1119 小型無線ヘリコプタの制御ーベンチ飛行テスト装置の開発ー

Control of Portable Radio Controlled Helicopter

ーDevelopment of a Device for Bench Flight Testー

○学 林田祐宏(福岡大院) 正 林 長軍(福岡大) 正 下川哲司(福岡大)

正 尾崎弘明(福岡大) 学 浅田直孝(福岡大院)

Masahiro HAYASHIDA, Fukuoka Univ, 8-19-1, Nanakuma, Jo-nan-ku, Fukuoka

Chang-jun LIN, Tetuji SIMOGAWA, Hiroaki OZAKI and Naotaka ASADA, Fukuoka Univ

Key Words : Portable Helicopter, Flight Test Device, Radio Control, Neural Network

1 緒言

加工・組み立てを主目的としない輸送ロボットや、観測ロボットには広い空間を自由に移動できる機能が要求されることが多い。また輸送、観測には静止した状態(ホバリング)を実現できるロボットが必要になる。無人ヘリコプタは、すでに国内外で多く製造され農業散布、写真撮影から火災消火、火山活動の監視などに利用されている⁽¹⁾が、ここでは、ポータブルなエンジンを搭載した模型用ラジコンヘリコプタをコンピュータで制御できることを目指して研究を進めている。対象が小型軽量で安価に入手できるため操作時のトラブルなどの事故による損失は少ないが、外乱や負荷変動およびエンジンの出力変動などの影響を受けやすく、そのため制御方法を確立することは容易ではない。本論では、実験室内で安全に制御方法を検討するための飛行テスト装置を開発することを検討している。電動ヘリコプタを対象とした装置の検討例⁽²⁾はあるが、パワーのあるエンジン搭載機に使える装置としたこと、センサ信号を用いて拘束運動を非拘束運動として模擬するシミュレータを構成していることに特徴がある。また、この装置の一部の機能を用いてニューラルネットワークを用いたホバリング制御の検討例も示す。

2 小型ヘリコプタの実験装置の検討と作成

小型ヘリコプタの実験装置を作成するにあたって、限られた空間でどのような装置にするかを決定する必要がある。そこで現実的な1) 非拘束型、その結果を踏まえた2) 部分拘束型の2種類の実験装置について考える。

1) 非拘束型実験装置について

非拘束型実験装置を考えるにあたり、まず限られた空間内で安全に実験出来るかどうかを検証する必要がある。非拘束型実験装置を検証するために簡単な試験装置を作り、ヘリコプタに装着して室内で飛行させてみた。この試験装置は、実験が可能か否かを検討するためのものなので、計測装置は一切取り付けしていない。

1つ目は拘束しない代わりに壁と接触してもいいように機体を囲む籠型のもを作った。2つ目は装置の中心から放射状に伸びた6本のアームの先端と地面に置いてある鉄のアンクルとを紐で結ぶことで壁への接触を避け、高度の制限をした。この2つの装置を用いて、非拘束型の実験装置の作成が可能か否かを検討した。この2つの試験装置から得られた結論は、壁や天井と接触したときの安全性と計測方法に問題があることが確認され、2)の部分拘束型の実験装置について作成検討する。

2) 部分拘束型実験装置について

拘束する自由度は少ないほうが良く、とくに重要な高度については移動できるようにしてある。その他の運動については、ユニバーサルジョイント、フォーストルクセンサとコンピュータによるシミュレーションによってヘリコプタの運動を推定し、飛行制御する方法をとった。Fig.1に装置の全体図を示す。この装置は、ヘリコプタにユニバーサルジョイントを取り付け、ポテンシオメータで機体の傾きを計測し、その下にあるフォーストルクセンサを用いて機体

Fig.1 Flight test device for portable helicopter

が発生する力を計測し、シミュレーションで機体の移動量を推定する。さらにフォーストルクセンサの下に回転機構を設けることで機首の向きを変えることが出来るようにしてある。これもポテンシオメータによって回転角度を検出する。垂直方向の運動は、直動軸受けを用いて滑らかに動くようにした。高度は機体に取り付けたワイヤを、滑車を介してポテンシオメータを回転させ換算することによって検出する。ワイヤには高度を制限する機能も持たせている。また、地面効果⁽³⁾を考慮して地面から少し高いところにヘリコプタを設置している。

