

令和元年6月6日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06185

研究課題名(和文) 構造物点検におけるカメラ・画像操作のみによるマルチコプター操縦システムの開発

研究課題名(英文) Development of operating system of multicopter using only camera and screen operating for structure inspection

研究代表者

佐藤 和也 (Sato, Kazuya)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：30284607

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：橋などの点検においてマルチコプターを用いることが検討されている。しかし操縦者がマルチコプターを直接目視せず操縦する必要があるため、操縦が難しいこと、GPSやコンパスが橋梁下では使えないことから、マルチコプターの自律飛行が困難であることが指摘されている。本研究では橋梁上から吊り下げたカメラ映像をもとに、マルチコプターを自律飛行制御させることを目指し、実験システムを構築し、自律飛行制御が達成可能であることを実証した。また2つのカメラ映像内をまたいだマルチコプターの自律飛行、総重量変化に対応するため適応制御法を適用した自律飛行を実機実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

簡素なカメラ映像により得られるマルチコプターの位置情報のみを用いて、その映像内に写る範囲でマルチコプターの3次元空間での自律飛行制御を実機実験により達成した。また2つのカメラ映像を結合した拡張された空間内でのマルチコプターの3次元空間での自律飛行制御、マルチコプターの総重量が変化しても自動的に良好な飛行制御性能が得られる適応制御法を用いた自律飛行制御法の実機実験により検証した。高価かつ高性能はセンサーなどを用いたマルチコプターの自律飛行制御は国内外で広く散見されるが、簡素なカメラ映像を用いた本研究による成果は実用上、大変意義深い。

研究成果の概要(英文)：It is examined to use the multicopter in the inspection of bridges. However, it is indicated that the autonomous flight of the multicopter is difficult, because it is necessary for the pilot to operate the multicopter without directly seeing it, and because GPS and compass can not be used under the bridge. In this study, with the aim of autonomous flight control of the multicopter based on the camera image suspended from the bridge, an experimental system was constructed, and it was verified that the autonomous flight control could be achieved. And, the autonomous flight of the multicopter which straddles two camera images and the autonomous flight which applied the adaptive control method in order to deal with the gross weight change were verified by the real experiment.

研究分野：制御工学

キーワード：マルチコプター 画像処理 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

無人航空機(UAV)は科学観測、災害探知、交通監視などさまざまな状況での利用が検討され、世界中の多くの機関で研究開発が行われている。UAVが自律飛行するには自身の位置を認識することが重要であり、GPSを用いたもの、レーザーレンジファインダなど様々な機器やセンサーを用いて自己位置を得て飛行させる方法が一般的である。自己位置が正確に得られれば得られるほど、UAVの自律飛行性能は高まるが、多数のセンサーを搭載することにより機体全体の重量が増加し、可搬物の重量制限が厳しくなる、センサー情報が得られなくなると飛行性能が極端に落ちる、などの問題点がある。また、UAVを簡便かつ安価に利用できるようにするためには、できるだけ簡単なセンサーのみで飛行できたほうがよい。

平成26年度から独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の事業として採択された「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」においては、的確にインフラの状態を把握できるモニタリング・維持管理を行うロボット技術開発を目指している。これは通常、橋梁やトンネルなど大規模なインフラ設備の点検には、点検車、リフト車、点検用の足場を組むなど、かなりの手間を必要とし、人的・予算的な制約が大きい。そのため、インフラの維持管理・更新時における財政負担の軽減及び人的・技術不足の解決を目指したプロジェクトである。同プロジェクトにおいて点検などをマルチコプターを用いて行おうと計画しているものが数件ある。しかしながら、橋梁下やトンネル内部ではGPSの受信は難しく、得られても大変精度が低くなりUAVの自律飛行性能は極端に落ちるか、そもそも自律飛行ができない場合もある。そのため、目視によるマルチコプターの操縦、橋梁上から吊り下げたカメラからの映像などをもとに機体を操縦することになる。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、Webカメラのみを用いて実用レベルで利用可能なマルチコプターを自律飛行制御させることである。申請者らは2013年末にWebカメラのみを用いて、HDカメラが搭載可能なマルチコプターを自律飛行させる手法を提案し、実機実験による有効性を検証し、動画を公開した。本手法においては高度センサーを用いず、マルチコプターにはAR(Augmented Reality)マーカーと呼ばれる画像処理のためのマーカーを取り付け、Webカメラを用いてこのマーカーの空間上におけるx, y, z座標を検出している。検出された位置データに基づき、マルチコプターへの適切なエルロン、エレベータ、スロットル入力値を制御則に基づいてパソコンで計算し、ArduinoによりPPM信号(プロポが発生する信号)を生成してマルチコプターへ送信する。この方法によりマルチコプターの自律ホバリング飛行制御、ならびにホバリング状態を保ったままxy平面上の円軌道を自律飛行制御可能であることを示した。本研究では、これまでに提案している手法を拡張し、Webカメラを左右に動かすとマルチコプターも左右に動き、さらにWebカメラで得られる画像をモニタリングしている画面上のフレームの大きさを変えると、マルチコプターが近づいたり遠ざかったりする自律飛行システムを実用化することである。本システムが実現できれば、マルチコプターを直接目視できない場合に、モニター画面を見てカメラを動かす、モニター画面上のフレームを操作するのみで、橋梁下などでより簡単にマルチコプターの操縦が可能となる。実験室レベルでの検証を行った後、屋外での実験、実際の橋梁下などでの実証実験まで行うことを最終目標とする。

