

飛行ロボットに搭載したハンドの視覚フィードバック制御

○島原 祥平（立命館大学） ラディック ロバート（立命館大学）
平井 慎一（立命館大学） 下ノ村 和弘（立命館大学）

1. はじめに

マルチローター方式のヘリコプターをベースにした飛行ロボットは、3次元空間を移動できるプラットフォームとして、近年、急速に用途が拡大している（最近の動向を幅広く概観した記事として例えば [1]）。空撮や物資の運搬、建造物の検査など、周囲の環境との接触を伴わない利用方法のみならず、機体にロボットアームやロボットハンドを搭載することで、飛行しながら周囲の環境に置かれた物体に物理的に接触して操作を実現しようとする研究の報告もある [2, 3]。今までに報告されている多くの飛行ロボットは、(1) 機体の下方を作業域として想定しているため、また、(2) 機体の姿勢の安定を保つことが比較的容易であることから、搭載される機器（空撮のためのカメラや物体操作のためのロボットアーム）は機体の下部に取り付けられた構成となっている。しかしながら、高所での作業の中には、例えば、トンネルや屋内の天井、橋梁の裏側に対する撮影や操作のように、機体上方を作業域としたい場合も多い。そこで我々は、クアッドローターの機体の上部にロボットハンドを搭載した小型飛行ロボットを開発し、機体上方の対象物を把持できることを実験により確認している [4]。この飛行ロボットにより対象物を把持するためには、飛行中に数 cm の精度で位置決めをする必要があり、これを機体のリモート操作により行うことは操作者の大きな負担となる。

本研究では、搭載したハンドを開閉方向に並進移動できる機構を追加し、これを機体に搭載したビジョンシステムを用いて自動制御することにより、飛行中の把持動作のためのハンド位置決めをサポートするシステムを開発した。実験を通して、本システムの効果を検証する。



図1 飛行ロボット

2. 飛行ロボットの構成

2.1 クアッドローターベース

製作した飛行ロボットの外観を図1に示す。4つの回転翼をもつクアッドローターの機体の上部に、ロボットハンドとカメラを上向きに搭載している。機体のベースとして、DIY Drones社のArducopterキット [5, 6] を用いた。フライトコントローラとして、Ardupilot Mega CPU board (APM) を用いた。機体の操作はリモートで行い、送信機/受信機としてそれぞれ FutabaT8J, Futaba R2008SB を用いた。

2.2 ハンド

ロボットハンドは、図2に示すように、ハンド開閉一自由度とハンドスライダ一自由度で構成される。システム構成を図3に示す。ハンドの開閉部はバタフライ対照揺動とスライダクランクをあわせた機構を用いることで複数のリンクを協調動作させることができる機構になっている。ハンドの開閉動作はサーボモータ (ASS-780GM) ひとつで行っており、サーボモータの回転角度制御にはラジコンプロポの信号受信器を利用する。使用したサーボモータのトルクは 16.1 [Kg/cm] (電源電圧 6[V] 時) であり、ハンドで棒にぶら下がった状態で機体の重量 (1770[g]) を支えるのに十分な把持力を発生できるように選定した。ハンドの最大開口幅は 50[mm] とした。

ハンドのスライダ部は、ビジョンの情報に基づいて、把持対象物の位置に合わせて並行移動する。ハンド開閉部と後述のカメラは、スライダ部の上に取り付けられている。スライダ部に使用したサーボモータ (RS405CB) のトルクは 48.0 [Kg/cm] (電源電圧 11.1[V] 時) でロボットハンドの状態によらずスライダ部が駆動するのに十分であるよう選定した。スライダ部の可動域は、中心位置から左右にそれぞれ 50[mm]、最大で 100[mm] とした。なおロボットハンド全体の構成要素は、ABS樹脂を用いて 3D プリンタで製作した。

2.3 ビジョンシステム

カメラは、機体上方の把持対象物を撮影できるように図2に示すように、上向きにハンドの開閉部の中心軸に合わせてハンドスライダ部に取り付けた。使用したカメラの画角はおよそ 120[deg] で、搭載するイメージセンサ (OmniVision OV7725) のフレームレートは 30[fps]、画素数は 640×480[pixels] である。

