



Doctoral Thesis

Modeling, guidance, and control of aerobatic maneuvers of an autonomous helicopter

Author(s):

Gerig, Marco B.

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005684509> →

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. 17805

**Modeling, Guidance, and Control
of Aerobatic Maneuvers
of an Autonomous Helicopter**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Science

presented by

Marco Beat Gerig

Dipl. Masch.-Ing. ETH

born 23 January, 1973

citizen of Wassen, UR

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. P. Geering, examiner

Prof. Dr.-Ing. C. Glocker, co-examiner

Dr. J. Wildi, co-examiner

2008

Abstract

This thesis discusses the main aspects of autonomous aerobatic flight with an unmanned helicopter, including the design and construction of an appropriate autonomous helicopter for flight controller validation, together with a ground control station for flight monitoring.

A dynamic model is developed for simulation and for flight controller design. The pertinent parameters of the model are identified using flight data that was collected in both manual and autonomous flight. For the collection of the data used for parameter identification, synthetically generated sine sweep signals were superimposed onto the control inputs of the human pilot.

A description of reference trajectories is presented, followed by a set of trajectory segments, which allow the synthesis of flyable reference trajectories covering a wide range of the vehicle's flight envelope, including aerobatic maneuvers.

On the basis of model-based controllers, a guidance logic is developed that allows autonomous flight along a reference flight path at any sideslip angle in both regular and inverted flight. For attitude control, model-based H_∞ controllers using gain-scheduling are designed. The calculation of the reference attitude and the attitude error is performed using quaternions.

The algorithms developed in this thesis were implemented in the helicopter's autopilot and proved good performance in numerous test flights. Autonomously flown maneuvers include hover, nose circle, tail circle, circles with constant heading, straight flight with superimposed rotation about the helicopter's vertical axis, inverted hover, inverted flight, changing between inverted and regular flight, loops, aileron rolls, and hammerhead turns. The results obtained in various autonomous test flights complete this thesis.

Zusammenfassung

In dieser Dissertation werden die wichtigsten Aspekte des autonomen Kunstflugs mit einem unbemannten Hubschrauber besprochen. Nebst der Entwicklung der benötigten Flugregler, werden der Aufbau eines geeigneten unbemannten Hubschraubers für die Validierung der Flugregler sowie die Entwicklung einer Bodenstation für die Überwachung der Testflüge behandelt.

Es wurde ein dynamisches Modell des Hubschraubers entwickelt, welches für die Simulationen und das Auslegen von modellbasierten Flugreglern verwendet wurde. Die Modellparameter wurden mittels Flugdaten aus manuellen und autonomen Flügen identifiziert. Für die Aufzeichnung der für die Parameteridentifikation verwendeten Flugdaten wurden den Steuersignalen des Piloten synthetisch erzeugte Signale überlagert.

Die vorgestellte Beschreibung von Referenztrajektorien erlaubt es, aus diversen vorgegebenen Segmenten eine beliebige fliegbare Trajektorie zusammenzustellen. Die derart generierte Trajektorie kann Rückenflug und Kunstflugmanöver beinhalten.

Es wurden modellbasierte Flugregelungsalgorithmen entwickelt, welche es erlauben, sowohl im Normalflug, als auch im Rückenflug einen vorgegebenen Flugweg mit beliebigem Schiebewinkel abzufliegen. Für die Lageregelung wurden modellbasierte H_∞ -Regler mit geschwindigkeitsabhängiger Ausgangsverstärkung verwendet. Die Berechnung von Referenzfluglage und Lagefehlern erfolgt mittels Quaternionen.

Die hier entwickelten Flugregelungsalgorithmen wurden im Autopiloten des Hubschraubers implementiert, und ihre gute Funktionalität wurde in diversen Versuchsflügen bewiesen. Unter anderem wurden folgende Manöver vollautomatisch geflogen: Schwebeflug, Nasenkreis, Schwanzkreis, Kreis mit konstantem Heading, Geradeausflug mit überlagerter Pirouette, Rückenflug, Rückenschweben, Looping, Rolle und Turn. Die Resultate aus diversen Versuchsflügen vervollständigen diesen Bericht.