

Data-based bifurcation and stability analysis of feedback-controlled laboratory experiments

Anna Dittus

Abstract

Unstable equilibrium points and unstable periodic orbits are not observable by direct simulations or experimental time series of uncontrolled dynamical systems. Feedback control methods allow for finding and stabilizing unstable stationary points and periodic orbits. In this doctoral thesis, data-based methods applied to controlled systems are introduced and presented in order to gain stability information about the originally uncontrolled systems. Complete bifurcation diagrams can be obtained for simulated and laboratory experiments while keeping the noninvasive feedback control active. In particular, the knowledge about the bifurcation points' positions is of great interest in dynamical systems theory since bifurcation points indicate a possible change of qualitative behavior, e. g., a change of stability. Thus, a supplementary control is presented that uses the data-based stability information to continue the curve of bifurcation points for systems depending on an additional parameter. Laboratory experiments of the Zeeman catastrophe machine verify the realizability of the methods.

Zusammenfassung

Datenbasierte Bifurkations- und Stabilitätsanalyse regulierter Laborexperimente

Instabile Gleichgewichtspunkte und instabile periodische Orbits sind nicht durch direkte Simulationen oder experimentelle Zeitreihen unregelter dynamischer Systeme beobachtbar. Regelungsmethoden erlauben das Finden und Stabilisieren von instabilen stationären Punkten und periodischen Orbits. In dieser Dissertation werden datenbasierte Methoden eingeführt und präsentiert, die auf geregelte Systeme angewandt werden, um die Stabilitätsinformationen über das ursprünglich unregelte System zu gewinnen. Komplette Bifurkationsdiagramme können für Simulations- und Laborexperimente erhalten werden, während die nichtinvasive Regelung aktiviert bleibt. Insbesondere das Wissen über die Positionen der Bifurkationspunkte ist von großem Interesse für die Theorie dynamischer Systeme, da Bifurkationspunkte eine Änderung des qualitativen Verhaltens wie z. B. der Stabilität anzeigen. Daher wird eine ergänzende Regelung präsentiert, die die datenbasierte Stabilitätsinformation verwendet, um die Kurve der Bifurkationspunkte für Systeme zu berechnen, die von einem zusätzlichen Parameter abhängen. Laborversuche an der Zeemanschen Katastrophenmaschine bestätigen die Realisierbarkeit der Methoden.