

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630074

研究課題名(和文)革新的次世代型自律制御用ミニサーベイヤー飛行シミュレータの開発

研究課題名(英文)Development of Flight Simulator for Next Innovative Autonomous Control Based Mini-surveyor

研究代表者

野波 健蔵 (Nonami, Kenzo)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30143259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究シミュレータは、人のためのシミュレータではなく、無人飛行ロボット自身のためのシミュレータである。これにより自律制御の革新的安全性向上、信頼性向上を実現することである。無人の飛行ロボットは飛行中に不測の事態が発生することは十分に考えられる。この場合、無人飛行ロボット自身が自ら考え、自ら状況を認識して的確な判断を人を介さずに実行することである。ロボット自身が考え判断して行動するという究極の制御アルゴリズムである。本研究は、リアルタイム異常検出と判断、リアルタイム最適軌道計画やリアルタイムの最適自律制御器のオンラインチューニングを行った。

研究成果の概要(英文)：The developed simulator is used for not operator but unmanned flying robot itself. This simulator will induce an innovative safety and reliability of autonomous control system. UAVs probably might have some kind of accidents during flight. In such cases, UAVs themselves should think, recognize, decide and do a suitable action without any operator. Therefore, it is sure that the proposed simulator will be ultimate control algorithms. In this study, real time diagnosis and decision, real time optimal trajectory planning and online tuning of optimal autonomous controller have been performed. Most of them were successful in this study.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：制御機器 シミュレータ

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らが開発したマルチロータ型ヘリコプタ(ミニサーベイヤーと呼んでいる)の挙動をPC上で再現するために、これまで多くのソフトウェア群を開発してきており、ミニサーベイヤーシミュレータが完成している。完成しているミニサーベイヤーシミュレータを世界初の革新的なシミュレータとするために、以下の研究を実施する。

2. 研究の目的

(1)風外乱や気圧、空気密度などの環境モデルを考慮する、(2)実機とモニター間で行われている無線通信と同じデータ形式で、ソルバーとモニターの通信を行うことで、仮想機体を実機と同じ手順で扱うようにする、(3)リアルタイムで入手できる機体のセンサデータを基地局PCで受信し、シミュレータの仮想機体との誤差を算出することで空力的な影響や機体の異常を予測できるため、逆にこの結果から空力モデルをリアルタイムで推定したり異常診断を行う、(4)実機への制御コマンドと同じ制御コマンドをシミュレータへ入力して実機の応答の数ステップ前にソルバーの結果から応答を予測し、制御器をリアルタイムで最適化する。(5)オンボードカメラの視点を取り入れて機体搭載カメラからの映像を見ることができる、これも数ステップ前にカメラ映像を予測することでカメラ視点の最適化を図る、(6)3D表示機能と操縦の入力機能により操縦訓練が可能であることはもちろん、自律制御アルゴリズムの検証を、Google 立体地図と併用することで最適経路計画などのガイダンス&ナビゲーション制御シミュレータを確立する。

3. 研究の方法



図1 3D ソフトウェアによる表示

図1は実際の3D表示ソフトウェアで示されるモニタ画面を表している。ミニサーベイヤーMS-06を忠実に反映している。図1のModelには正確なモータ動特性が考慮された動的モデルが入っているために、モータの微妙な回転数差による影響が正しく反映されるようになっている。特に重要な点として、先にも述べたように革新的次世代型の人工知能型自律制御実現のための仕組みを実装する。具体的には、SIMULINK Simulation Software Modelとして

以下を実装する。(1)6自由度の剛体非線形モデル、(2)6個の計測された特性を有する電動モータモデル、(3)6個の実測値動特性を持つモータドライバーモデル、(4)6個のプロペラの動特性と空力特性、(5)加速度センサ動特性、(6)ジャイロセンサ動特性、(7)磁気方位センサ動特性、(8)IMU姿勢センサダイナミクスまたは姿勢演算アルゴリズム、(9)様々な信号処理用のデジタルフィルタ実装、(10)風外乱モデル実装、(11)気圧・空気密度データ、(12)海拔高度データ、(13)高速移動の場合は空力損失、(14)他に考慮できる動特性などで構成されている。一方、SIMULINK Simulation Software Controllerは(1)実装されている自律制御用コントローラ、(2)コントローラの離散時間サンプル遅れ、(3)組込マイコンの演算時間、(4)マイコンの仕様、(5)AD-DAコンバーター動特性、(6)組み込み系通信方式、(7)姿勢制御ループと速度制御ループおよび位置制御ループのサンプリング周期を実装、(8)他に考慮できるあらゆる情報を閉ループ系に実装する。本研究が目指す次世代型自律制御の究極の制御系を図2に示す。図2のアルゴリズムが飛行中の機体に搭載されていることを想定している。風外乱や環境変化の影響がミニサーベイヤー実機の現在の飛行状態に影響を及ぼす。一方、ミニサーベイヤーシミュレータ(仮想機)からは現在の飛行状態と未来の飛行状態予測が高速コンピュータで得られる。そして、現在の飛行状態の実機と仮想機の違いから現在の空力特性や機体の異常を推定判断可能となる。これに基づきモデルの修正やコントローラの最適化を実行して未来予測を行う。その結果、未来の飛行状態が良ければ目標軌道、制御器の微調整をリアルタイムで実行する。場合によっては機体に異常が発生していることも確定でき、ミッションの継続か帰還モードか、場合によってはミッション中止で、パラシュートを起動させ安全な場所に着陸するという判断もある。これが本研究の提案する革新的自律制御シミュレータの開発である。

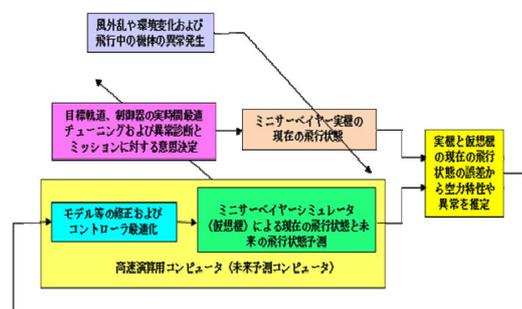


図2 究極の革新的シミュレータを利用した自律制御飛行アルゴリズム

4. 研究成果

本研究では、最終的に図3に示すような革新的な完全自律制御飛行支援シミュレータを構築した。現時点では、地上局のホストコンピュータにこのシミュレータを準備しておき、リアルタイム異常診断、リアルタイム最適軌道計画立案、リアルタイム自律制御器セルフチューニングを実現した。

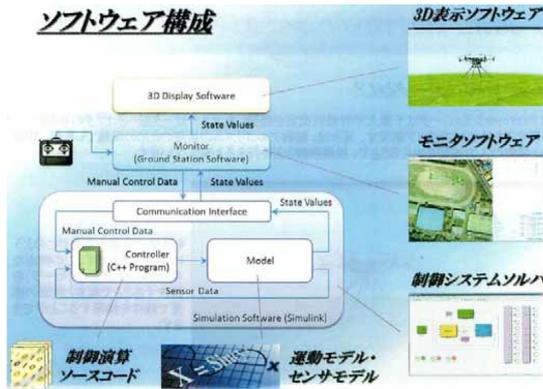


図3 革新的な完全自律制御飛行支援シミュレータの構成

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

M.F.B.Abas, D.Pebrianti, S.Azrad, D.Iwakura, Y.Song, K.Nonami
MAV Circular Leader-Follower Formation, Control Utilizing Mass-Spring-Damper with Centripetal Forces, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.25, No.1, 2013, pp.2751-2765

M.Razali and K.Nonami
Indoor Localization of Flying Robot by Means of Infrared Sensors, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.25, No.1, 2013, pp.416-428

M.F.B.Abas, D.Pebrianti, S.Azrad, D.Iwakura, Y.Song, K.Nonami
Circular Leader-Follower Formation Control of Quad-rotor Aerial Vehicles, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有 Vol.15, No.1, 2013, pp.61-68

〔学会発表〕(計 28 件)

難波織人, 岩倉大輔, 野波健蔵6発ロータ・ミニサーベイヤーによる三次元SLAMを用いた屋内自律飛行の研究

制御に関する研究, 第56回自動制御連合講演会, 平成25年11月16日~17日, 新潟市

根本拓弥, 鮎澤秀夫, 岩倉大輔, 野波健蔵, マルチロータヘリコプタの自動バッテリー交換システム及び自動離着陸, 第56回自動制御連合講演会, 平成25年11月16日~17日, 新潟市

Kenzo Nonami, Advanced Technologies o

f Multi-rotor Helicopters and Mini-surve
yor Consortium, Proceedings of the Int
ernational Conference on Intelligent Un
manned System 2013, 25-27 September, Ja
ipur, India, September 27, 2013, ICIUS2
013, Jaipur, India

Kazuma KITAZAWA, Tatsuya FURUI, Daisu
ke IWAKURA, Kenzo NONAMI, Auto-tuning C
ontrol of Multi-rotor Helicopter for In
dustrial Application, Proceedings of th
e International Conference on Intellige
nt Unmanned System 2013, 25-27 Septem
ber, Jaipur, India, September 27, 2013, I
CIUS2013, Jaipur, India

Hideo AYUSAWA, Takuya NEMOTO, Daisuke
IWAKURA and Kenzo NONAMI, Autonomou
s Battery Exchanging System for Industrial
Multi-rotor Helicopters, Proceedings o
f the International Conference on Intel
ligent Unmanned System 2013, 25-27 Sept
ember, Jaipur, India, September 25, 201
3, ICIUS2013, Jaipur, India

Kenzo Nonami, Technical Issues and Ne
ar Future Dream of UAVs for Industrial
Applications, Proceedings of the Intern
ational Conference on UAV 2013(ERBA2013
, August 23-26, Moscow, August 26, 201
3, ERBA2013, Moscow, Russia

Kenzo Nonami, Overview of UAVs in Jap
an, Proceedings of the International Co
nference on UAV 2013(ERBA2013), Augu
st 23-26, Moscow, August 23, 2013, ERBA20
13, Moscow, Russia

疋田俊平, 岩倉大輔, 野波健蔵, 6発ロー
タヘリコプタの高機動化に関する研究, 運
動と振動の制御(MOVIC)講演会2013, 平成
25年8月23日~27日, 福岡市

宋 昱澤, 岩倉大輔, 野波健蔵, マルチロ
ータヘリコプタのハードウェア設計及びそ
の自律制御, 運動と振動の制御(MOVIC)講
演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

岩倉大輔, 宋昱澤, 北澤一磨, 大熊克明,
野波健蔵, マルチロータヘリコプタのモデ
リングとシミュレータ開発, 運動と振動の
制御(MOVIC)講演会2013, 平成25年8月23日
~27日, 福岡市

楊溢, 野波健蔵, 岩倉大輔, 宋 昱澤, マ
ルチロータヘリコプタの動力系故障診断シ
ステムに関する研究, 運動と振動の制御(M
OVIC)講演会2013, 平成25年8月23日~27日,
福岡市

大熊克明, 岩倉大輔, 野波健蔵, 非平面6
発ロータヘリコプタの自律制御, 運動と振
動の制御(MOVIC)講演会2013, 平成25年8月
23日~27日, 福岡市

根本拓弥, 鮎澤秀夫, 岩倉大輔, 野波健蔵
, 産業応用型マルチロータヘリコプタの自
動バッテリー交換システムの開発, 運動と

振動の制御 (MOVIC) 講演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

難波織人, 岩倉大輔, 野波健蔵, マルチロータヘリコプタによる三次元SLAMを用いた屋内自律飛行の研究, 運動と振動の制御 (MOVIC) 講演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

古井達也, 北澤一磨, 古井達也, 岩倉大輔, 野波健蔵, 産業用マルチロータ型ヘリコプタのオートチューニング制御, 運動と振動の制御 (MOVIC) 講演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

清水史弥, 野波健蔵, 電力貯蔵磁気軸受フライホイール搭載車両のシミュレーター開発, 運動と振動の制御 (MOVIC) 講演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

賀勇, 張増一, 野波健蔵, 電気自動車搭載用電力貯蔵磁気軸受フライホイールの単純適応制御に関する研究, 運動と振動の制御 (MOVIC) 講演会2013, 平成25年8月23日~27日, 福岡市

羽田明博, 野波健蔵, 油圧駆動型6脚ロボット脚部マニピュレータの異構造パイラテラルマスタ・スレーブ制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

胡尊尊, 粕谷賢太郎, 中溝航太, 王光偉, 野波健蔵, 3Dカメラを用いたボールスローリング双腕ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

粕谷賢太郎, 中溝航太, 王光偉, 胡尊尊, 野波健蔵, 双腕マニピュレータハンドを用いた協調的インピーダンス制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

⑳Guangwei Wang, Kouta Nakamizo, Kentaro Kasuya, Zunzun Hu, Kenzo Nonami, A Study of Force Control by Using Dual Arm Robot, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉑根本拓弥, 鮎澤秀夫, 岩倉大輔, 野波健蔵, 小型無人ヘリコプタのヘルスマネジメントシステムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉒難波織人, 岩倉大輔, 野波健蔵, 三次元測域センサ搭載MS-06の屋内自律飛行の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉓大熊克明, 岩倉大輔, 野波健蔵, 非平面6発ロータヘリコプタの構想と設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉔大滝拓郎, 岩倉大輔, 野波健蔵, 小型無人ヘリコプタのGPSを用いないオプティカルフローによる速度制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25

日, つくば市

㉕岩倉大輔, 宋 昱澤, 北澤一磨, 大熊克明, 野波健蔵, マルチロータヘリコプタの飛行シミュレーター開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉖楊溢, 岩倉大輔, 宋 昱澤, 野波健蔵, マルチロータヘリコプタのフェールセーフシステム設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

㉗Yuze Song, Daisuke Iwakura, Wei Wang, Kenzo Nonami, Design and Autonomous Control of 12-Rotor Type Flying Robot, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 平成25年5月22日~25日, つくば市

〔図書〕(計 2 件)

K.Nonami, R.Barai, A.Irawan, M.R.Daud, Springer, Design, Implementation and Control of Hydraulically Actuated Hexapod Robot, 2013, 300

K.Nonami, K.Muljowidodo, K.J.Yoon, Springer, Autonomous Control Systems and Vehicles, 2013, 290

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称: マルチロータヘリコプタのセルフチューニング制御

発明者: 野波健蔵, 岩倉大輔, 北澤一磨

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2013-176168

出願年月日: 平成 25 年 8 月 27 日

国内外の別: 国内

名称: バッテリ自動交換機

発明者: 野波健蔵, 岩倉大輔, 鮎澤秀夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2013-175094

出願年月日: 平成 25 年 8 月 26 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

URL: <http://mec2.tm.chiba-u.jp/~nonami/>

URL: <http://mini-surveyor.com/>

URL: <http://www.acsl.co.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野波 健蔵 (Nonami Kenzo)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30143259

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし