

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560536

研究課題名(和文)被災状況把握と捜索のための小型飛行船群による隊列飛行制御に関する研究

研究課題名(英文)Control Method of an Airship for Disaster Situation Grasp and Search

研究代表者

森 泰親 (Mori, Yasuchika)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：00210138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：飛行船を誘導制御するには、多くの課題を解決しなくてはならない。動的モデルの構築に関しては、表面摩擦係数などのパラメータを、実験を通して調整した。飛行船下部に取り付けた赤と緑の2個のカラーボールを2台のカメラを用いて撮像することで、良い精度で飛行船の3次元位置と姿勢情報を取得できた。遠隔操作手法においては、送信機内部の回路に計算機から直接電圧を加える方法を検討した。

実験で研究成果の確認を行ったところ、3次元軌道追従において満足できる結果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In order to derive an airship we must solve many problems. About the construction of the dynamic model, we tuned up the parameters such as skin friction coefficients through an experiment. Three dimensions position and the posture information of the airship were acquired with good precision by imaging red and a green color balls attached to the airship lower part using two cameras. In the remote control technique, a method to give the voltage from a computer directly in the circuit of the transmitter was examined.

Through an experiment, the confirmation of results of research was accomplished. In three-dimensional tracking test, the result that we were satisfied with was provided.

研究分野：制御工学

キーワード：飛行船 誘導制御 3次元軌道追従

1. 研究開始当初の背景

地震等の災害が起きた直後の被災地における救助活動の第1ステップは、被災状況の把握である。現在は、低速低空飛行とホバリングができるヘリコプターで状況の把握を行っているが、ヘリコプターによる状況把握にはいくつかの問題がある。例えば、低空飛行時にプロペラによって地上に打ち付ける風とプロペラの生み出す騒音が地上の救援活動の邪魔になってしまう事や、墜落による二次災害などが挙げられる。

2. 研究の目的

(1)ヘリコプターのように空中を自由に移動できる飛行船に注目する。飛行船の特徴として以下のことが挙げられる。

1. プロペラによる騒音が小さい
 2. 墜落による危険性が少ない
 3. 浮力を利用することで、長時間の飛行が可能である
 4. エネルギー消費が少なく、電力の消費が少ない
 5. 空中での停止が可能である
- これらの特徴から、飛行船にカメラなどのセンサを搭載することで、地震などの大規模災害を受けた地域の被災状況の把握と捜索活動を地上の救援活動の邪魔をすることなく長時間継続的に行う事が可能であると考えられる。

(2)災害時以外にも以下のような応用例などが挙げられる。

1. 段差のある出入り口や階段を経由する場所へのナビゲーション
 2. 博物館のように展示品によって多くの死角ができる場所での監視
- 災害救助支援は今後の社会で最も期待されていることだと予想され、災害時以外にも上記のような応用方法があることから、実用化が期待されている。

(3)本研究では、これら利用方法の実現へ向けた第一ステップとして、屋内型飛行船を用い、所望した経路に沿い目標地点まで移動を行う誘導制御を目的とする。

3. 研究の方法



図1 飛行船

(1)本研究で用いる飛行船はラジオコントロ

ールの飛行船である。その飛行船を図1に示す。飛行船は全長約3.5[m]高さ約1.9[m]のバルーンと、そのバルーンの前端から約1.2[m]の位置につられているゴンドラ、そしてバルーンの後部上下左右についている計4枚の尾翼(垂直尾翼及び水平尾翼)からなる。図1を見て分かるように下部の尾翼にはプロペラがついており、このプロペラを正回転または逆回転させることにより飛行船は旋回動作を行う。また、ゴンドラからは左右に軸がのびていて、その両端にはプロペラが固定されており、軸を回転させることにより両端のプロペラが前後方向や上下方向に向きを変え、プロペラを動作させることにより前進・後進・上昇・下降といった行動を行う仕組みになっている。

