

Autonome Flugsteuerung für ein LTA-UAV

1. Aufgabenstellung (für das Gesamtprojekt „Flugsteuerung“)

Für ein unbemanntes Luftschiff (Länge 12m, Verdrängung 25m³) soll basierend auf einem „Pixhawk Flight Controller“ eine autonome Flugsteuerung konzipiert, aufgebaut, programmiert und in Betrieb genommen werden.

Das Luftschiff, im folgenden auch LTA-UAV, oder allgemeiner UAS genannt, soll in der Lage sein vorgegebene Wegpunkte anzufliegen und Störgrößen wie z.B. Seitenwind selbstständig auszugleichen.

Das UAS soll für den BVLOS Flug zugelassen werden, es sind daher die geltenden Vorschriften bei der Auswahl von zusätzlichen elektronischen Komponenten zu beachten. Es soll z.B. ein Transponder installiert werden, der die Sichtbarmachung des UAS für anderen Luftverkehr ermöglicht.

Telemetrie-Daten und Videobild sollen an eine Bodenstation gesendet werden.

Der Fernpilot soll in der Lage sein, jederzeit bis zu einer noch festzulegenden Entfernung zum Luftschiff die Steuerung manuell mit einer geeigneten Fernsteuerung zu übernehmen.

Ziel ist die legale Durchführung von autonomen Flügen außerhalb der Sichtweite eines Fernpiloten.

Die Flugsteuerung muss dabei nach jetzigem Erkenntnisstand folgende Teilaufgaben erfüllen:

1. Erkennung der aktuellen Position (Genauigkeit $\pm 1\text{m}$), Höhe über dem Boden (Genauigkeit 10% des Absolutwerts) und Richtungslage (Genauigkeit $\pm 3^\circ$) des Luftschiffs
2. Erkennung von Optischen Targets am Boden (oder an Masten) zum Anfliegen von Landeplätzen
3. Erkennung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit (vertikal und horizontal) relativ zum Luftschiff und/oder der Beschleunigungen des Luftschiffs
4. Ansteuerung der Manöver- und/oder Flugmotoren, um einen definierten Bewegungsvektor gegenüber Boden zu erreichen (Vektor kann beliebig im Raum liegen, Spezialfall: Null-Vektor = Position halten, Maximale Geschwindigkeit gegenüber Boden = Vektorielle Addition: maximale Geschwindigkeit gegen Luft + Windgeschwindigkeitsvektor)
5. Soll-Ist-Vergleich der tatsächlichen Flugbewegung mit der vorgegebenen Flugbewegung; Berechnung eines resultierenden Korrekturvektors
6. Übertragung einer Soll-Flugroute auf die Steuerung und Speicherung
7. Sequenzielles Anfliegen von Punkten der Soll-Flugroute
8. Abbruch einer Flugroute von der Bodenstation aus und Anwahl/ Übermittlung einer neuen Soll-Route
9. Wiederaufnahme einer Flugroute nach einem manuellen Steuerungseingriff von der Bodenstation aus

10. Speicherung eines Flug-Logbuchs in der Flugsteuerung (Ist-Verlauf der Flugbahn, Störungen, Missionen, manuelle Eingriffe etc.)
11. Übertragung der Ist-Position zur Bodenstation
12. Übertragung von Informationen über den Systemzustand (Störungsmeldungen, Akku-Ladezustand, Temperatur, Windgeschwindigkeit etc.) von der Flugsteuerung zur Bodenstation
13. Übertragen von Steuerbefehlen von der Bodenstation zur Flugsteuerung
14. Ausschalten und Einschalten der automatischen Flugsteuerung und Umschalten auf manuelle Flugsteuerung von der Basisstation aus.
15. Übertragen von Massendaten (Videos, Audiosignale, Bilder, Sensordaten etc.) von der Flugsteuerung zur Bodenstation
16. Speichern von Massendaten an Bord des Luftschiffs
17.

2. Aufgabenstellung im Rahmen der Masterarbeit

Im Rahmen der Masterarbeit sollen wenigstens die Punkte 1-9 programmtechnisch und in Hardware umgesetzt werden.

3. Aktueller Forschungsstand

Es ist geplant, ein Gerät der „Pixhawk“ Serie einzusetzen. Als opensource-System mit modularem Aufbau und in verschiedenen Varianten erhältlich, ist eine Anpassung an die jeweilige Aufgabe gut möglich. So wird der Pixhawk zur Steuerung von Multicoptern oft eingesetzt, aber auch z.B. für unbemannte Land-Fahrzeuge und sogar Unterwasserfahrzeuge.

Während für die meisten Aufgaben fertige Software zu finden ist, die dann i.d.R. auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst wird, ist speziell für Luftschiffe noch nichts bekannt. Aufgrund der besonderen Flugmechanik von Luftschiffen muss hier also neu entwickelt werden.

Zur Erprobung des Konzeptes existiert ein kleineres Luftschiff mit 4m Länge, mit dem die Wirksamkeit des Manöver-Antriebs nachgewiesen werden konnte. Der Manöver-Antrieb ist ein Alleinstellungsmerkmal des Luftschiffs für das die Steuerung konzipiert werden soll.

