

Berichte aus der Luft- und Raumfahrttechnik

**Sven Lorenz**

**Adaptive Regelung zur Flugbereichserweiterung  
des Technologiedemonstrators ARTIS**

Shaker Verlag  
Aachen 2010

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9586-8

ISSN 0945-2214

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

*Unbemanntes Luftfahrzeug, UAV, adaptive nichtlineare Regelung, Pseudo-Control Hedging, Eingangs-Ausgangs Linearisierung, nichtlineare Vorsteuerung, Systemidentifizierung*

Sven LORENZ  
Institut für Flugsystemtechnik des DLR, Braunschweig

### **Adaptive Regelung zur Flugbereichserweiterung des Technologiedemonstrators ARTIS**

*Dissertation Technische Universität Braunschweig*

*DLR-Forschungsbericht 2010-25, 2010, 195 Seiten, 50 Abbildungen, 5 Tabellen, 76 Literaturstellen, xx,00 □ zzgl. MwSt.*

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Auslegung eines nichtlinearen adaptiven Regelungssystems. Mit den Zielen Robustheit gegenüber Modell- und Parameterunsicherheiten zu erhalten und die physikalischen möglichen Flugleistungen auszunutzen, gilt es für einen unbemannten Hubschrauber eine Vielzahl von Randbedingungen zu berücksichtigen. Als Basiswissen über die Flugdynamik des Hubschraubers stehen ein lineares Schwebeflugmodell sowie einige Anhaltspunkte zur Flugbereichsbegrenzung zur Verfügung. Auf Basis einer Methode der Eingangs-Ausgangs Linearisierung werden in Kombination mit einer während des Fluges lernenden Erweiterung die Auswirkungen von spezifischen Unsicherheiten untersucht. Die fehlende Kenntnis einiger Systemzustände stellt hierbei den begrenzenden Faktor bezüglich der adaptiven Erweiterung dar. Darüber hinaus liegt in der Berücksichtigung von nicht invertierten Dynamiken bei der Erzeugung der Referenzgrößenverläufe ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeit. Gemeinsamkeiten zwischen der Methode zur Inversion der Systemdynamik und den Grundprinzipien der (linearen) Modellfolgeregelung können durch eine neue Betrachtungsweise Rückkopplungen der Streckenzustände in die Referenzmodelle vermieden werden. Anhand der Simulationsstudien wie auch an Flugversuchsergebnissen kann gezeigt werden, dass der Einsatz von adaptiven Elementen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Robustheit gegenüber Zustandsschätz- und Parameterfehlern leisten kann. Darüber hinaus gelingt mit dem vorgestellten Ansatz eine intuitive systematische Reglerauslegung, die jederzeit durch neue Erkenntnisse hinsichtlich der Streckendynamik ergänzt werden kann und bei vollständiger Systemkenntnis letztlich die ideale Vorsteuerung des Systems ermöglicht.

*Unmanned vehicle, UAV, adaptive nonlinear control, Pseudo-Control Hedging, input-output linearisation, feedforward control, system identification*

*(Published in German)*

Sven LORENZ  
Institut of Flight Systems DLR, Braunschweig

### **Adaptive control for flight envelope extension of the rotorcraft UAV ARTIS**

*Doctoral Thesis Technical University Braunschweig, Germany*

*DLR-Forschungsbericht 2010-25, 2010, 195 pages, 50 figs., 4 tabs., 76 refs., xx.00 □*

This work presents the design of a nonlinear adaptive flight control system. For its intended application in a small unmanned helicopter, the system needs to achieve the required robustness against model- and parameter uncertainties and utilize a maximum of physical capabilities while a multitude of boundary conditions are considered. Besides, basic knowledge about the flight dynamics of the helicopter plant is known only for a linear hover domain model with some preliminary envelope protection parameters. The method of input-output linearisation combined with an on-line learning algorithm is used to evaluate the influence of particular uncertainties. Especially for helicopters, unknown system states constitute the major limiting factor for adaptation. Based on similarities between the method to invert the system dynamics and the basics of a model following control scheme, it is a feasible solution to fully decouple the reference and error dynamics. Simulation studies and flight test results demonstrate that the application of adaptive elements provide a significant contribution to the increase of robustness against state estimation uncertainties and parameter errors. In addition, by using the proposed method, an intuitive systematic controller is successfully designed which can be updated any time by new findings and leads, with perfect knowledge of the system, to an ideal feed-forward control law.