

Berichte aus der Steuerungs- und Regelungstechnik

Klaus Röbenack

**Beobachterentwurf für nichtlineare Zustandssysteme
mit Hilfe des Automatischen Differenzierens**

Shaker Verlag
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Röbenack, Klaus:

Beobachterentwurf für nichtlineare Zustandssysteme mit Hilfe
des Automatischen Differenzierens / Klaus Röbenack.

Aachen : Shaker, 2003

(Berichte aus der Steuerungs- und Regelungstechnik)

ISBN 3-8322-1069-5

Copyright Shaker Verlag 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1069-5

ISSN 0945-1005

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Klaus Röbenack

Beobachterentwurf für nichtlineare Zustandssysteme mit Hilfe des Automatischen Differenzierens

Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind Verfahren zum Entwurf von Zustandsbeobachtern. Es wird gezeigt, wie sich die Methode des Automatischen Differenzierens nutzbringend beim Beobachterentwurf für nichtlineare Systeme einsetzen läßt.

Zu Beginn ist ein Abschnitt der Beobachtbarkeitsanalyse gewidmet. Ausgehend von den Beobachtbarkeitsabbildungen werden die Beobachtbarkeitsmatrizen für lineare zeitinvariante und lineare zeitvariante Systeme angegeben. Bei der Behandlung der Beobachtbarkeitsmatrizen für nichtlineare zeitinvariante Systeme erwies sich die Notation durch Lie-Ableitungen als hilfreich. Mehrvariable Systeme und deren Beobachtbarkeitsindizes werden ebenfalls diskutiert.

Die Arbeit beschreibt zunächst aus der Literatur bekannte Verfahren zum Beobachterentwurf. Von grundlegender Bedeutung ist der Ansatz des klassischen Luenberger-Beobachters unter Verwendung der Ackermann-Formel. Die Verallgemeinerungen auf lineare zeitvariante und nichtlineare zeitinvariante Systeme sowie auf Mehrgrößensysteme werden ausführlich behandelt. Eine etwas andere Herangehensweise liegt den beschriebenen High-Gain-Beobachtern zugrunde. Allen diesen Entwurfsverfahren ist gemeinsam, daß sie unmittelbar auf die jeweilige Beobachtbarkeitsmatrix aufbauen und deren Regularität voraussetzen.

Die mathematischen Grundlagen des Automatischen Differenzierens werden detailliert dargestellt. Dabei wird auch auf die Unterschiede zum symbolischen und numerischen Differenzieren eingegangen. Bei den im Buch behandelten Problemstellungen können sehr hohe Ableitungsordnungen auftreten. Daher wird der Berechnung univariater Taylorreihen und der zugehörigen Jacobimatrizen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit sind Verfahren zur Berechnung von Beobachterverstärkungen auf der Basis des Automatischen Differenzierens. Den Ausgangspunkt bildet die Berechnung von Lie-Ableitungen. Darauf aufbauend wird ein Verfahren zur effizienten Berechnung sowohl der normalen als auch der erweiterten Beobachtbarkeitsmatrix vorgestellt. Das bei der symbolischen Berechnung auftretende exponentielle Anwachsen der benötigten Computer-Ressourcen läßt sich dabei auf einen bezüglich der Ableitungsordnung quadratischen Zuwachs reduzieren. Von besondere Bedeutung ist die Berechnung der Beobachterverstärkung des erweiterten Luenberger-Beobachters unter Nutzung der verallgemeinerten Ackermann-Formel. Die entwickelten Verfahren werden an Beispielen aus den Bereichen Elektrotechnik und Mechanik erprobt.