3. 研究の方法

実用レベルで利用可能な大型のマルチコプター(enRoute PG390)に置き換え、開発しているシステムを適用して自律飛行制御可能であることを確認する。マルチコプターが大型化することにより、制御則の変更などが必要な場合もあるので検討する。同時にカメラ操作とカメラモニター画面上のフレームの大きさを操作することにより、マルチコプターを左右上下や、カメラに対して奥行方向に関して前後方向にも位置制御できるよう、制御システムを改良する。

4. 研究成果

第1期ではカメラ・画像操作のみによるマルチコプターの操縦システムの開発を行うにあたり、より実用レベルで適用可能となる大型のマルチコプター(enRoute PG390)がエンルート社から貸与された。これまでに研究室内で開発していた小型マルチコプターに対する自律ホバリングシステムをPG390に適用し、同等のホバリング飛行制御が可能であることを確認した。また、第1期の研究計画にあげていた、Webカメラにより撮影された画像内に描いたフレームの大きさを変えることでマルチコプターをカメラから遠ざかったり近づいたりさせる飛行も実現できた。また、屋外における自律ホバリング飛行も同提案システムにより実現可能であること、さらには屋外においてカメラ方向から遠ざかる・近づく飛行も可能であることが実機実験により検証された。研究成果を広く紹介するため、国際ドローン展、東京エアロスペースシンポジウム、国際ロボット展、ジャパンドローン展にてビデオ映像を用いて実験動画を紹介した。また研究成果が2015年11月13日の日刊工業新聞(第7面)にて、2016年3月30日はMONOist(Web媒体)にて紹介されるなど、注目を集めた。展示会発表を行うことで、高速道路管理会社や建設業からも技術的な問い合わせを受け、高速道路管理会社では本システムを用いた実証実験を実施した。第2期ではカメラ・画像操作のみによるマルチコプターの操縦システムの開発にあたり、屋外における自律ホバリング飛行と、カメラ方向から遠ざかる・近づく飛行実験を進めた。また、飛

行システムのロバスト性を高めるため、使用する PC を ROS (Robot Operating System) に変更し、実験を行なった。さらに橋梁下ではコンパスも使用できないことが多いため、マルチコプターの Yaw 角についても 3 つのマーカを認識することで 1 つのカメラのみを用いて制御可能であることが実機実験により検証された。また複数カメラの画像内をまたいでマルチコプターが飛行できるシステムの開発を目指し、基礎研究を進めた。さらに第 2 回国際ドローン展、第 1 回ロボテックス、Japan Drone 2017 にてビデオ映像を用いて実験動画を公開した。また研究内容の紹介が「ドローンタイムス」(Web 媒体)にて 2 回ほど紹介されるなど、注目を集めた。

第 3 期では引き続き、カメラ・画像操作のみによるマルチコプターの自律飛行制御システムの開発にあたった。第 3 期では 4 軸の制御を行いつつ、カメラに対して奥行き方向に自律的に飛行できるように制御実験を進めた。さらに橋梁下点検での活用を意識し、2 つのカメラを橋梁上から吊り下げ、その 2 つの映像を 1 つの座標系に統合し、2 つのカメラ映像内をマルチコプターがまたいで自律飛行させることを想定し、それを実現する制御システムを構築し、小型マルチコプターを用いて実機実験を行い、提案手法の有効性を検証した。またマルチコプターに搭載したカメラ映像により注目する物体を機械学習により認識し、注目物体の真上を自律的にホバリング飛行制御できるシステムを構築し、実機実験により有効性を検証した。さらに研究成果を広く紹介するため、Facebook の研究室ページ、Youtube の研究室チャンネル、Japan Drone 2018 にてビデオ映像を用いて実験動画を公開した。

