

ジェスチャによる小型飛行ロボットの制御

Gesture-Controlled Unmanned Aerial Vehicle

小 渡 悟

Satoru ODO

【要旨】

本研究ではジェスチャによる小型飛行ロボット制御システムについて報告する。試作システムとしてユーザの上半身の動きからジェスチャ識別を行い、その結果をもとに飛行制御を行うシステムを構築した。搭載カメラからの映像をヘッドマウントディスプレイに提示し、小型飛行ロボットからの視点を得ることで没入感を得ることができたが、周辺情報の確認が困難という問題点が確認された。そこで、提案システムではユーザ前方の透明スクリーンに小型飛行ロボットの視点映像を提示することで小型飛行ロボットの視点と周辺情報を同時に確認することを可能にした。また、小型飛行ロボットの視点映像にあらかじめ注意を払う必要がある物体を矩形枠で囲み注意を促す機能を組み込んだ。さらにユーザの手指の小さな動きで飛行制御を行えるようにした。これより、ユーザの直感的操作で小型飛行ロボットが制御を行えることを確認した。

【目次】

1. はじめに
2. 制御対象
3. 試作システム
4. 提案システム
5. まとめと今後の課題

1. はじめに

近年、インターネットとロボットサービスの融合が進んだことで、監視、ガイドなど多岐にわたってシステムが提案されている。マイクロプロセッサやGPS、慣性センサなどの小型化・高性能化により小型の無人飛行ロボット（以下、UAV : Unmanned Aerial Vehicle）が可能となったことで、航空測量の自動化、災害時の危機管理・監視などの用途において盛んに研究が進められている。UAVの制御方法としてビジョンベースによる制御が注目されており、UAVに搭載したカメラを用いて自己位置推定・

姿勢推定を行い自律飛行制御を行う研究が行われている⁽¹⁻³⁾。また、カメラを外界の計測・認識として地物計測⁽⁴⁾、海難救助や被害観測における搜索支援としてカメラ映像からのターゲットの識別と追跡を行う研究⁽⁵⁾も行われている。

ユーザによるジェスチャによるUAVの操作に関しても盛んに研究が行われている。ユーザと飛行ロボットのインタラクションに注目したジェスチャ操作による制御に関する研究^(6,7)、飛行ロボットをユーザの手や視点の拡張として捉えてユーザの自然な動きで制御を行う研究^(8,9)、また、ユー

ザをサポートするという点から自律制御とユーザの操作を組み合わせた研究^(10,11)が提案されている。

本研究ではユーザの操作性向上に着目し、ユーザのジェスチャ操作により UAV を操作するシステムを構築した。試作システム⁽⁹⁾では、ユーザの上半身の動きからジェスチャ識別を行い、その結果をもとに飛行制御を行うシステムを構築した。提案システムでは、試作システムの実証実験の結果をもとにジェスチャ操作はユーザの手指の小さな動きで飛行制御を行える機能を実装した⁽¹¹⁾。また、UAV の視点映像と周辺情報を同時に視認できるようにするとともに注意を払う必要がある物体を矩形枠で囲み注意を促す機能を実装した。これより、ユーザの直感的な操作で UAV の制御が行える環境を提供した。

第 2 章にて制御対象とした UAV について解説する。第 3 章にて試作システムとして深度センサによるジェスチャ認識システムについて報告する。第 4 章にて提案システムについて述べる。第 5 章にてまとめと今後の課題について述べる。

2. 制御対象

制御対象として小型 UAV のパロット社製 AR.Drone シリーズを使用した。試作システムでは AR.Drone (2010 年発売)、提案システムでは AR.Drone 2.0 (2012 年発売) を使用した。Wi-Fi 通信でコントロール可能な四翼ヘリコプタであり、本体の姿勢を計測するためのジャイロセンサ、加速度センサ、超音波センサ、映像カメラとしてフロントカメラ、ボトムカメラを備えている。本研究で使用する

表 1 UAV (AR.Drone と AR.Drone 2.0) の仕様^(12,13)

