

Berichte aus der Steuerungs- und Regelungstechnik

Svenja Kirchenkamp

**PI-Observer Techniques Applied
to Mechanical Systems**

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8951-5

ISSN 0945-1005

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract

A decisive question about control and diagnosis tasks is how to carry them out using only few measurements or using easy practicable and less expensive measurements. For real applications these requirements are given due to practical restrictions caused by construction of the considered device or the aim to limit the expenses for measurement equipment. This problem can be solved by applying observers. Observers provide the capability to gain enhanced information about a system by processing available measurements.

The commonly used Luenberger observer achieves this estimation task for linear systems. By the use of a linear system model and measured outputs of the system this method offers the possibility to receive estimations of all states of the system. But, in considering nonlinear or disturbed systems this approach is not applicable since this approach depends on the quality of the linear model and does not take any extra information into account. Hence, the error equation is affected by the additional influence directly. To overcome those difficulties, without assuming any knowledge about the nonlinear part, the Proportional-Integral Observer can be applied. The Proportional-Integral Observer (PIO) acts as an extension of the classical observer approach. The PIO makes it possible to determine the states even in presence of nonlinearities, disturbances, or model inaccuracies. Moreover, the PIO is also able to estimate those additional influences acting on the system. This approach offers a great variety of usage possibilities for the replacement of real sensors and for the validation of measurements or models. Furthermore, by its capability to reconstruct the disturbances, the PIO is also predestined to fault detection.

First, the idea and set-up of observers in general is introduced. Further, the problem of dealing with disturbances or nonlinearities, respectively, is described. Different methods which aim to overcome this problem are presented. Next, the idea of the PIO and its set-up is described and its advantages to the other methods are emphasized. In addition, the demands on the PIO design are described, followed by a new consideration of the convergence properties. This assessment of the quantity of the estimation error is completed by the consideration of a new necessary condition for the applicability of the PIO for mechanical systems.

The usage of the PIO as virtual measurement device is shown by the example of the reconstruction of rail-wheel contact forces. Afterwards, as extension of the consideration of the PIO as virtual measurement device, the possibilities of the PIO for model validation tasks is looked at and illustrated by experiments using the example of the one side clamped elastic beam.

The problem resulting from the standard state space description of observers and the request for the application of acceleration measurements is introduced. Following, different approaches which aim to deal with this problem are presented. Finally, a new general observability consideration for a disturbed or nonlinear system with the application of acceleration measurements is given.

Zusammenfassung

Eine Herausforderung bei regelungstechnischen Aufgabenstellungen ist die Durchführung unter Verwendung von möglichst wenigen, leicht zu realisierenden, kostengünstigen Messungen. Bei realen Anwendungen resultieren diese Forderungen aus den praktischen Beschränkungen, wie dem Systemaufbau und dem Ziel, die Ausgaben für die Messausrüstung zu minimieren. Dieses Problem kann durch den Einsatz von Beobachtern gelöst werden. Beobachter ermöglichen den Gewinn von erweiterten, nicht messbaren Informationen über das System unter Verwendung von nur wenigen Messungen.

Der standardmäßig verwendete Luenberger-Beobachter kann bei Anwendung eines linearen Systemmodells und Ausgangsmessungen eine Schätzung aller Systemzustände für lineare Systeme liefern. Bei nichtlinearen oder gestörten Systemen funktioniert dieser Ansatz jedoch nicht, da dieser von der Qualität des linearen Modells abhängig ist und keine weiteren Einflüsse berücksichtigt; somit wirken sich diese zusätzlichen Einflüsse bzw. Nichtlinearitäten auch direkt auf den Beobachterfehler aus. Eine Möglichkeit dieses Problem zu überwinden, ohne ein detailliertes Modell des nichtlinearen Anteils vorauszusetzen, ist die Verwendung des Proportional-Integral (PI)- Beobachters. Der PI-Beobachter basiert auf einer Erweiterung des klassischen Beobachteransatzes. Der PI-Beobachter schätzt die Systemzustände auch bei vorhandenen Nichtlinearitäten, Störungen oder Modellungenauigkeiten. Darüber hinaus kann der PI-Beobachter auch diese zusätzlichen Einflüsse schätzen. Dieser Ansatz liefert vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für den Ersatz von realen Sensoren und zur Validierung von Messungen und Modellen. Außerdem ist er, durch die Möglichkeit auch die Störungen zu schätzen, für den Einsatz zur Fehlerdiagnose geeignet.

Neben einer generellen Betrachtung von Beobachtern und der Vorstellung von Verfahren für nichtlineare Systeme wird der PI-Beobachter und seine Vorteile gegenüber anderen Verfahren vorgestellt. Nach den generellen Anforderungen an den PI-Beobachteraufbau wird eine neue Betrachtung der Konvergenzeigenschaften gezeigt. Für den Fall einer konstanten eindimensionalen Störung bei der Verwendung der Messung nur eines Zustandes, wird der Beobachterfehler detailliert betrachtet. Außerdem wird dieser Ansatz anhand eines Beispiels einer nichtkonstanten Störung veranschaulicht. Diese neue quantitative Abschätzung des Beobachterfehlers liefert eine neue notwendige Bedingung für den Einsatz des PI-Beobachters bei mechanischen Systemen.

Die Verwendung des PI-Beobachters als virtuelles Messinstrument wird am Beispiel der Rekonstruktion der Kontaktkräfte im Rad-Schiene-Kontakt gezeigt. Als Erweiterung der Anwendung als virtuelles Messinstrument wird der Einsatz des PI-Beobachters zur Modellvalidierung am Beispiel des einseitig eingespannten elastischen Balkens erläutert.

Die aus der Standard-Zustandsraumbeschreibung resultierende Problematik bei der Verwendung von Beschleunigungsmessungen sowie verschiedene Ansätze zur Lösung dieser Problemstellung werden dargestellt. Abschließend wird für ein gestörtes beziehungsweise nichtlineares System eine neue allgemeine Beobachtbarkeitsbetrachtung für die Verwendung von Beschleunigungsmessungen aufgestellt.