Das 4m-Luftschiff fliegt ohne Pixhawk und ohne künstliche Stabilisierung. Es wird mit einer Fernsteuerung der Marke „Frsky“ gesteuert, die Steuerbefehle sind entsprechend im Fernsteuersender gemischt. Mit einer Akkuladung sind Flüge von mehreren Stunden Dauer möglich.

4. Geplante Vorgehensweise zur Bearbeitung der Aufgabenstellung

- Recherche der Vorschriften für den autonomen Flugbetrieb BVLOS
- Erstellung eines Lastenhefts für die Flugsteuerung
- Auswahl geeigneter Komponenten
- Inbetriebnahme des Systems an einem physischen Simulator, „Iron-Bird“. (Form und Funktion noch zu definieren)
- Durchführung eines Validierungs-Testflugs des UAS, der mindestens folgende Kriterien erfüllt:
 - Flugplanung mit einer dafür geeigneten Software (z. B. „Mission Planner“ oder „QGroundControl“).
 - Autonomer Start von einem definierten Startpunkt.
 - Autonomer Flug, wobei das UAS demonstrieren soll, dass äußere Störgrößen wie z.B. Wind kompensiert werden. Es soll eine Strecke von wenigstens 100m zurückgelegt werden.
 - Landung an einem vorgegebenen Punkt.
 - Während des Fluges Übermittlung relevanter Telemetrie-Daten an eine Bodenstation
 - Zu jeder Zeit soll es einem Fernpiloten möglich sein, die Kontrolle des UAS mit einer Fernsteuerung zu übernehmen. Dies soll ebenfalls demonstriert werden.

Für die Durchführung des Validierungs-Testflugs steht alternativ ein kleineres Luftschiff mit 4m Länge zur Verfügung, für den Fall, dass das geplante LTA-UAV nicht einsatzbereit sein sollte.

5. Vorläufiges Literaturverzeichnis

- The Most Manoeuverable Airship, 2017, J. Eissing
- Sustainable Air Transport by Airship, 2020, J. Eissing
- Airship Design, 1927, Charles P. Burgess
- Airship Technology, 2012, Gabriel Alexander Khoury
- Lufttüchtigkeitsforderungen für ferngesteuerte Modell-Luftschiffe mit einer höchstzulässigen Startmasse von mehr als 25 kg und bis zu 150 kg. DFS, 2011
- Allgemeinverfügung der Landesdirektion Sachsen zur Erteilung der Betriebserlaubnis für unbemannte Luftfahrtsysteme und Flugmodelle gemäß § 21a Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) und Zulassung von Ausnahmen von Betriebsverboten gemäß § 21b LuftVO für den Freistaat Sachsen, 2018
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/947 DER KOMMISSION vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Union, 2019
- Introduction of a regulatory framework for the operation of drones; Notice of Proposed Amendment 2017-05, EASA

Außerdem:

- ConOps, J. Eissing 2021
- SORA, J.Eissing 2021

Beide Dokumente bereits im Rahmen des Projektes angefertigt.

Anhang

Abkürzungen, verwendete Begriffe

- BVLOS Beyond Visual Line of Sight - Ausserhalb der Sichtweite
- ConOps Concept of Operations
- DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
- EASA European Aviation Safety Agency
- LTA-UAV Lighter Than Air – Unmanned Aerial Vehicle
- LuftVO Luftverkehrs-Ordnung
- OSD On Screen Display
- SORA Specific Operations Risk Assessment
- TLA Three Letter Acronym
- UAS Unmanned Aerial System
- UAV Unmanned Aerial Vehicle
- UTM UAS Traffic Management System der DFS

Weiterführende Links

- <https://ardupilot.org/planner/> Mission Planner
- <http://qgroundcontrol.com/> QGroundControl
- <https://pixhawk.org/> Pixhawk, open source autopilot
- <https://ardupilot.org/> Firmware für Pixhawk
- <https://droniq.de/collections/drohnenequipment/products/hod4track-deutschland>
Transponder
- <https://www.frsky-rc.com/> Fernsteuerung, mit Telemetrie und Long-Range Optionen
- <https://docs.cubepilot.org/user-guides/herelink/herelink-overview> alternatives Fernsteuersystem „Herelink“.
- https://betaflight.de/docs/knowledge-base/software/blheli32_suite-blheli-suite-jesc/
Programm um Parameter der Drehzahlregler für die Motoren einzustellen.

Vorhandenes Equipment / Hardware

- Fernsteuerung „Frsky Tandem X20“ inklusive diverser Empfänger und weiterem Zubehör, Telemetrie-Sensoren usw.
- Luftschiff 4m lang, Maßstab 1:3 zum geplanten UAS. Komplett ausgerüstet mit Manövermotoren, Prinzip „Quadropod“, siehe „*The Most Manoeuverable Airship*“, 2017, J. Eissing
- Laptop mit Software „Ardupilot“, „Mission Planner“, „BLHeli32_Suite“ und andere.
- Pixhawk Autopilot, GPS Sensor...

Usw.