	AR. Drone	AR. Drone 2.0
メーカー	Parrot	
発売日	2010 年	2012 年
サイズ	屋内ハル装着時 52.5 × 51.5 cm 屋外ハル装着時 45.0 × 29.0 cm	屋内ハル装着時 51.5 × 51.5 cm 屋外ハル装着時 45.2 × 45.2 cm
重さ	ハル未装着時 : 380g, ハル装着時 : 420g	ハル未装着時 : 366g, ハル装着時 (屋内用 436g 屋外用 400g)
飛行速度	時速 18km	
飛行時間	12 分	
フロントカメラ	93° 広角レンズ CMOS センサ, 15 fps, VGA (640 × 480)	90° 広角レンズ CMOS センサ, 30 fps, 720p (1280 × 720)
ボトムカメラ	64° CMS センサ, 60 fps, QCIF (176 × 144)	64° CMOS センサ, 60 fps, QVGA (320 × 240)
組込システム	Parrot P6 with ARM926 core (468 MHz), DDR メモリ 128MB, フラッシュメモリ 128MB	ARM Cortex-A8 (1GHz), DDR メモリ 128MB, フラッシュメモリ 128MB
無線	Wi-Fi b/g	Wi-Fi g/n
高度計	超音波型高度計 計測範囲 6m (40kHz)	超音波型高度計 計測範囲 6m (40kHz), 気圧計
飛行センサ	3 軸加速度センサー, 2 軸 (XY) ジャイロスコープ 1 軸 (Z) 精密ジャイロスコープ	3 軸加速度センサー, 3 軸ジャイロスコープ

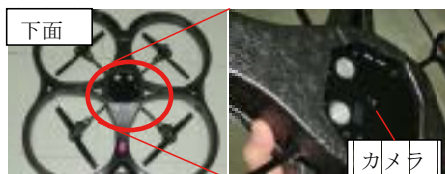
UAVの仕様を表1に、UAVの外観を図1に示す。使用したUAVは進行方向を撮影するフロントカメラ、UAV直下を撮影するボトムカメラが搭載されている。図2に例としてAR.Droneのカメラ位置を示す。



図1 UAV (AR.DroneとAR.Drone 2.0) 外観 (a)AR.Drone (屋内用ハル装着), (b)AR.Drone 2.0 (屋内用ハル装着), (c)AR.Drone [写真左]とAR.Drone 2.0 [写真右] (屋外用ハル装着), (d)屋外用ハル [写真左]と屋内用ハル [写真右]



(a) フロントカメラ



(b) ボトムカメラ

図2 UAV (AR.Drone) のカメラ位置 (a) 本体上面とフロントカメラ, (b) 本体底面とボトムカメラ

3. 試作システム

3.1 システム概要

試作システムの外観を図3に示す。試作システムではRGB-Dカメラとしてマイクロソフト社製Xbox 360 Kinectセンサーを用いた。RGB-Dカメラの深度情報をもとにジェスチャを認識し、その情報をもとにしてUAV (AR.Drone) を制御する。Kinectセンサーの計測距離は0.8mから4m, 計測領域は上下43度, 左右57度, 仰角-27度から27度である。UAVに設置されたカメラからの映像をユーザが装着したヘッドマウントディスプレイ (以下, HMD) に提示することにより, ユーザはUAVのコクピットにいるような直感的な操作で制御が行える環境を提供する。

UAVとPCとのデータのやり取りはアドホックモードで接続した無線LANを経由して行う。HMDとしてビュージックス社のWrap 1200を使用した。解像度はWVGA (852 × 480), 水平視野角35度あり, 6軸ヘッドトラックを備えている。UAVからの映像はPCを経由して提示される。また, ユーザの頭部の動きはHMD内にある6軸ヘッドトラックにより, 正面方向をx軸, 水平方向をy軸, 垂直方向をz軸とし, それぞれの軸の回転角をロール角, ピッチ角, ヨー角として計測される。図4にHMDと6軸ヘッドトラックの位置を示す。

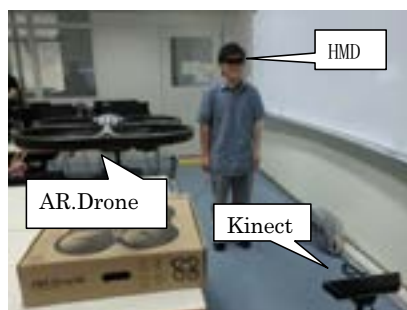


図3 試作システムの外観



図4 Wrap 1200の外観と6軸ヘッドトラッカ

3.2 制御方法

ユーザのジェスチャを認識するためのRGB-Dカメラとしてマイクロソフト社のKinectを使用した。KinectはRGB情報、深度情報をリアルタイム計測が可能で、深度情報をもとにユーザの骨格情報を算出することができる。得られた骨格情報をもとに両肩の位置を基準として、左右の手の位置によりジェスチャの認識を行う。図5にUAVの移動指示のジェスチャ操作を示す。図5以外のジェスチャの場合、そのままホバリングを行う。また、6軸ヘッドトラッカの情報をもとにその場での左右旋回はz軸の回転角(ヨー角)、フロントカメラ、ボトムカメラの切り替えはy軸の回転角(ピッチ角)の値により行う。図6に旋回、カメラ切替ジェスチャー一覧を示す。

