

無人飛行機操縦のためのナチュラル・ユーザ・インターフェースの研究

Natural User Interface for Unmanned Aerial Vehicle Control

2157015



研究代表者
(助成金受領者)

東京大学大学院 工学系研究科
航空宇宙工学専攻

博士課程

リユージュンファイ

共同研究者

東京大学大学院 工学系研究科
航空宇宙工学専攻

准教授

矢入 健久

[研究の目的]

本研究の目的は、人間と無人飛行機 (UAV) の調和性と安全性を促進することである。現在、UAV は、航空写真、土地利用調査、災害救援など様々な分野で利用されているが、操縦が複雑で安全性が低いという問題がある。本研究では、最も自然な操縦方法、すなわちユーザーの体の動きで UAV を操縦する方法を確立することを目指す。また、LiDAR センサーの技術を使うことにより、UAV の安全性を高める。

これは、UAV の潜在力を活用し、平和な社会を実現する意義を持つ。例えば、操作方法が簡単であれば、多くの UAV ユーザーを動員した山や森林などでの遭難者探索ミッションに貢献できる。また、火山や原発などの災害地での観測を安全に行えるようになると期待される。

[研究の内容]

本研究の主眼点は UAV の安全性と人間との調和性にある。UAV の安全性に関しては、安定性が高くして操縦しやすいホロノミックヘキサコプターという新しいモデルを導き出した上で、開発した実機で実証実験をする。一方、人間と UAV の調和性に関しては、ユーザーが体の動きで UAV を操縦しながら、頭の動きでカメラジンバルを操縦する方法を実現する (図

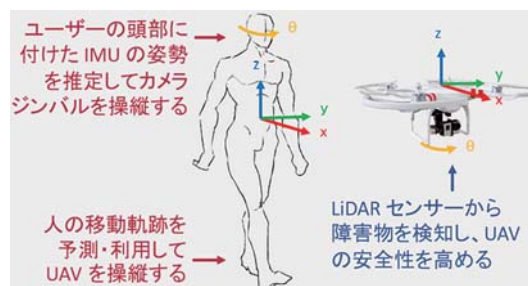


図1 操縦インターフェースのコンセプト

1)。この方法によって、ユーザーは直感的に UAV を操縦できる。

[研究の成果]

ホロノミックヘキサコプターの開発

安全で安心な UAV の飛行を目指し、我々はユニークなデザインで飛行姿勢を一定に維持しながら水平飛行することができるホロノミックヘキサコプターを開発した (図 2)。従来のヘキサコプターと異なるのは、各モーターが真上方向に対して少しずつ傾けて取り付けられている点である。ホロノミックヘキサコプターは従来のヘキサコプターと同様に機械的にシンプルで構築しやすいことに加えて、六つのモーターが異なる六つの方向に推進力を持つので、三つの並進および三つの回転力を生成することができる。その結果、ホロノミックヘキサコプターは



図2 開発したホロノミックヘキサコプター

以下の五つのメリットを持つ：

- (1) 操作方法が直感的なため、正確に誘導することができる
- (2) ジンバルや補正を必要とせずに、安定した画像を撮影できる
- (3) 低高度で飛ぶことができる
- (4) 常に水平姿勢を維持し、風の影響を受けにくいので、安全性が高まる
- (5) 姿勢を変えずに水平方向の力を加えることによって、周りの物との物理的な接触を容易に行なえる

式 (1) はホロノミックヘキサコプターの運動学の方程式である。 $f_1 \cdots f_6$ はモーターのスラスト、 r はヘキサコプターの半径、 α はアームとアーム間の角度、 β はモーターのチルト角度、 F_x, F_y, F_z は並進力、 τ_x, τ_y, τ_z は回転力である。ホロノミックヘキサコプターは従来のヘキサコプターを一般化したものとみなすことができる。すなわち、式 (1) に $\beta=0$ を代入した場合、行列の上二つの行がゼロになり、 x と y 方向の並進力が生じなくなる。これは、従来のヘキサコプターの運動方程式と等価である。

