

Diss. ETH Nr. 11410

Entwurf von schnellen Fuzzy-Reglern am Beispiel eines aktiven Magnetlagers

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

WOLF LIEBERT

Dipl.-Ing. TH Darmstadt
geboren am 24. Juli 1963
in Frankfurt/Main, Deutschland

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. J. Hugel, Referent
Prof. Dr. H. P. Geering, Korreferent

1996



Kurzfassung

Fuzzy-Logic ist eine mathematische Theorie, bei der die Eigenschaften von Objekten graduell ausgedrückt werden. In der Regelungstechnik wird Fuzzy-Logic seit mehr als 10 Jahren in Form von Fuzzy-Systemen eingesetzt. Diese setzen sich zusammen aus der Abbildung von numerischen Werten in Fuzzy-Mengen (Fuzzifizierung), der Verknüpfung von Fuzzy-Mengen mittels Regeln (Inferenz) und der Abbildung aus Fuzzy-Mengen in numerische Werte (Defuzzifizierung). Die Fuzzy-Mengen werden durch Zugehörigkeitsfunktionen definiert. Das Verhalten eines Fuzzy-Systems läßt sich durch ein nicht-lineares Kennfeld beschreiben und wird durch die Zugehörigkeitsfunktionen und die eingesetzten Fuzzy-Operatoren bestimmt. Bis jetzt wurden Fuzzy-Systeme als Fuzzy-Steuerungen, reine Fuzzy-Regler, übergeordnete Fuzzy-Regler oder Fuzzy-Schaltregler eingesetzt.

Aufgrund einer Analyse des Verhaltens von Fuzzy-Systemen werden in der vorliegenden Arbeit Anleitungen zum Aufbau von Fuzzy-Reglern gegeben. Für Regelungsaufgaben kann man sich auf wenige Fuzzy-Operatoren und Zugehörigkeitsfunktionen beschränken. Mittels Beispielen wird die Programmierung von Fuzzy-Reglern für digitale Prozessoren dargestellt, die nur wenig mehr Rechenzeit benötigen als konventionelle Regler.

Es wird ein neues Anwendungsgebiet für Fuzzy-Regler vorgeschlagen, das auf der Kompensation von Nichtlinearitäten einer Regelstrecke beruht. Das Verfahren ist in der nichtlinearen Regelungstheorie auch unter dem Begriff „Ein-Ausgangslinearisierung“ bekannt und kann mit Methoden der Differentialgeometrie theoretisch analysiert werden. Fuzzy-Logic erlaubt einen praktisch orientierten Ansatz - der Entwurf eines Kompensationsreglers unter Verwendung von Fuzzy-Logic kann dadurch sehr vereinfacht werden.

Die theoretischen Ergebnisse werden an Hand eines aktiven Magnetlagers verifiziert. Das Lager besteht aus einer Magnetspule, einem optischen Wegsensor, einem ferromagnetischen Körper, einem Fuzzy-Regler sowie dazugehöriger Leistungselektronik. Der Fuzzy-Regler wird nach den vorgeschlagenen Verfahren entworfen und mit einem digitalen Signalprozessor realisiert. Die Meßergebnisse zeigen ein signifikant besseres Führungsverhalten.

Abstract

Fuzzy logic is a mathematical theory in which attributes of objects are expressed in gradual terms. In the field of automatic control, fuzzy logic has been applied in fuzzy systems for more than 10 years. These systems consist of mapping numerical values to fuzzy sets (fuzzifier); combining these sets using rules (inference engine); and mapping the fuzzy set to numerical values (defuzzifier). Fuzzy sets are defined through membership functions. A fuzzy system can be described by a nonlinear input-output map and is determined by membership functions and fuzzy operators. In the past, fuzzy systems were implemented either in the form of open or closed loop fuzzy control, adaptive fuzzy control, or switching fuzzy control.

This thesis presents design rules for fuzzy systems based on the analysis of their input-output characteristics. Control tasks can be realized using only a few fuzzy operators and membership functions. Programming of fuzzy controllers for digital processors is demonstrated with examples. It is shown that these fuzzy controllers are only slightly slower than conventional controllers.

Compensation of nonlinearities of controlled systems is suggested as a new range of application of fuzzy logic. This procedure, known as input/output linearization, can be described and analyzed using differential geometric methods. Fuzzy logic permits a very practically oriented approach, thereby simplifying the design of a compensation controller.

Theoretical results are verified using an active magnetic bearing as an example application. The bearing consists of magnetic coils, an optical sensor, a ferromagnetic body, a fuzzy controller, and a power amplifier. The fuzzy controller is designed by applying the rules suggested in this thesis and realized with a digital signal processor. Test results demonstrate significantly improved step response.