(2)機体を操縦者が直接操作せずに計算機上で飛行船の動作を制御する手法を2つ提案する。まず1つは、プロポに付加されている機能であるトレーナー機能を用いプロポから発せられる信号を計算機で制御する手法である。もう1つは、プロポ内部の回路に計算機から直接電圧を加えプロポから発せられる信号を制御する手法である。以上2つの手法を比較、検討し、より良い手法を採用する。

(3)飛行船の制御系設計を行う際に用いるシミュレータの設計が必要となる。シミュレータにおいては、正確な飛行船のモデル化、質量等のパラメータ調整が重要となる。しかし、空中を移動する飛行船では“慣性や空気抵抗の影響が大きい”という問題があり、パラメータの正確な数値を求めることは容易ではない。流体中を移動する飛行船の場合、機体の密度が周りの流体の密度とほぼ同じ値になっているため、慣性の影響が無視できない。また、飛行船は空中を移動することにより流体からの抵抗も受けることになる。そこで、物理学に基づいて飛行船モデルの構築を行う。構築されたモデルに基づき、現場での実測によるパラメータ調整を加える。

(4)制御系設計について考える。飛行船モデルは状況により変化するパラメータを有しており、固定ゲインを用いるフィードバック制御では所望の性能を得ることが出来ないことや、場合によっては安定性を失うという問題が生じる。

そこで、ファジィ制御を用いる。ファジィ制御とは人間の勘や経験といった感性を数学的理論で表現するファジィ理論を根幹とした制御手法である。これを用いる事で、時々刻々と変化するパラメータにロバストに対応し、かつあたかも人間が操縦しているかのような自動制御を施す事を旨とする。

(5)誘導制御を実現する上で飛行船の現在位置、速度、角度を取得する必要がある。飛行

船のような3次元空間を移動する物体において、3次元位置・姿勢計測を行う手法として、GPS やレーザ距離計の利用などが挙げられるが、GPS は一般のもので誤差が最小でも約10[m]であり、レーザ距離計では姿勢計測が困難である。

そこで、外部カメラによるHSV 値分解を用いた物体認識・追従と幾何学的な計算を利用した3次元位置・姿勢計測を行う。

(6)以上を総括する。まず、遠隔制御手法について比較、検討を行う。また、物理学に基づき飛行船モデルを構成しシミュレータに実装する。そのシミュレータを用いて制御器を設計し、制御性能を評価する。最後に、実機を用いた誘導制御システムを実現、評価を行う。

4. 研究成果

(1)遠隔操作

計算機からプロポの信号を制御するための電圧の変化をPICとローパスフィルタを用いて実現する。計算機からシリアル通信を用いてPICに出力したいPWM信号のDuty比を送信し、PICから出力されたPWM信号をローパスフィルタに通すことでアナログ電圧に変換する。変換した電圧の変化をプロポに与えることで、変化に応じた飛行船の動作を決定する信号がプロポから送信される。以上のシステムの概要を図2に示す。

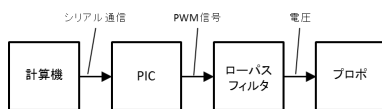


図2 送信システム

制御理論を用いて閉ループ制御系を設計する際、制御器の出力は所望の推力であるため、実装にあたっては、得られる所望の推力をDuty比に変換する必要がある。

そこで、それぞれのプロペラの正回転・負回転において一定のDuty比における推力の測定を複数回行い、結果を平均、グラフにしてからExcelの多項式近似を利用しDuty比と推力の関係式として導出した。推力測定には重量計を用いた。測定結果のグラフを図3～6に示す。

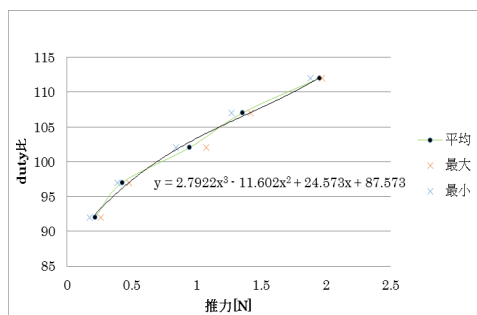


図3 Duty比と推力の関係 (ゴンドラプロペラ・正回転)