3.3 試作システムに対する考察

試作システムではユーザのジェスチャをRGB-Dカメラより計測し、その情報をもとにUAVを制御するシステムを構築した。試作システムではUAVに設置されたカメラからの映像をユーザが装着したHMDに提示した。これより、ユーザの直感的な操作でUAVの制御が行えた。しかし、実際に学内のオープンキャンパスにてデモを行った際、いくつかの検討すべき課題が見つかった。試作システムでは直感的なジェスチャ操作によりUAVを制御することが確認できたが、ユーザの視覚情報としてHMDにUAVの視点からの映像のみを提示していたため、UAV周辺の障



(a) 上昇

(b) 下降



(c) 左移動

(d) 右移動



(e) 前方移動

(f) 後方移動

図5 移動指示用ジェスチャー一覧



(a) 左旋回

(b) 右旋回



(c)ボトムカメラ

図6 旋回、カメラ切替ジェスチャー一覧

害物の回避が初心者には困難であった。また、ユーザと UAV が向かい合う状況においては、左右方向の移動においてユーザがジェスチャにより指示する方向と UAV が移動する方向が反転してしまうため操作に混乱をきたす場合があった。これらの場合においては環境マップを構築し、その中で自己位置同定を行うことで解決できるものと思われる。また、移動指示用ジェスチャが上半身を大きく動かすもののため、動作範囲が大きく体への負担も高かったというユーザ報告もあった。併せてデモの性質上、HMD の映像は操作しているユーザにしか提示されないため、見学者に対して HMD の映像をプロジェクタでスクリーンに投影する必要があった。これらの理由により、デモを実施する上でのスペースの確保が必要であった。

4. 提案システム

4.1 システム概略

提案システムの外観を図 7 に示す。試作システムの結果をもとに、ユーザのジェスチャと映像提示の方法を変更した。ジェスチャは、ユーザの負担を軽減するために小さな動きで制御を行えるように変更を行った。ユーザの手の動きを小型の 3D モーションコントローラ (Leap Motion 社製 Leap Motion Controller) にて計測し、その計測結果をもとに UAV の制御を行う。また、映像提示の方法として、UAV の映像と周辺場を同時に視認できるようにユーザ前方に設置した透明スクリーンにリアプロジェクションで投影するように変更を行った。透明スクリーンとしては三菱製紙株式会社製彩美 s <SaiVis> クイックタイプの B2 サイズを図 8 (a) に示すように配置し、背面から超短焦点プロジェクタ NEC 製 NP-UM330WJL-N2 を用いて映像の提示を



図 7 提案システムの外観

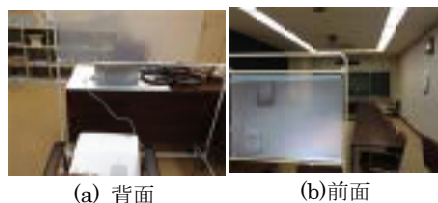


図 8 透明スクリーンとプロジェクタ

行った。図 8 (b) に示すようにユーザ側からは UAV 映像と周辺状況を同時に視認することが可能となっている。提案システムでは UAV に設置されたカメラからの映像を透明スクリーンに提示するとともに、映像中の人物を矩形枠で囲み注意を促す機能を実装した。これより、ユーザの直感的な操作で UAV の制御が行える環境を提供する。

4.2 UAV 制御方法

UAV としてパロット社の AR.Drone2.0 を使用した。AR.Drone2.0 と PC とのデータのやり取りはアドホックモードで接続した無線 LAN を経由して行う。AR.Drone2.0 の外観とカメラ位置は、図 2 に示す AR.Drone と同位置となる。AR.Drone2.0 からの映像は PC を経由して透明ディスプレイに提示される。ユーザのジェスチャを認識するためのセンサとして Leap Motion 社製 Leap Motion Controller を使用した。Leap motion Controller は右手座標系となっており、検知範囲はセンサ