第 4 期では引き続き、カメラ・画像操作のみによるマルチコプターの自律飛行制御システムの開発にあたった。第 3 期では 4 軸の制御を行いつつ、カメラに対して奥行き方向に自律的に飛行できるように制御実験を進めた。しかしながら、マルチコプターに取り付けたマーカを認識率の低さが問題となった。第 4 期では機械学習を用いてマルチコプターを認識し、認識した際に画面上に描かれるマルチコプターを囲むボックスの大きさと 1 つのマーカのみから Yaw 角を算出し、4 軸自律飛行制御が達成可能であることを確認した。さらに第 3 期で確立した 2 つのカメラ映像内をマルチコプターがまたいで自律飛行させる手法を用い、マルチコプターが様々なセンサーを搭載する際に総重量が異なることを見込んで、高さ方向の制御に適応制御法を適用し、2 つのカメラ映像内の 3 次元空間内を自律飛行できることを実機実験により確認した。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

T. Yamashiro and K. Sato: Autonomous Flight Control of Multi-Copter with Four-Axis and Depth Direction Control Using Only External USB Camera, Procs. of SICE Annual Conference 2018, 査読有, ThC07.3, 2018

K. Hidaka and K. Sato: Autonomous Flight Control of Small UAV Based on the Multiple-Camera Image Coupling, Procs. of SICE Annual Conference 2018, 査読有, ThC07.2, 2018.

T. Yamashiro and K. Sato: Autonomous Four-Axis Flight Control of Multi-Copter without using GPS and Compass, Procs. of International Conference on Information and Communication Technology Robotics ICT-ROBOT 2018, 査読有, FA2.2, 2018.

K. Hidaka and K. Sato: Autonomous Flight Control of small UAV within the view area based on multi-camera coupling, Procs. of International Conference on Information and Communication Technology Robotics ICT-ROBOT 2018, 査読有, FA2.1, 2018

T. Yamashiro and K. Sato: Autonomous Four-Axis Flight Control of Multi-Copter using only External USB Camera, Procs. International Conference on ICT-Robotics 2017, 査読有, 104C4, 2017.

K. Sato, T. Kasahara, and T. Izu: A Simple Autonomous Flight Control Method of Quadrotor Helicopter using only single Web Camera, Procs. of 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems ICUAS '16, 査読有, pp. 671-678, 2016

K. Sato and R. Daikoku: A Simple Autonomous Flight Control of Multicopter Using Only Web Camera, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 28, No. 3, pp. 286-294, 2016

K. Sato, T. Kasahara, J. Kuroda, and T. Izu: A Simple Autonomous Hovering and Operating Control of Multicopter Using Only Web Camera, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 査読有, Vol. 9, No. 5, pp. 835-840, 2015

[学会発表](計 10 件)

日高賢太, 佐藤和也: 複数台カメラ映像結合空間内での小型 UAV の適応飛行制御, 第 37 回計測自動制御学会九州支部学術講演会資料, 102A2, 2018

日高賢太, 佐藤和也: 複数台カメラ映像結合に基づく小型 UAV の適応飛行制御, 第 61 回自動制御連合講演会, 13B3, 2018

日高賢太, 佐藤和也: 複数のカメラ映像結合での小型 UAV の自立飛行制御(3 次元空間内の任意位置飛行), 日本機械学会九州支部北九州講演会講演論文集, pp. 71-75, 2018

日高賢太, 吉岡健太, 佐藤和也: 複数台カメラ映像結合による小型 UAV の自律飛行制御, 第 36 回計測自動制御学会九州支部学術講演会資料, 105A20, 2017
吉岡健太, 佐藤和也: 複数台カメラ映像結合によるロボット群のフォーメーション制御, 第 36 回計測自動制御学会九州支部学術講演会資料, 105A17, 2017
藤原颯馬, 日高賢太, 佐藤和也: 機械学習による物体認識に基づいた小型 UAV の自律飛行制御, 第 36 回計測自動制御学会九州支部学術講演会資料, 202A3, 2017
日高賢太, 吉岡健太, 佐藤和也: 複数台カメラ映像結合による小型 UAV の自律飛行制御, 第 60 回自動制御連合講演会, SuC1-3, 2017
藤原颯馬, 佐藤和也: ROS を用いたクアッドローターコプターの自律飛行制御, 第 35 回計測自動制御学会九州支部学術講演会資料, 203B3, 2016
笠原暢, 佐藤和也: Web カメラを用いたマルチコプターの自律飛行制御, 第 58 回自動制御連合講演会, 2H2-3, 2015
佐藤和也, 笠原暢, 大黒隆一郎, 伊豆智幸: 橋梁下点検を目指したマルチコプターの自律飛行制御方法の提案, 2015 年度計測自動制御学会産業応用部門大会, pp. 22-26, 2015

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名: