden zur Stabilisierung periodischer Orbits mithilfe einer dynamischen Anpassung eines Systemparameters entwickelt. Insbesondere liegt dabei der Schwerpunkt auf dem Fall, dass die Bewegungsgleichungen des Systems unbekannt sind. Zunächst wird eine Methode basierend auf einer Zustandsregelung einer Poincaré Abbildung präsentiert. Darauf aufbauend wird eine nichtlineare Regelung vorgeschlagen, die zu einem großen Einzugsbereich des stabilisierten periodischen Orbits führt. Zusätzlich wird eine Methode präsentiert, welche die Konstruktion einer solchen nichtlinearen Regelung direkt aus Eingangs-Zustands-Zeitserien einer Poincaré Abbildung erlaubt. Somit müssen weder die Bewegungsgleichungen bekannt sein noch ist eine willkürliche Wahl der Regelverstärkungen nötig. Die präsentierten Methoden werden anhand von numerischen Simulationen von sowohl autonomen als auch nichtautonomen nichtlinearen dynamischen Systemen validiert.