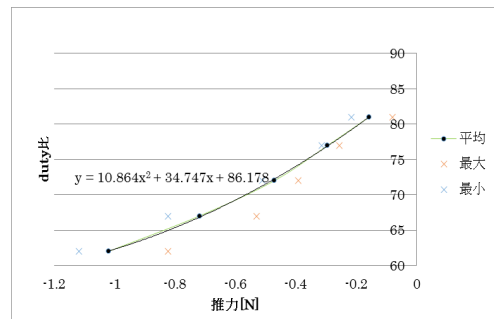


図4 Duty比と推力の関係 (ゴンドラプロペラ・負回転)

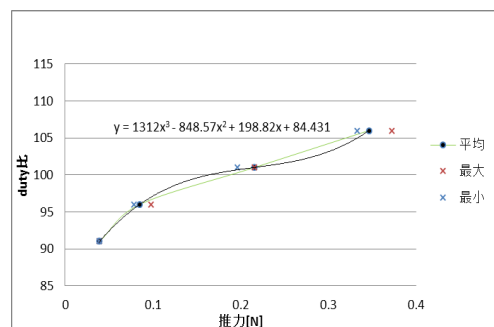


図5 Duty比と推力の関係 (尾翼プロペラ・正回転)

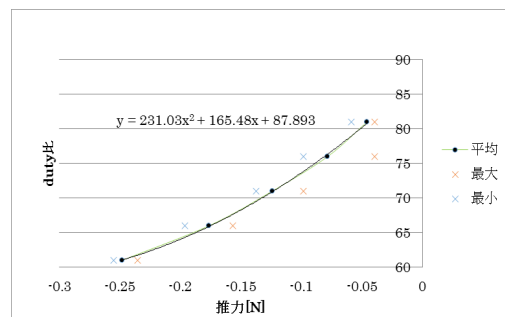


図6 Duty比と推力の関係 (尾翼プロペラ・負回転)

(2)3次元位置

まず、初期状態において追従したい対象の映像内における画素のHSV値を取得する。取得したHSV値を満たす範囲を追従することで、選択対象の追従を実現する。

図7に示すように、飛行船下部に設置したカラーボールの重心位置をリアルタイムで取得する。2つのカラーボールの中間点を飛行船の3次元の現在位置として認識する。

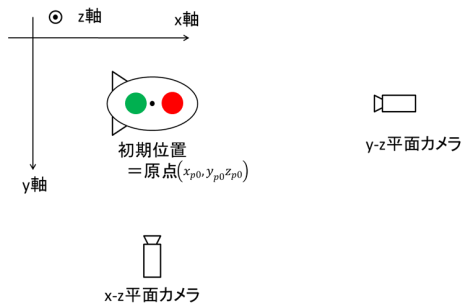


図7 3次元位置の取得

(3)姿勢計測

2つのボール間距離は既知として、画像処理によって重心間距離を [pixel] 値で取得、 [pixel] 値を [mm] に変換する。その後、図8に示すような幾何学的な処理により、飛行船の向いている角度を算出する。

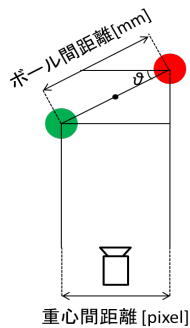


図8 姿勢計測

(4)誘導制御シミュレーション

高さを一定に保った上で、図9の経路を与えて実験を行う。

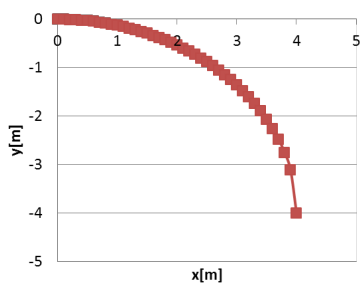


図9 誘導経路

構築したシミュレータにファジイ制御を適用してフィードバック制御したときの結果を図10と図11に示す。

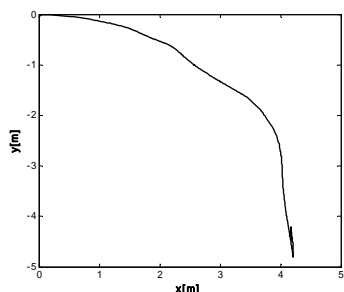


図10 シミュレーション結果(x-y座標)

