

From classical absolute stability tests
towards
a comprehensive robustness analysis

Von der Fakultät Mathematik und Physik der Universität
Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Matthias Fetzer
aus Rottweil

Hauptberichter: Prof. Dr. Carsten W. Scherer
Mitberichter: Prof. Dr. Arjan van der Schaft

Tag der mündlichen Prüfung: 23.11.2017

Institut für Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften,
Numerik und geometrische Modellierung der Universität Stuttgart

2017

Abstract

IN this thesis, we are concerned with the stability and performance analysis of feedback interconnections comprising a linear (time-invariant) system and an uncertain component subject to external disturbances. Building on the framework of integral quadratic constraints (IQCs), we aim at verifying stability of the interconnection using only coarse information about the input-output behavior of the uncertainty.

In the first part of the thesis, we establish a comprehensive framework for global stability and performance analysis on general function spaces that significantly widens the range of applications if compared to standard IQC theory. Furthermore, our novel approach allows to flexibly combine and also improve on all multiplier based stability criteria available in the literature for the classical problem of absolute stability analysis, i.e., the case where the uncertain system is defined via a slope-restricted or sector-bounded nonlinearity.

By forging a strong and very general link to the theory of dissipation as developed by Willems, we demonstrate for the first time in the second part of the present thesis that general IQC theory can indeed be extended towards local analysis of feedback interconnections. This is achieved by a reformulation of IQC theory in a trajectory based setting that opens the way for the application of standard Lyapunov type arguments. Hence, we can now employ input-output descriptions of uncertainties in order to robustly verify and guarantee hard state and

output constraints on the linear part of the interconnection depending on the set of possible disturbances.

Zusammenfassung

DAS zentrale Thema dieser Arbeit ist die Stabilitäts- und Güteanalyse von Rückkopplungssystemen, die aus einem linearen (zeitinvarianten) Element und einer unsicheren Komponente bestehen und darüber hinaus externen Störungen ausgesetzt sind. Auf die Theorie der sogenannten integral quadratic constraints (IQCs) aufbauend, verfolgen wir das Ziel Stabilitätsaussagen lediglich auf Basis relativ grober Informationen über das Eingangs-Ausgangsverhalten der Unsicherheit zu treffen.

Der erste Teil dieser Arbeit ist der Entwicklung einer strukturierten und umfassenden Vorgehensweise zur globalen Stabilitäts- und Güteanalyse auf allgemeinen Funktionenräumen gewidmet. Hierdurch kann ein weitaus größeres Anwendungsgebiet als durch klassische IQC Theorie erschlossen werden. Für den konkreten Fall, dass die Unsicherheit durch eine sektoriell- oder steigungsbeschränkte Nichtlinearität definiert ist, ermöglicht es unsere neuartige Herangehensweise, alle in der Literatur verfügbaren und auf Multiplikatoren basierenden Stabilitätskriterien flexibel zu kombinieren und darüber hinaus zu verbessern.

Indem wir einen direkten und sehr allgemeinen Zusammenhang zur Willems'schen Dissipationstheorie herstellen, zeigen wir im zweiten Teil unserer Arbeit zum ersten Mal, dass allgemeine IQC Theorie sogar auf die lokale Analyse von Rückkopplungssystemen angewendet werden kann. Die Grundlage hierfür bildet eine Trajektorien basierte Formulierung der IQC Theorie, welche uns eine Kombination mit Standard Lyapunov

Argumenten erlaubt. Infolgedessen ist es uns nun möglich, lediglich auf Basis von Eingangs-Ausgangsbeschreibungen der Unsicherheiten, harte Zustands- oder Ausgangsbeschränkungen an den durch eine Zustandsraumdarstellung gegebenen linearen Teil des Rückkopplungssystems zu garantieren.