UAV の構築に関しては、頑丈で衝撃を吸収できるプロテクタを設計し、UAV の周りに取り付けた。設計したプロテクタは 3D プリン

ターで作った ABS パーツとアルミパイプから構成される。このプロテクタによって、プロペラが周りの物や人などを傷つける危険性が少なくなって、安全性を高めることができる。また、2D LiDAR センサーを UAV に載せ、その観測データをオンボードプロセッサによって処理することにより、周辺の人や障害物の距離を把握し、衝突を避けることができるようになっている。

高速な無線画像通信のプログラムの開発

従来、高速な画像通信の専用ハードウェアがあるが、普通の USB カメラと繋ぐことができず、値段も高い（約 20 万円）という問題がある。今回、UAV のオンボードプロセッサ (Odroid-XU4) を使って、USB カメラからの画像 (640×480, 30 Hz) を JPEG に圧縮して、WiFi 経由で Head-Mounted Display (HMD) に接続されたスマートフォンに送るようにした (図 3)。mjpg-streamer という効率的なライブラリを使って、無線で高速な画像通信の実験を

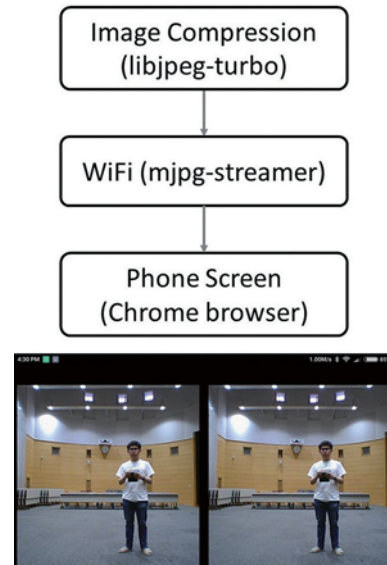


図3 無線で高速な画像通信の流れ

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\beta) & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) & \cos(\beta) \\ -r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \cos(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \cos(\beta) & r \cdot \cos(\beta) \\ r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & -r \cdot \sin(\alpha)\cos(\beta) & 0 & 0 \\ -(k+r \cdot \sin(\beta)) & -(k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & (k+r \cdot \sin(\beta)) & -(k+r \cdot \sin(\beta)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

実証した。この方法によって、普通の USB カメラ、プロセッサと WiFi 無線システムを組み合わせることで使うことが可能になった。このプラットフォームに基づいて、様々な有用な応用を実現することができる。

頭部姿勢の推定するプログラムの開発

UAV のジンバルを滑らかに操縦するため、ユーザーの頭部の姿勢を推定するアルゴリズムが必要である。本研究は Madgwick Filter を使って、加速度とジャイロレートの情報を融合して、ユーザーの頭部のヨー・ピッチ・ロールの角度を推定する。従来の Kalman Filter に比べると、Madgwick Filter のほうが計算量が少

なく、推定スピードが速いという長所を持つ。開発したプログラムは、x-IMU というセンサーを使って、Bluetooth 経由で UAV のプロセッサに繋げる。そして、ユーザーの頭部の姿勢により、プロセッサがジンバルの角度を調整する (図 4)。この方法によって、ユーザーは直感的にジンバルを操縦できる。

人の移動軌跡を推定するプログラムの開発

このサブテーマの目標は x-IMU センサーを足元に付けて、人の移動軌跡を推定利用して、UAV を操縦することである。理論上は、センサーの加速度を二重積分することで、人の移動軌跡を推定できるが、実際の観測データにはノ

