

ハンド搭載小型飛行ロボットのための自動把持システムの検討

Automatic grasping control for robotic hand mounted on the top of the airframe

○ 島原 祥平 (立命館大)
Leewiwatwong SUPHACHART (立命館大)

和田 真幸 (立命館大) Robert LADIG (立命館大)
平井 慎一 (立命館大) 下ノ村 和弘 (立命館大)

Syohei SHIMAHARA, Ritsumeikan University
Robert LADIG, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

Masayuki WADA, Ritsumeikan University
Leewiwatwong SUPHACHART, Ritsumeikan University
Kazuhiro SHIMONOMURA, Ritsumeikan University

We describe a vision-based automated control system of grasping for a robotic hand mounted on the top of the multi-copter airframe, developed for an upward directed aerial manipulation. In this system, position and orientation of the bar-like object are measured and the object in the hand is detected through the monocular camera image and the FPGA-based on-board processing. By combining these functions, positioning and grasping in aerial manipulation can be automatically performed.

Key Words: Multi-copter, aerial manipulation, vision-based control, grasping control

1 はじめに

マルチローター方式のヘリコプターの機体に、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“空中マニピュレーション”の研究が行われている(例えば[1]など)。先行研究の多くでは、機体の下方を作業域として、機体の下部にロボットアームやハンドを取り付けている。

一方、我々の研究グループでは、トンネルの天井や橋梁の裏側の点検作業のように、機体上方が作業域となる高所作業を想定して、マルチコプ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てきた。実験により、機体上方に設置した棒状の対象物を飛行しながら把持できること、また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ことを確認した[2]。さらに、空中での正確なハンド位置決めのために、ロボット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、機体をリモート操作するオペレータの負担を軽減するシステムを開発している。この飛行ロボットでは、機体に搭載された単眼カメラとFPGAにより、機体上方の棒状の把持対象物に対してその位置を計測し、自動的にハンド位置決めを行うことができた[3]。

本研究では、把持対象物に対してハンド位置だけでなくその姿勢も制御し、さらに把持動作も自動的に実行できる自動把持システムの構築を目的として、機体に搭載された単眼カメラとFPGAにより、棒状対象物の位置計測に加えて、方位の計測、およびハンド内側の対象物を検出することで自動的に把持動作を開始する機能を追加した。

2 システム構成

ハンド搭載飛行ロボットの写真をFig.1に示す[3]。クアッドローターのベースの上部に、ハンドモジュールを搭載している。フライトコントローラとしてArdupilot Mega[4]を用いた。機体の操作



Fig.1 Picture of the aerial robot with upward directed hand and camera.

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。

ハンドモジュールは、グリップ部とスライダ部から構成されている。グリップ部は、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た開閉1自由度のものである。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、並進1自由度をもつ。可動域は、中心位置から左右にそれぞれ50[mm]とした。グリップ部開閉動作およびスライダ部並進動作には、サーボモータ(それぞれ ASS-780GM, RS405CB)を用いた。

ハンドの隣に上向きにカメラ(画角120°; フレームレート30[fps], 画素数640×480[pixels])を搭載し、機体上方の作業域を撮影できる。この画像は機体下部に搭載されたFPGAに送られ、次章の画像処理により、対象物の位置・方位計測、ハンド内の物体検出が行われる。

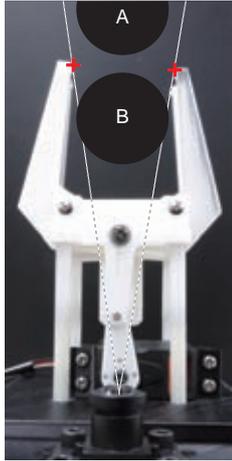


Fig.2 Object detection based on an overlapping detection.

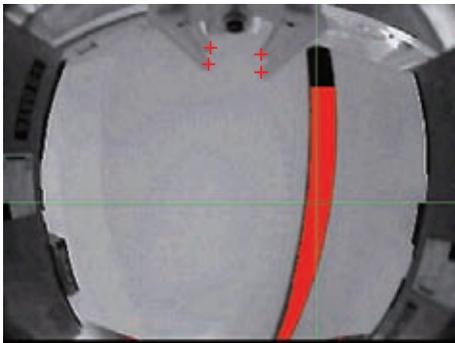


Fig.3 Monocular camera image.