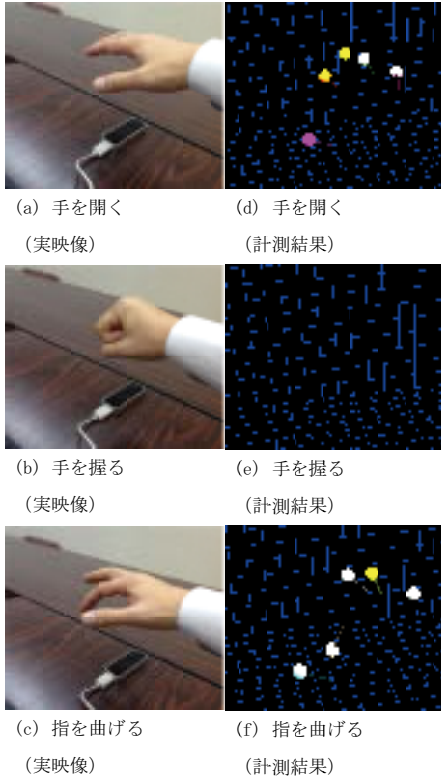


図9 制御用ジェスチャ

表2 UAV制御とジェスチャの対応関係

操作	ジェスチャ
離陸	手を握る ⇒ 手を開く (離陸ジェスチャを行った空間上の位置を基準位置とする)
着陸	手を握る
右旋回	基準位置より右側に手を移動させる
左旋回	基準位置より左側に手を移動させる
上昇	基準位置より上側に手を移動させる
下降	基準位置より下側に手を移動させる
前進	基準位置よりPC側に手を移動させる
後進	基準位置よりユーザ側に手を移動させる
カメラ切替	人差し指を曲げる

を基点とした半径50センチ程度、中心角110度の空間になっている。手、指、ペンのようなポイントを指し示すツールを100分の1ミリの精度で認識することが可能である。トラッキングは精度重視速度重視、バランスモードがありいずれのモードでも60fps以上の速度でリアルタイム計測が可能となっている。図7に本システムで使用するジェスチャ操作、表2にUAV制御とジェスチャの対応関係を示す。

4.3 UAV画像からの人物領域の検出

UAVを操作する上で注意を払う必要があるものに機体の接触・衝突がある。特に人体に対する接触は回避する必要性が高い。そこで提案システムでは、注意を払う対象として人物を設定し、UAV映像に人物が映っている場合に注意を促す機能を実装した。

画像中の輝度勾配をヒストグラム化した特徴量として代表的なものにSIFT (Scale Invariant Feature Transform) 特徴量⁽¹⁴⁾、HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量⁽¹⁵⁾がある。SIFTは特徴点に対して特徴量を記述するのに対し、HOGではある一定領域に対する特徴量の記述を行うため、大まかな物体形状を表現することが可能である。そのため人物検出や車検出等の一般物体認識等に用いられている⁽¹⁶⁾。提案システムでは人物検出を行うことからHOG特徴量を使用することにした。HOG特徴量は一つの局所領域内におけるエッジ方向ごとのエッジ強度に着目する。局所領域はブロックとして表現され、ブロックは複数のセルのエッジ方向ごとのエッジ強度ヒストグラムを結合した多次元ベクトルで表現される。事前に学習しておいたSVM (Support Vector Machine) を用いて人物領域の抽出を行う。抽出した例を図4に示す。



図 10 HOG 特徴量による人物の抽出結果

4.4. 提案システムに対する考察

本研究ではユーザのジェスチャを Leap Motion Controller にて計測し、その情報をもとに UAV を制御するシステムを構築した。UAV に設置されたカメラからの映像をディスプレイに提示するとともに、HOG 特徴量と SVM により映像中の人物を検出し、矩形枠で囲み注意を促す機能を実装した。これより、ユーザの直感的な操作で UAV の制御が行える環境を提供した。大学生 2 名（21 歳男性）による実証実験では、試作システムと比較し、操作性が向上したことが確認できた。SVM に学習させる特徴パターンを変えることで人物以外にも対応できることも確認できた。ただし、提案システムでは注意を促すことは可能だが接触を自動的に回避する機能は有していない。そのため、今後は UAV 映像からの情報をもとに自動制御で衝突を回避するなどの機能が必要の検討も必要である。

