

重心移動機構を搭載した飛翔ロボットにおける水平位置補正システムの改善

東京電機大学 ○江田涼司、今井雄一、板橋 努、小澤惇史、堀内 敏行

要 旨

飛行可能なロボットを屋内空間での情報収集に応用することが期待されている。ロボットによる情報収集活動を現場で迅速に展開するには、操縦の簡便化が不可欠である。その一環として、無操作時の水平位置を重心移動により自動的に補正し、空中に静止維持するシステムを開発中である。重心移動機構を動作させる X 軸、Y 軸のサーボを同時にではなく交互に動作させた結果安定性が増し、機体を 95×35cm の範囲に 45s 間維持することができた。

1. 背景と目的

小型飛翔ロボットを、災害や事故により倒壊したり、放射能や有毒ガスなどに汚染されたりした、人間が入るのに危険を伴う空間での写真撮影や環境情報の収集に活用することが期待されている。屋外ではなく、狭い屋内でそのような作業を実現するには、ロボットの空中機動を精密に制御し、移動や障害物回避をする能力が不可欠である。

そのため、ロボットのラジコン操作を簡便化する目的で、無操作時の水平位置を自動維持するシステムの開発を進めている^{1,2)}。本報では、二重反転式メインロータと2枚の補助翼、および加速度センサと重心移動機構を装備した飛翔ロボットを製作し、マイコン回路を用いた自動制御により±20cmの範囲内に1min以上静止させることを目標に検討した。

2. 重心移動機構による水平位置の制御

図1に示すように、メインロータ先端通過面（TPP：Tip Pass Plane）が水平面に対して傾くと、ロータの回転による推力に水平方向の成分が生じる。すると、機体は TPP の傾斜方向に進む。この TPP 傾斜角を制御することで、外力による傾きを相殺し意図せぬ移動を抑制することや、逆に任意の方向に機体の方向を保ったまま移動することができる。一方、任意の TPP 傾斜角を得るには、メインロータシャフトを傾斜させるか、機体全体の姿勢を変えればよい。重心がメインロータ回転軸線上から移動すると、機体はその移動と同じ方向にメインロータシャフトを傾ける姿勢を取る。したがって、重心が移動している間、その方向に移動することができる。

そこで、TPP の傾きをメインロータシャフトの傾きとして検知し、フィードバックして重心移動機構を作動させ、

機体の姿勢を変えることで TPP を制御することを考えた。X 軸と Y 軸の加速度センサによって、メインロータシャフトの鉛直に対する傾斜角と方向を検知する。重心移動は、サーボモータを動力とした、X 軸と Y 軸それぞれの平行リンク機構によって機体を変形させることで行う。

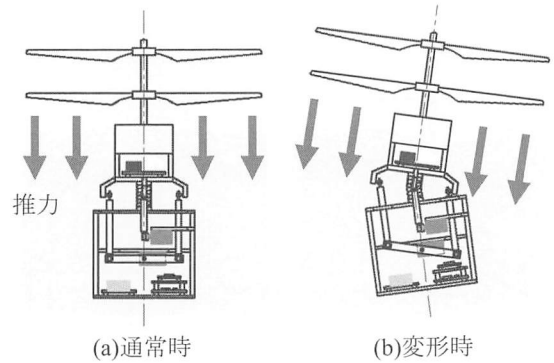


図1 重心移動による推力ベクトルの偏向

3. 重心移動機構を搭載した飛翔ロボット

図2に製作した飛翔ロボットを示す。上下のメインロータは、それぞれを独立したブラシレスモータによって回転させる駆動系とした。重心移動機構は、機体下部を重心を変えるための錘として利用する構成とし、それをロール軸とピッチ軸方向に可動させる二つのサーボモータ、およびそれらを接続するリンクで構成した。機体下部には、電源であるリチウムポリマーバッテリーとマイコンを実装した制御回路、センサ入力増幅回路などを搭載した。下部の重量は1.915Nで、ロボット全体の重量3.714Nの約52%である。機体上部のメインロータ下方の両側には、ヨー軸まわりの回転を手動制御するための補助翼を設けた。メインロータからの吹き降ろしの風に対する両補助翼の傾斜角をサーボモータにより変化させ、ヨー軸を制御した。また、飛翔の軌跡を記録するため、レーザポインタを装備した。ロボッ