3 対象物の位置、方位計測とハンド内の物体検出

棒状対象物の位置は、対象物領域を抽出した二値画像において、x方向重心により求めた [3]。また、対象物の方位は、慣性主軸の向きを計算することにより求めた。これらの画像計測と同じ単眼カメラ画像を用いて、ハンド内の物体検出を行うために、ハンド先端部と対象物との重なりを検出する方法を用いた。Fig.2に、単眼カメラ画像によりハンド内の対象物を検出する原理を示す。図中 A のように、対象物がハンドの外にある場合には、カメラからハンド先端部（図中、赤い十字）は見える。ところが、B のように対象物がハンド内に入ると、ハンド先端部は対象物により遮られ、画像上で見えなくなる。このような幾何学的関係に基づいて、カメラ画像上のハンド先端部に対応する点（Fig.3の赤い十字）の輝度値が対象物の重なりにより変化することを検出し、ハンド内の対象物の有無を判別した。ハンドに対してカメラは固定であるため、ハンド先端部に対応する画像上の点は予め知ることができる。

4 実験

前章の画像処理を FPGA (Xilinx Spartan6 XC6SLX45) に実装した。また、対象物 x 方向重心に基づくスライダ部の位置決め制御 [3]、およびハンド内の物体検出に基づくグリップ部の把持動作開始の機能を実装した。いずれの画像処理も、FPGA の利

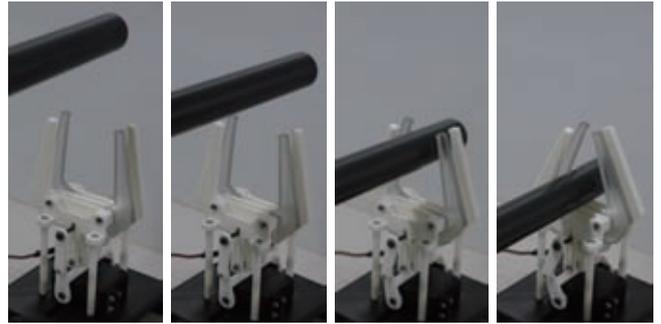


Fig.4 Experimental result of automated grasping.

用によりカメラ画像と同じフレームレート (30[fps]) で、ほとんど遅延なく実行できた。

Fig.4 に、ハンド内の対象物が検出された場合にグリップ部を閉じる機能の実験の様子を示す。棒状の対象物をハンド上方から近づけていき（図中左から 1,2 番目）、対象物がハンド内に入る（図中左から 3 番目）と、グリップ部は自動的に閉じた。対象物の位置や姿勢を少しずつ変えながら繰り返し動作検証を行ったが、100 回の試行に対して 100% 正常に動作した。また、カメラ画像のゲイン調整により、周囲の明るさが 10[lux] から数百 [lux] まで変化しても安定して動作した。

5 まとめと今後の課題

本研究では、機体上方を作業域とするハンド搭載小型飛行ロボットのための自動把持システムの検討を行った。オンボードのビジョンシステムにより、機体上方の棒状の対象物に対して、位置、方位を計測し、ハンド内物体の検出により自動的に把持開始の判定を行った。実験により、対象物位置計測に基づくハンド位置決め（スライダ部制御）、およびハンド内物体検出に基づく把持開始が自動的に実行できることを確認した。

今後の課題として、(1) 対象物の方位計測に基づくハンド姿勢制御（このために、機体の yaw 回転動作を利用することを検討している）、(2) 位置、姿勢制御および自動把持開始の複合動作の飛行しながらの実証実験、が挙げられる。

提案した自動把持システムは、人間のオペレータによる手動リモート操作で作業領域近傍まで接近した後、対象物の近接領域での正確な位置姿勢決めを利用することを想定している。このため、オペレータによる手動リモート操作と自動制御をどのように切り替え/協調させると作業効率が向上するのか、その方法の検討も必要である。

References

- [1] D.Mellinger, Q.Lindsey, M.Shomin and V.Kumar, "Design, modeling, estimation and control for aerial grasping and manipulation," Proc. of ICRA2011, pp.2668-2673, (2011).
- [2] 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 講演論文集, (2014).
- [3] 島原祥平, Robert Ladig, 平井慎一, 下ノ村和弘, "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," 第 32 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2014).
- [4] ArduCopter - Multicopter UAV, <http://copter.ardupilot.com/>