カメラ画像は、機体下部に搭載された Field-Programmable Gate Array (FPGA) に送られ、把持対象物の検出および位置計測のための画像処理が行われる。本稿で報告する実験においては、把持対象物を棒とし、対象物の色は背景よりも暗いものと仮定して、輝度値に対する二値化処理により棒を検出した。続く

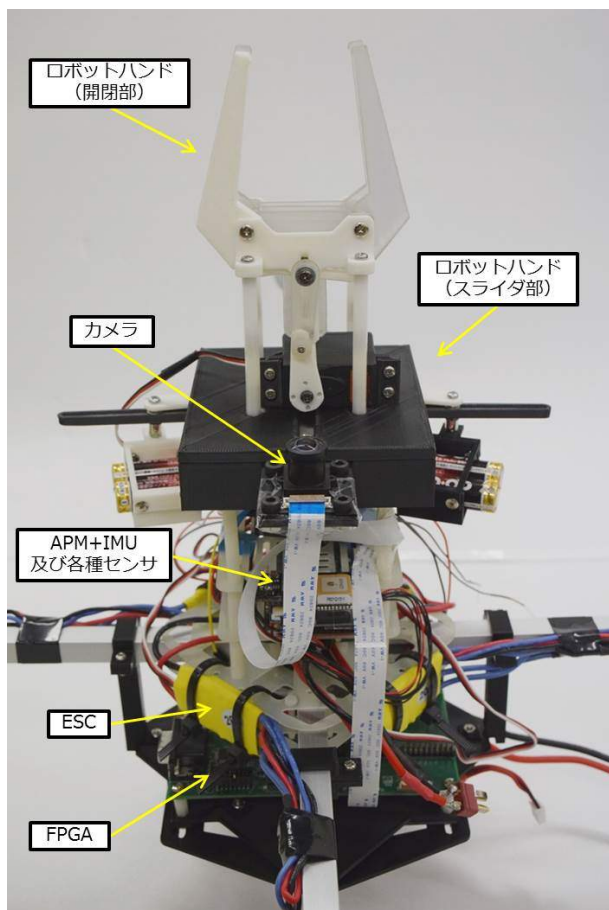


図2 ロボットハンド

表1 ロボットの仕様.

全長	850 [mm]
高さ	420 [mm]
重量	1770 [g]
ハンドのサイズ (縦 × 横 × 高さ)	155 [mm] × 100 [mm] × 170 [mm]
ハンドの重さ	220 [g]
スライダ可動域	100 [mm]

て、画像 x 方向についての重心を計算することで、棒の位置とした。

前述のように、カメラはハンド開閉部の中心と画像中心の x 座標が合うように取り付けられているため、棒の位置が画像中心（目標位置）に来るようにハンドスライダ部を移動させる。目標位置から離れている場合は一定速度で高速に移動し、目標位置付近では誤差に比例した速度で移動するようにサーボモータを制御した。システムのブロック図を図3に示す。

3. 実験

地面から高さおよそ 1.5[m] の位置に直径 3[cm] の棒を設置し、リモートによるマニュアル操作で飛行させながら、機体に搭載したハンドの開閉部を用いて棒の把持をした。その際、ハンドのスライダ部を用いたハンド位置決め動作をビジョンによる自動制御で行った。また棒を把持した後、クアッドローターのローターを停止させ、その後再度ローターを回転し、棒の把持を解除し、再飛行させる実験を行った。実験の様子を図

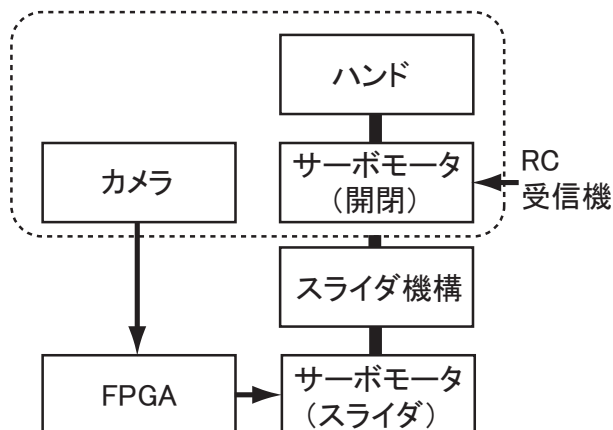


図3 システムの構成

4に示す。飛行ロボットが地面から空中に設置された棒に向かって上昇し、ハンド開口部に棒が入ると同時にハンドを閉じることで、棒を把持することができる。また機体が棒に近づいていく過程で、機体と棒の位置のずれを吸収するようにハンドのスライダ部が移動し、ハンド開閉部が常に棒を自動で追従していることが図4からわかる。