トの寸法はロータ径が 350mm、高さが 310mm である。

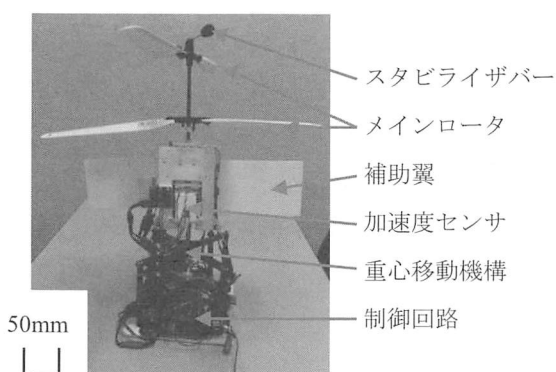


図2 製作した二重反転ロータ飛行ロボット

4. 制御プログラムの改良

当初、重心移動機構の X,Y 方向の二つのサーボを同時に動作させていた。すなわち、X 軸のサーボの動作角を指示した直後に Y 軸のサーボ動作角を指示する命令を記述していた。これは、機体が X 軸・Y 軸方向以外にも一度の動作で移動できるようにしたいを考えたからである。しかし、実験を重ねるとその動作により逆に機体が安定性を損なっているように思えた。また、機体がヨー軸まわりの旋回運動を行っているときに重心移動機構が動作すると、その旋回運動が助長されるという問題があることが分かった。

そこで、X 軸の動作後に待機時間を指定し、Y 軸のサーボと交互に動作させることにした。しかし、この待機時間を設けると、各軸のサーボ動作は同時には起こらないため、軸方向以外への移動は各軸の動作の組み合わせによって行うようにした。

5. 改良した制御プログラムによる飛行実験

上記の待機時間を 0.1~2.0s の範囲、重心移動機構のリンクを傾斜させるサーボモータの動作角を $\pm 3 \sim 15^\circ$ の範囲で変化させ、その待機時間と各軸サーボモータの動作角の最適値を探した。最適値は、製作したロボットを実際に飛行させ、どの程度空中で水平位置を維持できるのかを評価して求めた。ロボットが 50cm 程度の高さで一定方向を向いたまま飛行するようにメインロータの回転数と補助翼を、手動で変化させて操縦した。

床に 4m 四方の座標を書いたシートを敷き、機体に取り付けたレーザポインタの軌跡をカメラで撮影して位置を読み取り、1s ごとにプロットした結果を図 3

に示す。待機時間を 0.1s、サーボモータの動作角を X 軸、Y 軸ともに約 4° としたとき、静止範囲は $210 \times 125\text{cm}$ で、飛行時間は 67s であった。また、図中の四角で囲んだ部分では、 $95 \times 35\text{cm}$ の範囲に 45s 静止維持することができた。

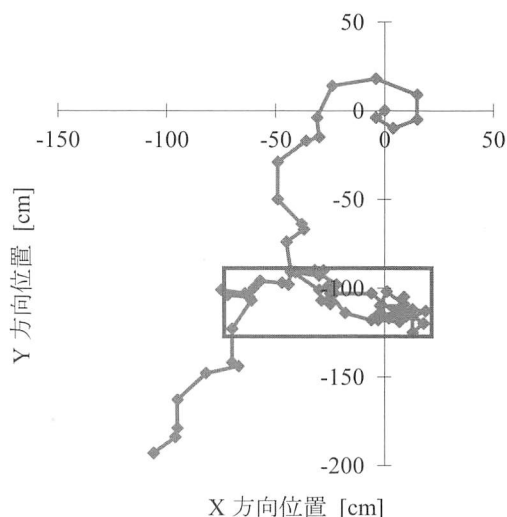


図3 飛行ロボットの軌跡

6. 結論

加速度センサと重心移動機構を装備し、マイコン回路により TPP の傾きを制御して、水平位置を自動維持するシステムを備えた飛行ロボットを製作した。重心移動機構を制御する際に、X 軸と Y 軸のサーボモータを、同時に動かす方式から、X 軸と Y 軸を交互に動かす方式に改め、サーボの動作角や待機時間を最適化した。その結果、水平位置ずれを補正する操作を行うことなく機体を $210 \times 125\text{cm}$ の範囲に 67s 間維持することができた。また、 $95 \times 35\text{cm}$ の範囲に 45s 間維持できた。Y 方向については一時的に目標とする $\pm 20\text{cm}$ の範囲を満たすことができた。

参考文献

- 1) S.Uno et al.: Development of a Small Hovering Robot for the Use of Inspection in Narrow and Dangerous Indoor Spaces, Proc. Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology, 2009, JE-16-2025-p
- 2) 桑原広樹, 宇野真矢, 篠田大地, 関博, 長倉朋子, 堀内敏行: 加速度センサを用いた飛行ロボットの水平面内自動静止維持に関する検討, 2010 年精密工学会東北支部学術講演論文集, 16-17, 2010