

搭載バッテリー電圧の常時検出による小型飛翔ロボットの高度自動制御の高精度化

東京電機大学 ○木幡典央, 堀内敏行

要 旨

人の立ち入ることのできない屋内での情報収集を目的として、同軸二重反転ロータを持つ小型飛翔ロボットを研究開発中である。従来、そのロボットの高度自動制御において、高度のみをセンシングして制御しようとしていたが、安定した制御とならなかった。そこで、本研究では搭載バッテリーの電圧低下が原因であると仮定し、ロボットの飛翔中の電圧をセンシングした。その結果、バッテリー電圧の変動がとて大きく、対策が必要ながわかった。

1. 研究の背景・目的

人間の入ることのできない狭い空間や危険な場所、例えば災害により半壊した建物内などでの状況把握に役立つため、屋内用の小型飛翔ロボットを開発中である¹⁾。ロボットを空中で静止維持するためには、水平位置、方位、高度の維持を同時に行う必要がある。そのため研究室ではこれらを分担・平行して研究しており、本研究では高度の自動維持制御の確立を目指した^{2) 3)}。従来はロボットの高度制御をする際、超音波センサでロボットと床との距離 (= 高度) のみをセンシングしてフィードバックしていた。そうした場合、ロボットは常に上下動を繰り返すという結果になった。そこで、ロボットに搭載している電源バッテリーの残量低下が制御に悪影響を与えているのだと考え、電源バッテリーの電圧もフィードバック要素として高度制御をする方式の検討を行った。

2. 実験用ロボット

二重反転ロータを揚力源とする図1に示す飛翔ロボットを製作した。本体フレームは軽量で剛性のある CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) とした。万一の落下による破損を避けるため、脚部にはスチレンボードを使用した。電源には Li-Po バッテリー (11.1V, 730mAh) を使用し、制御基板にはマイコン (ATmega32) を搭載した。ロータ類は市販のラジコンヘリコプタ (X.R.B-SR Shuttle) から取り出して使用した。表1に諸元を示す。

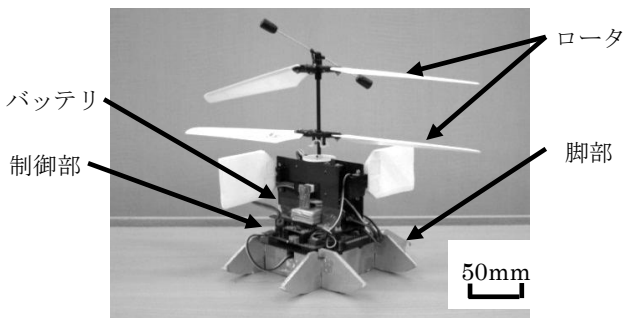


図1 製作した飛翔ロボット

表1 飛翔ロボットの諸元

項目	仕様
高さ	230mm
ロータ直径	350mm
総重量	290gf

3. ロボットに搭載したセンサ

3.1 超音波距離センサ

ロボット底部に図2に示すセンサ (Parallax 社, PING) を、床を向くように取り付けた。超音波の送信用・受信用の圧電素子があり、超音波が床に当たり跳ね返ってくるまでの時間をマイコンでカウントし、それを床との距離、即ち高度に換算した。



図2 超音波距離センサの外観

3.2 マイコン内蔵 AD 変換器の利用

バッテリーの電圧をマイコンの AD 変換器でセンシングした。マイコンとバッテリーを直接繋ぐとマイコンの許容電圧を超えてしまうので、抵抗で分圧することで対応した。

4. 制御方式の検討

高度自動維持制御の方法として、従来は超音波センサを用いてロボットの高度をセンシングし、図3に示すブロック線図で二重反転ロータの出力を調整していた。しかし、これではどのようにしてもロボットの高度が周期的に変化し、上下動が収束することはなかった。また、外乱やセンサのノイズによりその周期から外れると、ロータ出力が発散してロボットの上下動も大きくなるという課題もあった。これらの問題点を検討しているうちに外乱として、ロボッ

ト周囲の風の乱れだけではなく、ロボットの搭載バッテリーの電圧低下が大きく関与しているということがわかってきた。例えば、制御計算に用いている係数の最適値が、電圧によって異なることがわかった。そこで、本研究では高度だけではなくバッテリー電圧もリアルタイムでセンシングし、高度制御に反映させることを試みた (図 4)。

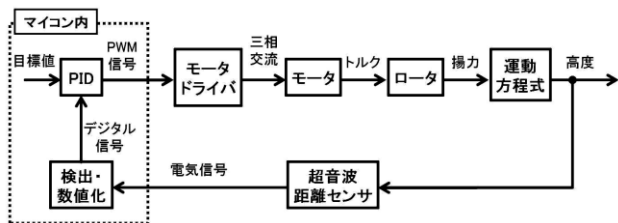


図 3 従来の高度自動制御の方法

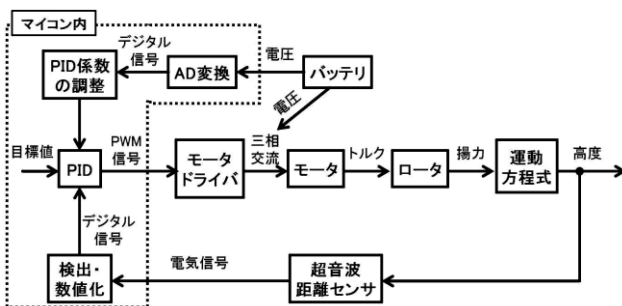


図 4 修正後の高度自動制御の方法

具体的には、従来 PID 制御の係数を定数としていたが、バッテリー電圧の関数に置き換えることとした。

5. 高度自動制御による飛行実験

ロボットに飛行動作をさせた際に、電圧センシングがきちんとできるかを確認するため、ロボットに従来の高度自動制御(図 3)をかけた状態でバッテリー電圧をセンシングする飛行実験を行った。実験は、天井高さが約 4m で飛行可能高度に対して余裕のある平らなカーペット床上で行うこととした。飛ばし始める際は、ロボットを目標高度 100cm より下で速度が 0 となるように把持した。実験の結果を図 5 に示す。図 5 でのロボットの上下動周期を山の頂点間として時間を読み取ったものが図 6 である。

両図から時間が進むに連れて上下動の周期が変わっていくのがわかる。これがバッテリー電圧の低下による影響である。電圧はノイズ除去用にコンデンサを使用した。コンデンサ容量が多過ぎると電圧変化に対する応答の遅れが見られたため、僅かにノイズが残る本実験での容量が適切だと考えている。電圧変化の特徴として、時間経過とともに低下することとは別に、高度の上昇に伴い電圧も上がってい

ることが見て取れる。これは、高度自動制御により高度が高いときはロータ出力が下がり消費電流が減少するため、モータに大電流を流していることによる電圧低下が少なくなり、電圧が回復したためと考えられる。

以上より、電圧センシングがきちんと行われていることに加え、飛行時の電圧変化の様子もよくわかった。

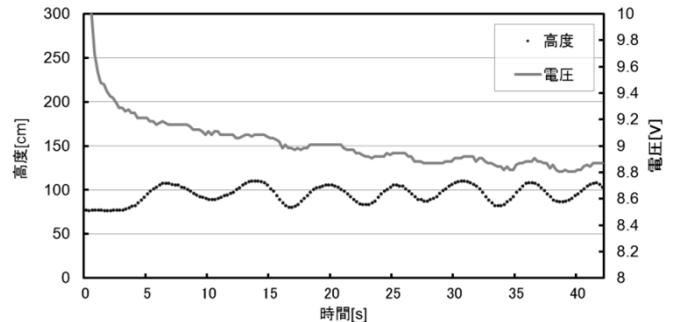


図 5 ロボット高度とバッテリー電圧の時間的推移

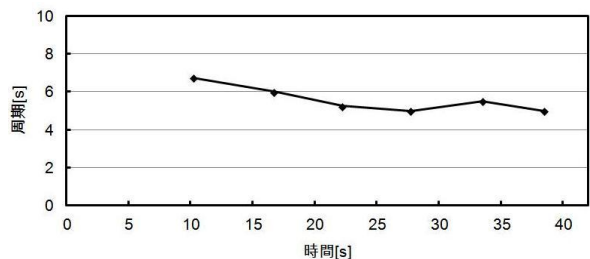


図 6 上下動周期の時間的推移

6. 結言

従来の高度制御において、問題点はバッテリー電圧の変化であると推測し、バッテリー電圧のセンシングを可能にした。そして、飛行実験により、高度と相関を持ってバッテリー電圧が変化することを明らかにした。今後は図 4 に示した制御を用い、バッテリー電圧のセンシング結果をフィードバックすることで、高度自動制御の安定化を図る。

参考文献

- 1) Y. Kobayashi et al. : Development of a Small Hovering Robot with High Lifting Force Using Coaxial Double Rotors Driven by Twin Motor Pairs, Key Engineering Materials Vols.523-524, pp.705-710, 2012
- 2) 桑原 他 : 制御方法の改善による二重反転回転翼飛行ロボットの高度自動維持性能の向上, 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.39-40, 2011
- 3) 木幡 他 : ロータ回転数の常時検出による小型飛行ロボットの高度自動制御の高精度化, 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.5-6, 2013