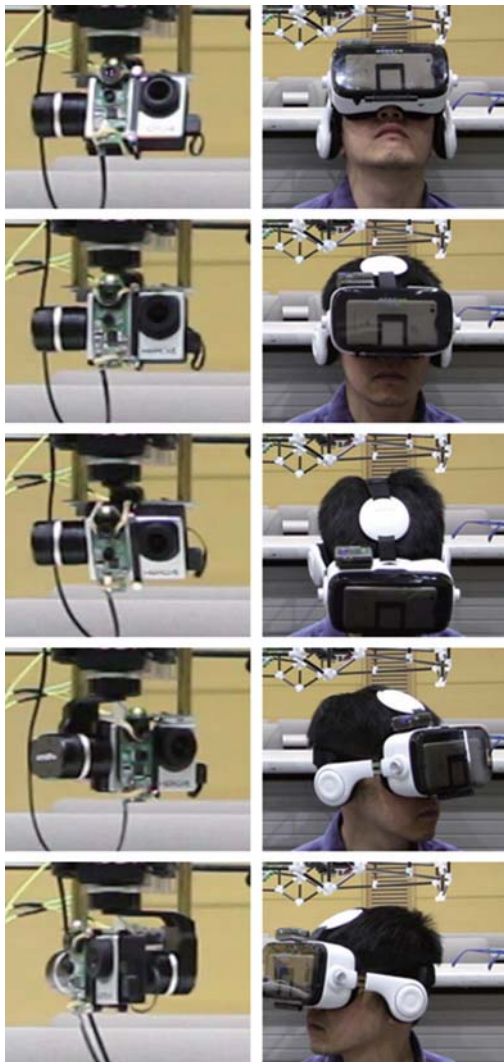


図 4 頭部の姿勢でジンバルを操縦する様子

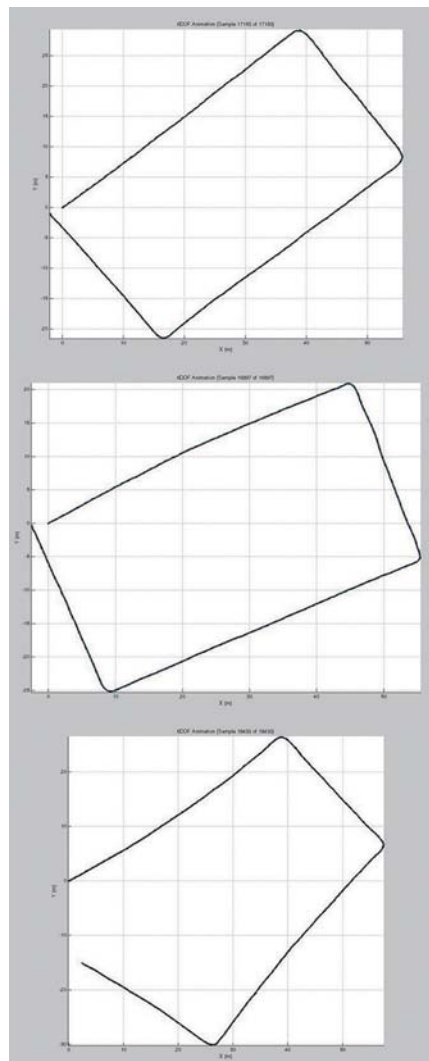


図 5 人の移動軌跡を推定した結果

イズがあり、二重積分の結果は信頼性が低い。しかし、センサーを足元に付けた場合、足の動きが止まる度に一重積分の累積誤差を消去することによって、人の移動軌跡を正確に推定する方法を実験により実証した。図5は建物を一周回した人の移動軌跡を示したものである。一方、一番下の画像は、センサーのヨー角のドリフトの問題によって、推定結果が悪かった例である。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究の実施期間内に、ホロノミックヘキサコプターが姿勢の維持しながら水平移動できることは実証したが、今後は定量的な評価も必要である。また、人の移動軌跡を推定することに成功したが、移動軌跡を利用して UAV を操縦

する追加実験が必要である。さらに、本研究で用いた 3D ジンバルの回転スピードについての制限があるため、ユーザーが速く頭部の姿勢を変更すると、ジンバルが対応できないことも分かってきた。そこでより強力なジンバルの導入を検討している。

[成果の発表, 論文等]

- [1] C.F. Liew, T. Yairi, "Designing a Compact Hexacopter with Gimballed Lidar and Powerful Onboard Linux Computer," in Proceedings of IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), August 2015.
- [2] C.F. Liew, T. Yairi, "Towards a Compact and Autonomous Hexacopter for Human Robot Interaction," in 第33回日本ロボット学会学術講演会, 2015年9月。