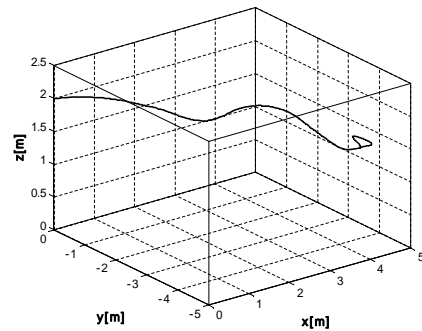


図11 シミュレーション結果(x-y-z座標)
設計した制御系において満足できる誘導制御が行えていることを確認した。

(5)誘導制御実験

同じ制御装置を用いて、実機による誘導実験を行った。その結果を図12と図13に示す。

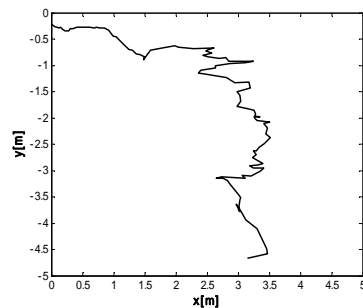


図12 実機移動経路(x-y座標)

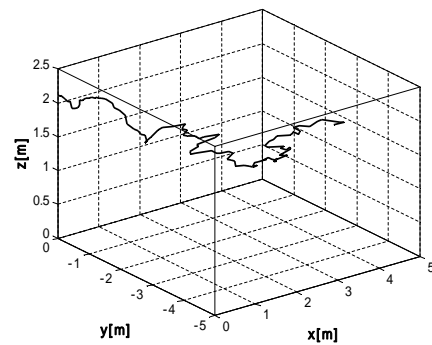


図13 実機移動経路(x-y-z座標)

実機とシミュレータの間にモデル誤差がある状態では、最適な制御系を設計することは困難である。そのため、シミュレータをより実機の動作に近づけ、制御パラメータの調整を正確に行う必要がある。

(6)今後の展望

シミュレータと実機を近づけるため、実機の各動作のデータを細かく取得し、シミュレータ内に調整項を加えていくことを検討する必要がある。また、本研究で作成したシステムにおいては飛行船の3次元位置・姿勢情報を取得、制御出力の決定、飛行船に推力が発生するまでに僅かなむだ時間が存在して

いるため、むだ時間を考慮した制御系の設計も検討する必要がある。

<引用文献>

Sjoerd van der Zwaan : "Vision based station keeping and docking for an aerial blimp", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.614-619, (2000)

竹野 裕介：空力特性を考慮した飛行船システムの制御に関する研究, 首都大学東京修士論文, (2009)

Fukao, T., K. Fuzitani, and T. Kanade: "Image-based Tracking Control of a Blimp", Proc. of 42nd IEEE Conference on Decision and Control, pp. 5414-5419 (2003)

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

[1] Fitri Yakub and Yasuchika Mori, Comparative Study of Autonomous Path Following Vehicle Control via Model Predictive Control and Linear Quadratic Control, Journal of Automobile Engineering, Part D, 査読有, (2015. 1)
DOI: 10.1177/0954407014566031

[2] Fitri Yakub and Yasuchika Mori, Enhancing Path Following Control Performance of Autonomous Ground Vehicle through Coordinated Approach under Disturbance Effect, IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (C), 査読有, Vol. 135, No. 1, 102-110 (2015. 1)
DOI: 10.1541/ieejieiss.135.102