5. まとめと今後の課題

本研究ではジェスチャによる UAV 制御システムについて報告した。試作システムとしてユーザの上半身の動きからジェスチャ識別を行い、その結果をもとに飛行制御を行うシステムを構築した。搭載カメラからの映像を HMD に提示し、UAV から

の視点を得ることで没入感を得ることができたが、周辺情報の確認が困難という問題点が確認された。そこで、提案システムではユーザ前方の透明スクリーンに UAV の視点映像を提示することで UAV の視点と周辺情報を同時に確認することを可能にした。また、UAV の視点映像にあらかじめ注意を払う必要がある物体を矩形枠で囲み注意を促す機能を組み込んだ。さらにユーザの手指の小さな動きで飛行制御を行えるようにした。これより、ユーザの直感的な操作で UAV が制御を行えることを確認した。

今後の課題としては、安全対策として衝突回避、また、UAV と PC を無線 LAN にて接続を行っているため、電波強度が弱い、もしくは電波が途切れた場合の対処があげられる。前者に関しては、UAV 映像情報をもとに衝突回避などの自動制御機能を組み込んでいく必要がある。後者に関しては、あらかじめ GPS にて原点を設定しておき、電波強度が下がったら原点に復帰するように設定する、UAV 映像から環境マップを構築しておき、その環境マップの情報をもとに原点に復帰することが考えられる。

参考文献

- (1) 大竹博・飯村健・田中一男：「同軸反転型マイクロヘリコプタの飛行安定化制御」, 日本知能情報ファジィ学会誌, vol.21, no.1, p.p.100-106 (2009)
- (2) 佐藤雄一・大竹博・田中一男・駒井利之：「視覚情報による小型ヘリコプタの飛行制御」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, p.p.1A2-C21(1)-1A2-C21(4) (2010)
- (3) 飯村健・大竹博・田中一男・跡治保亮：「搭載カメラのみを用いた屋内用小型ヘリコプタの自己位置・姿勢推定と飛行制御」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講

- 演概要集, p.p.1A2-E15(1)-1A2-E15(4) (2009)
- (4) 廣川類 他:「小型自律飛行ロボットシステムの開発とその活用による簡便な地物計測の実現」, 日本ロボット学会学術講演会予稿集 (CD-ROM), 25th, 2A15 (2007)
- (5) 石川仁史・長山格「画像認識による UAV の自動飛行制御システム」, 第 22 回 インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN シンポジウム), 2B1-5, CD-ROM (2012)
- (6) 新田亮・細井一弘・屋比久保史・杉本雅則「人間とインタラクシオンを行う飛行ロボット」, 情報処理学会研究報告, エンタテインメントコンピューティング, vol.59, p.p.31-36 (2005)
- (7) 中村竜二・細井一弘・杉本雅則「ジェスチャと音声による屋内型飛行ロボットの対話的航行」, HAI シンポジウム 2006, 2A-1, USB flash drive (2006)
- (8) 吉田成朗 他:「ジェスチャ操作型飛行ロボットによる身体性の拡張」, インタラクシオン 2012, p.p.403-408 (2012)
- (9) 国吉勇人・小渡悟:「深度センサ情報を用いた小型飛行ロボットの制御」, 第 22 回 インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN シンポジウム), 2A-2, CD-ROM (2012)
- (10) Keita Higuchi, Yoshio Ishiguro and Jun Rekimoto, Flying Eyes:“Free-Space Content Creation Using Autonomous Aerial Vehicles,”CHI Extended Abstract, Vancouver, BC, Canada (2011)
- (11) 佐久原祐哉, 国吉勇人, 小渡悟:「ジェスチャによる小型飛行ロボットの制御」, 電気学会九州支部沖縄支所講演会, OKI-2013-24, CD-ROM (2013)
- (12) AR.Drone <http://www.parrot.com/pdf/files/ardrone/UK.pdf>
- (13) AR.Drone 2.0 Quick start guide http://parrotcontact.emencia.net/website/user-guides/download-user-guides.php?pdf=ar-drone-2/AR-Drone-2_Quick-start-guide_UK-FR-SP-DE-IT-NL-PT-JP-ZH.pdf
- (14) D. G. Lowe: “Object recognition from local scale-invariant-features,” Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.1150-1157 (1999)
- (15) N.Dalal, B.Triggs: “Histograms of oriented gradients for human detection”, Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), pp.886-893 (2005)
- (16) 藤吉弘亘:「Gradient ベースの特徴抽出: SIFT と HOG」, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, vol.107, no.206, p.p.211-224 (2007)