機体に搭載したカメラから取得した画像を図6に示す。把持対象物として検出された領域が赤色で示されている。その領域の重心を計算し（緑色の十字）、その x 座標を対象物の位置とした。対象物位置にハンド開口位置が合うように、ハンドスライダ部が移動しているため、画像上で棒の位置は常にほぼ中央に見える。画像上部にはハンド開閉部も映っており、機体上昇して棒に近づき、最終的に把持している様子がわかる。

図7に、検出された棒の重心位置 (x 座標) の時間変化を示す。横軸は 30 フレーム毎秒でのフレーム数である。0 から 400 フレーム手前まで、棒の位置がほぼ画面中央に保たれていることがわかる。450 フレームのあたりで大きく棒の位置が大きく変化しているが、ハンドが棒を把持したタイミングに相当する。

実験を通して、製作した飛行ロボットにおいて下記が可能であることが確認できた。

- ロボットハンド（開閉部およびスライダ部を含む）を上部に搭載した機体で安定して飛行できる
- 飛行しながら、カメラから取得した画像上での対象物の位置に合わせてロボットハンドの位置を自動制御できる
- 飛行しながらロボットハンドにより空中に設置された棒を把持できる
- 棒を把持した状態でローターの回転を停止させても把持状態を維持できる
- 再びローターを回転させ、ハンドを開いて棒を離し、飛行を開始できる

