

2.3 Autonomer Hubschrauber fliegt

Prof. Dr. Werner Schröder
R. Lehmann
S. Staiger

Einführung

An der Hochschule Offenburg wird ein autonomer Hubschrauber entwickelt. Die Zelle besteht aus einem kommerziellen Modellhubschrauber Typ Align TREX 600. Als Antrieb dient ein bürstenloser 1.6-kW-Elektromotor mit ca. 40.000 U/min, der von einem 22-V-Lithium-Polymer-Akkumulator mit 5 Ah Speicherkapazität gespeist wird. Das Abfluggewicht des Hubschraubers beträgt ca. 3 kg. Sein Hauptrotor ist ein Zweiblattrotor mit Bell-Hiller-Mechanik. Der Heckrotor wird über einen Zahnriemen von der Hauptrotorwelle abgehend angetrieben. Der Hubschrauber ist autorotationsfähig.

Für die Flugregelung wurde ein Kurs-Lagereferenzsystem entwickelt. Die eigentliche Flugregelung sowie die Datenerfassung der Sensoren erfolgt über zwei Atmega128-Mikroprozessoren. Der Hubschrauber ist mit einem Datenlink über Bluetooth mit einem PC am Boden verbunden.

Kurs-Lagereferenzsystem

Das Kurs-Lagereferenzsystem besteht aus drei orthogonal montierten MEMS-Kreisel und zwei zweiachsigen MEMS-Beschleunigungsmessern. Die Kreisel-daten werden kompensiert und die Drehrateninformationen mit Quaternionen mit 100 Hz Datenrate in Lagewinkel gerechnet. Diese analytische Plattform wird mit Beschleunigungsmessern in Nick- und Rollwinkel stabilisiert. Der Hochachsenwinkel wird durch einen zweiachsigen Magnetfeldsensor stabilisiert. Das System ist voll kunstflugtauglich und liefert die Lagewinkel im Raum mit einer Genauigkeit von besser 1 Grad in Nick- und Rollachse.

Positions-, Geschwindigkeits- und Höhenmessung

Zur Ermittlung der lateralen Position und der lateralen Geschwindigkeitskomponenten im Erdsystem wird ein GPS-Modul mit aktiver Antenne verwendet. Die laterale Positionsgenauigkeit ist etwa 2.5 m, die Geschwindigkeitsgenauigkeit etwa 0.1 m/s. Die Daten werden mit

4 Hz vom GPS geliefert. Da die Höheninformation beim GPS relativ ungenau ist, wird ein MEMS-Drucksensor zur Höhenmessung mit einer Datenrate von 9 Hz verwendet. Durch Kombination der ins Erdsystem transformierten Beschleunigungsmesserdaten mit den Druckmesserdaten errechnet sich laufend mit 50 Hz eine Höheninformation mit einer Genauigkeit von ca. 0.3 m mit einem Rauschen von wenigen Zentimetern. Diese Höheninformation wird zur Höhenregelung verwendet.

Sonstige Sensoren

Das System verfügt über drei optische Bodenabstandssensoren bis ca. 5 m Abstand sowie einen Ultraschall-Abstandssensor bis ca. 10 m. Die Rotordrehzahl wird über einen Wiegandsensor erfasst. Akkuspannungen und der Strom des Hauptakkus werden laufend gemessen. Ein Stereovideokamera-paar kann optional montiert werden.

Funkverbindungen

Flugdaten werden in Paketen mit 50 Hz über eine bidirektionale 100 kBaud Bluetooth-Schnittstelle der Klasse I an einen PC am Boden gesendet. Über diese Datenverbindung werden auch Sollwegpunkte an den Hubschrauber gesendet.

Eine 35-MHz-Schnittstelle dient zur Übermittlung von Sollgeschwindigkeiten

in den drei Achsen im Raum, der Soll-drehrate um die Hochachse des Hubschraubers sowie der Sollrotordrehzahl.

Weitere analoge 2.4-GHz-Schnittstellen dienen der Übermittlung von Videodaten.

Für eine Patchantenne für den 2.4-GHz-Bereich am Boden ist eine automatische Nachführung entwickelt worden.

