



Doctoral Thesis

Stabilization of uncertain discrete systems

Author(s):

Kienitz, Karl Heinz

Publication Date:

1990

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000578182> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 9232

Stabilization of Uncertain Discrete Systems

A DISSERTATION

submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
KARL HEINZ KIENITZ
M.E.E., ITA, Brazil
born March 11, 1961
Brazilian citizen

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. M. Mansour, examiner
Prof. Dr. L. Guzzella, co-examiner

Zürich 1990

Zusammenfassung

Der Reglerentwurf nach klassischen Methoden beruht auf einem nominalen Modell des zu regelnden Systems. Ein solches Modell ist immer nur eine ungenaue Beschreibung der Strecke. Informationen über Modellierungsfehler, Parameterunsicherheiten und gegebenenfalls Störungen fließen aber in der Regel nicht in den klassischen Entwurf mit ein. Das Hauptziel der robusten Regelung ist es, Mittel bereitzustellen, um genau das zu ermöglichen, damit letztendlich die Qualität und Zuverlässigkeit der Regelung erhöht werden.

In dieser Dissertation werden Werkzeuge für den zeitdiskreten stabilisierenden Reglerentwurf bereitgestellt. Wenn allerdings ein Lösungskonzept auch auf zeitkontinuierliche Systeme direkt anwendbar ist, wird dies angegeben. Die entwickelten Werkzeuge erlauben es, möglicherweise zeitvariante, strukturierte Unsicherheiten während des Entwurfs zu berücksichtigen. Es wird angenommen, dass die betreffenden Unsicherheiten im ursprünglichen System durch Intervallparametermatrizen oder durch kegelförmig beschränkte aber sonst unbekannte Funktionen beschrieben werden. Alle anfallenden Stabilitätsbetrachtungen werden mit Hilfe zeitinvarianter quadratischer Lyapunovfunktionen gemacht.

Da in abgetasteten Systemen infolge der Abtastung die Struktur der Unsicherheit wesentlich verändert wird, werden in einem ersten Schritt zeitdiskrete Beschreibungen für unsicherheitsbehaftete abgetastete Systeme bestimmt.

Danach werden drei Entwurfsprobleme linearer Rückführungen formuliert und gelöst. Beim ersten handelt es sich um die Stabilisierung diskreter Intervalsysteme mittels statischer Ausgangsrückführung. Mit Hilfe eines Strafkosten Ansatzes wird ein dem Stabilisierungsproblem äquivalentes Minimierungsproblem hergeleitet. Dieses wird anschliessend mit Techniken der nichtlinearen Programmierung gelöst. Eine Version des Verfahrens für zeitkontinuierliche Systeme wird zugunsten einer allgemeineren Darstellung und Evaluation des zugrundeliegenden Entwurfskonzeptes auch angegeben.

Das zweite Entwurfsproblem befasst sich mit der Stabilisierung durch Zustandsrückführung. Es werden Systeme betrachtet, deren Unsicherheiten durch kegelförmig beschränkte aber sonst unbekannte Funktionen beschrieben werden. Es wird ein Lyapunov min-max Ansatz benutzt. Dabei wird der Regler so entworfen, dass er für

den ungünstigsten Fall eine obere Grenze der Lyapunov Differenz minimiert. Die Stabilität wird durch die Wahl einer geeigneten Lyapunovfunktion gewährleistet.

Das dritte und letzte Entwurfsproblem befasst sich ebenfalls mit der Stabilisierung durch Zustandsrückführung. Allerdings wird nun die Stabilisierung von Intervalsystemen betrachtet. Der Reglerentwurf wird mit Hilfe einer Riccati-ähnlichen Matrixgleichung bewerkstelligt. Der Lösungsansatz ist ein garantierte Kosten Ansatz, da obere Grenzen für die Regelkosten bezüglich (wählbarer) quadratischer Gütemasse angegeben werden können.

Der mit Lyapunovansätzen entworfene lineare Regler wird anschliessend mit zwei alternativen Regelstrategien verglichen, die im Lyapunovkontext optimal sind: die erste bezüglich minimaler Amplituden für die Steuergrösse, die zweite bezüglich Robustheit in einem gewissen Sinne.

Im weiteren werden dann ergänzende Themen angesprochen. Diese sind: die Regelung von allgemeinen Arbeitspunkten, der Einfluss von Störungen und die Problematik der robusten Zustandsbeobachtung. Insbesondere wird für eine grosse Klasse von Beobachter gestützten Zustandsregelungen ein Stabilitätsbeweis geführt. Er gilt für all die Fälle, in denen die Zustandsrückführungsmatrix mit quadratischen (Lyapunov basierten) Stabilisierungsmethoden bestimmt wurde und ein reduzierter robuster Beobachter eingesetzt wird.

Mehrere praxisnahe Beispiele werden behandelt.

Summary

When designing a controller by classical means, the designer relies on nominal models for the plant to be controlled. These models always are approximate descriptions of the plant only. Modelling errors, parameter uncertainty and disturbances generally are not accounted for in the controller design process. The main purpose of robust control is to provide means to account for them with the ultimate objective of improving the quality and reliability of the control system.

In this thesis robust stabilizing controller design tools are presented, mainly for discrete uncertain systems. However, when a concept is also applicable to continuous-time systems this is indicated. The developed tools allow to consider possibly time variant, structured uncertainty in the controller design process. Uncertainty in the original plant description is assumed to be adequately represented by interval parameter matrices or by unknown cone bounded functions with known bounds. Time invariant quadratic Lyapunov functions are used for all stability considerations (quadratic stabilization approach).

Initially discrete representations are provided for uncertain sampled-data systems since the original (continuous-time) uncertainty structure is nonlinearly affected by sampling.

Three distinct linear feedback design problems are then stated and solved. The first one is concerned with the static output feedback stabilization of discrete interval systems. Using Lyapunov stability conditions and a penalty function approach, an equivalent minimization problem is derived. This optimization problem is then solved with nonlinear programming techniques. The continuous-time counterpart is also given to allow a more general evaluation of the underlying design concept.

The second design problem is the state feedback stabilization problem for systems with cone-bounded uncertainty. A Lyapunov min-max approach is used. In this approach controllers are designed to minimize an upper bound on the Lyapunov difference under the worst possible realization of the uncertainties. Stability is guaranteed by the choice of an appropriate Lyapunov function.

The third and last design problem reconsiders state feedback stabilization, but for discrete interval systems. Controller design is accomplished through a Riccati-like matrix

equation. The solution approach is of the guaranteed cost type, since an upper bound on the control cost with respect to a designer chosen quadratic performance index is available.

The linear robust controller designed for discrete uncertain systems via Lyapunov methods is then compared with two alternative optimal nonlinear Lyapunov control schemes obtained from the requirements of the least possible control amplitude and that of maximum robustness in a certain sense respectively.

Further, complementary topics such as the regulation of nonzero set points, the effect of disturbances and the issue of robust state observation are addressed. A very general stability proof is provided for robust observer based state feedback controlled systems in which the state feedback gain matrix was determined via quadratic stabilization methods and a robust reduced order observer is used.

Several examples are discussed throughout the text.