[3] 土井正好, 永本和寿, 森 泰親, 時変系において外乱抑制性を付加した一般化最小分散制御の設計 - 突風を受ける船舶操舵系への適用 -, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 134, No. 9, 1167-1174 (2014. 9)
DOI: 10.1541/ieejieiss.134.1167

[4] 土井正好, 永本和寿, 森 泰親, 船舶の時変操舵応答性に適応する一般化最小分散制御の設計, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 50, No. 3, 203-209 (2014. 3)
DOI: 10.9746/sicetr.50.203

[5] 土井正好, 永本和寿, 出縄憲一, 森 泰親, 荒天時棧橋停泊のための可変ピッチプロペラ操船法の自動化に関する一考察, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 49, No. 3, 336-344 (2013. 3)
DOI: 10.9746/sicetr.49.336

[6] 八塚俊哉, 土井正好, 森 泰親, 多入出

力むだ時間系のための連続時間型一般化最小分散制御による応答特性改善, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 132, No. 10, 1626-1634 (2012. 10)

DOI: 10.1541/ieejieiss.132.1626

[7] 笠原美左和, 白木綾子, 森 泰親, 離散時間スライディングモードオブザーバの新しい構成 - 誤差推定オブザーバによる適用条件緩和 -, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 132, No. 7, 1175-1181 (2012. 7)

DOI: 10.1541/ieejieiss.132.1175

〔学会発表〕(計7件)

[1] Fitri Yakub and Yasuchika Mori, Exploiting the Orthonormal Function based on Model Predictive Control for Automotive Application, AsiaSim & JSST 2014, Kitakyushu International Conference Center (Kitakyushu), 278-290 (2014. 10. 26-31)

[2] Fitri Yakub and Yasuchika Mori, Model Predictive Control based on Kautz Function for Autonomous Ground Vehicle Path Following Control Application, SICE Annual Conference 2014, Hokkaido University (Sapporo), 1035-1040 (2014. 9. 9-12)

[3] Taichi Mizoshiri and Yasuchika Mori, Sliding Mode Control with Ellipsoidal Sliding Surface, SICE Annual Conference 2014, Hokkaido University (Sapporo), Paper ThAT1.3 (2014. 9. 9-12)

[4] 中村俊文, 千葉龍介, 森 泰親, SURFによる位置計測と Fuzzy 制御による飛行船自動制御手法の提案, 精密工学会春季大会, 東京大学(東京都文京区本郷), No. C66, 2014年3月18-20日

[5] Fitri Yakub and Yasuchika Mori, Autonomous Car in Path Following Control under Side Wind Effect by Laguerre Function, IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM 2013), Manila (Philippine), 61-66 (2013. 11. 12-15)

[6] Shihao Lee, Misawa Kasahara and Yasuchika Mori, Roll Damping Control of a Heavy Vehicle under the Strong Crosswind, IFAC Symposium on Advances in Automotive Control (AAC 2013), National Olympics Memorial Youth Center (Tokyo, Shibuya-ku, Yoyogi), 219-224 (2013. 9. 4-7)

[7] 中村俊文, 千葉龍介, 森 泰親, 屋内型飛行船の誘導制御のためのシミュレータ設

計，平成 25 年電気学会全国大会，名古屋大学（愛知県，名古屋市），No. 3-071，2013 年 3 月 20-22 日

〔図書〕（計 3 件）

[1] 森 泰親，演習で学ぶ基礎制御工学 - 新装版 - ，森北出版，pp.168(2014)

ISBN-13: 978-4627918429

[2] 森 泰親，演習で学ぶ現代制御理論 - 新装版 - ，森北出版，pp.192(2014)

ISBN-13: 978-4627917828

[3] 森 泰親，わかりやすい現代制御理論，森北出版，pp.212(2013)

ISBN-13: 978-4627921412

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況（0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/mori-lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 泰親 (MORI Yasuchika)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号： 00210138

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：