Flugregelung

Die Geschwindigkeitskomponenten im Hubschrauber- und im Erdsystem sowie die Position im Erdsystem werden über die Integration der Beschleunigungsmesserdaten ermittelt. Diese Daten werden mit den GPS-Daten und den Höhenmesserdaten gestützt. Die Lagewinkel und Drehraten werden vom Kurs-Lagereferenzsystem geliefert. Alle Informationen liegen im Erd- und Hubschrauber-system mit 50 Hz Datenrate vor, Transformationen erfolgen über Richtungscosinusmatrizen.

Die eigentliche Flugregelung besteht aus einer Reihe von überlagerten Regelkreisen, die mit 50 Hz Rate gerechnet werden. Die Flugregelung ist kunstflugtauglich ausgelegt.

Ende letzten Jahres flog der Hubschrauber zum ersten Mal autonom. Derzeit werden die Regelkreise optimiert.

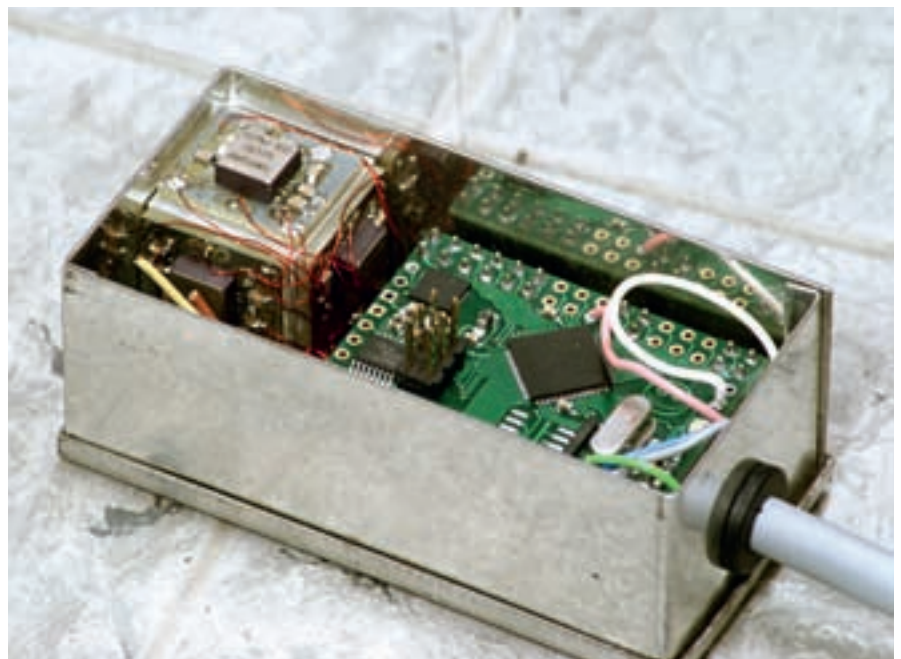


Abb. 2.3-1: Blick in das geöffnete Kurs-Lagereferenzsystem. Auf dem würfelförmigen Block sitzen drei MEMS-Kreisel und -Beschleunigungsmesser mit Elektronik. Der Rechner, der die Sensordaten in Lagewinkel umrechnet, ist auf der Elektronikkarte zu sehen.



Abb. 2.3-2: Der autonome Hubschrauber im Fluge

Anwendungen

Eine 150 g leichte Thermokamera kann am Hubschrauber montiert werden, um Wärmebilder aus der Luft aufzunehmen. Ein Gradientenmagnetometer mit zwei dreiachsigen Fluxgatesensoren mit einem Rauschen von $125 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ist derzeit in der Entwicklung, um Magnetkarten des Bodens aufnehmen zu können. Zur genauen Positionserfassung ist eine Positionsermittlung mit einem Stereokamerapaar am Boden in der Entwicklung.

Zur automatischen Hindernisvermeidung im Flug sind derzeit Algorithmen, die aus dem optischen Fluss in den Kameradaten Hindernisse ermitteln, in der Entwicklung bzw. Untersuchung.

Erste Flüge

Bisher wurden ca. 30 Flüge absolviert, die Stabilisierung in Roll- und Nick arbeitet zuverlässig auch bei Windstärken von 5 Beaufort. Probleme bereitet derzeit die Zeitverzögerung im Kalmanfilter des GPS, sie ist für hohe Dynamik zu groß. Durch eine konzeptionelle Änderung in der Stützung hoffen wir, das Problem in den Griff zu bekommen.