対象物の位置に合わせてロボットハンドの位置決めが自動的に行われることにより、棒を把持するための操作者の負担が軽減した。

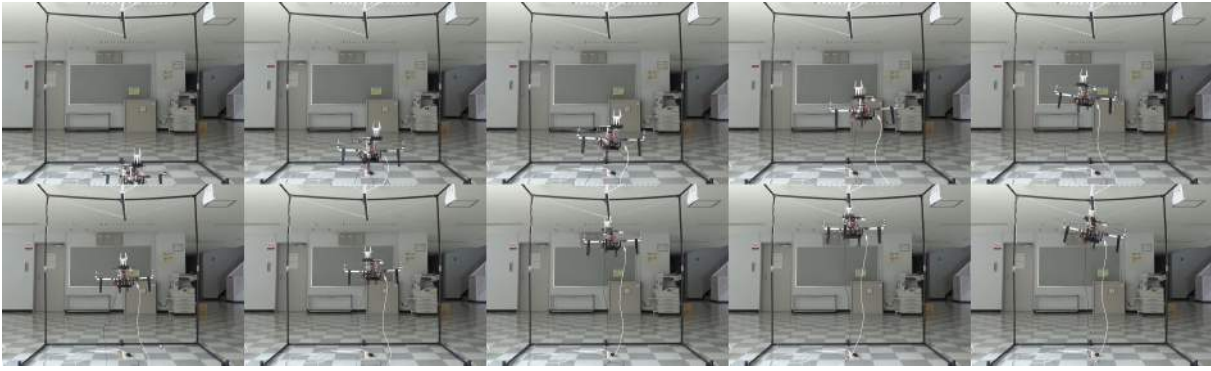


図4 実験の様子

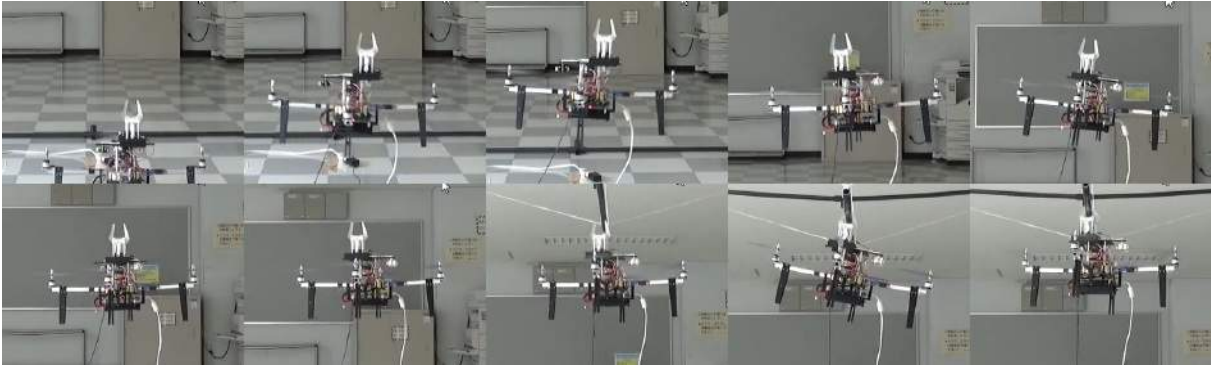


図5 機体の拡大画像

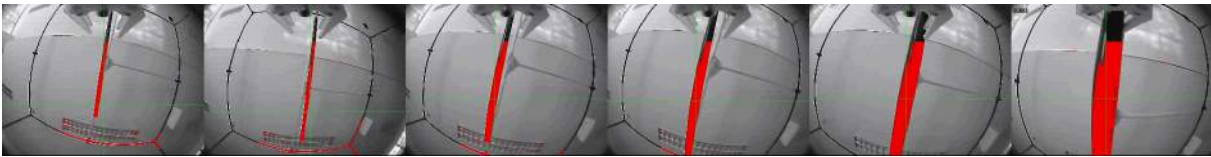


図6 搭載したカメラ画像

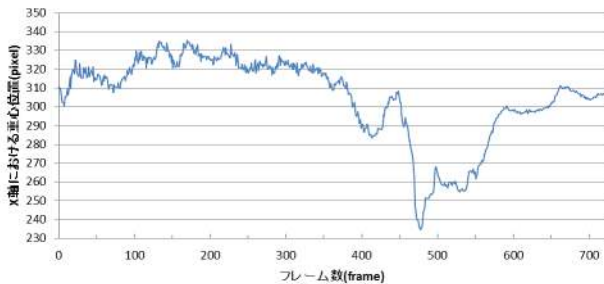


図7 x 軸における重心位置の時間変化

4. まとめと今後の課題

本研究では、クアッドローターの機体上部に開閉部一自由度とスライダ部一自由度、計二自由度のロボットハンドを搭載した小型飛行ロボットを製作した。実験により、機体の上方に設置した棒を、よりスムーズに把持できることを確認した。

機体に搭載したハンドの移動機構により空中把持操作のサポートを実現するというコンセプトの有効性を確認するために、今回はハンド位置決めのための移動を並進一自由度のみとしたが、今後の課題として、回

転および並進自由度をさらに追加することで、棒に対する機体の回転の補正や、棒以外の対象物の把持を行う際の位置決めをサポートを実現したい。

参考文献

- [1] 日経エレクトロニクス (特集: ロボット空を飛ぶ), 2014年3月3日号, pp.29-47, (2014)
- [2] C.M.Korpela, T.W.Danko, P.Y.Oh, "MM-UAV: Mobile manipulating unmanned aerial vehicle," Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol.65, pp.93-101, (2012)
- [3] F.Huber, K.Kondak, K.Krieger, D.Sommer, M.Schwarzbach, M.Laiacker, I.Hossyk, S.Parusel, S.Haddadin, A.AlbuSchaffer, "First analysis and experiments in aerial manipulation using fully actuated redundant robot arm," Proc. of IROS2013, pp.3452-3457, (2013).
- [4] 島原祥平, 立石大貴, Robert Ladig, 平井慎一, 下ノ村和弘, "機体上方を作業域とするハンド搭載小型飛行ロボット," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 予稿集, (2014).
- [5] ArduCopter - The Full-Featured Multicopter UAV, <http://code.google.com/p/arducopter/>
- [6] H.Lim, J.Park, D.Lee, H.J.Kim, "Build your own quadrotor," IEEE Robotics and Automation Magazine, vol.19, issue.3, pp.33-45, (2012)