3 操作系の構成

Fig.2に制御系を示す。本研究で使用する操作系にはラジコンに使用される送受信機を用い、送信機のレバー操作によって発生する出力電圧をコンピュータに代替させる方式をとる。基本的にはヘリ

Fig.2 Control system

コプタの運動はポテンシオメータを用いて計測する。ポテンシオメータから得られるヘリコプタの各運動を A/D 変換し換算して得ら

れたデータをもとに制御系で操作量を計算し、D/A 変換によって送信機 (TX) の電圧入力部に入力し、受信機 (RX) に送信する。送信された操作量はあらかじめ設定された固有の比例ゲインにしたがって、ヘリコプタの操作系(サーボ)を駆動する。

4 制御系の構成

制御系として PID 制御の特性を学習させたニューラルネットワーク (以下 NN) をもちいる例を示す。この制御系ではまず、PID コントローラによる操作量を NN に学習させ、途中から NN に制御系を切り替えるようにしている。Fig.3 に PID 制御系の学習の構成を示す。ホバリング制御の場合動特性のパターン化については高度と操作量を一定時間遅延した信号をそれぞれの入力層のユニットに与

Fig.3 PID control system to build up NN

えている。制御に使用する PID、NN のパラメータは実験に基づいて決定する。PID 制御系のパラメータについては比例制御で制御可能な比例ゲインをもとに限界感度法を用いて各パラメータを決定した。NN 制御系は過去の実験データ⁽⁴⁾をもとに決定した。

5 シミュレータの作成

開発した実験装置は一部拘束状態にあるので、拘束された部分の運動を補うため、シミュレーションによって擬似的に再現することで非拘束の飛行制御状態を求める。シミュレーションに必要な運動方程式は、重力とヘリコプタが発生する推力の釣り合いから求める。実機用のシミュレータのほかにもう 1 つ制御系の構築に使用する数学的モデルを用いたシミュレータも作成した。このシミュレータは、シミュレーションによって得られた結果を実機の実験に利用できるように、制御系が出力する操作信号を実機用の電圧に変換したあとヘリコプタの推力に置き換える。この電圧と推力の関係は簡単な直線式に置き換えたものを用いる。Fig.4 に実験装置を構成する各装置を示す。安全のためヘリコプタのある部屋と制御装置のある部屋は分離してある。ディスプレイにはシミュレーション結果と各センサからのデータを表示する。

Fig.4 Overview of simulator and controller

シミュレーションの表示には移動量を視覚的にとらえられるような工夫をした。ディスプレイには機体を模した絵が表示され、その向き・位置・大きさからヘリコプタの状態が把握できるようにしてある。機体の傾き(ロール、ピッチ)など同一ピックアップボックスに表

示しにくいものについては、別にピックアップボックスを設けて表現している。その他にフォーストルクセンサより検出される、力・モーメントの表示なども可能なように作った。

6 シミュレーション結果

次に示すシミュレーション結果は数学モデルを用いたシミュレーションで、NN 制御系の構成を検討するために行った直接制御型 NN 制御系である。NN の構造は入力層 5、中間層 5、出力層 1 とし、学習係数などのパラメータは過去の実機実験のデータをもとに決定した。PID 制御系のパラメータは実機を用いた実験である程度の制御結果が得られたデータをもとにして、限界感度法に基づいて設定している。Fig.5、Fig.6 はサンプリングタイムを 50(ms)としたときのステップ応答で、PID による学習回数をそれぞれ 3 ステップ (1300 サンプル)、5 ステップ (2100 サンプル) 学習した後に NN による単独の制御に移行している。3 ステップ学習後の応答に比べ 5 ステップ学習後の応答のほうが目標値に対してオーバーシュートが少なく目標値によく追従している。

Fig.5 Response of PID and NN control system by simulation (3step learning)

Fig.6 Response of PID and NN control system by simulation (5step learning)

7 結言

拘束した状態で、可能な限りヘリコプタの自由な運動を把握できるような実験装置を提案した。また、簡単な数学的モデルを用いたシミュレータを作成した。シミュレーションによって PID 制御系の特徴を学習した NN による直接制御の有効性を確認した。NN の学習にはある程度の時間をかけないと良い結果が得られないということがわかった。今後は実機を基にした実験をおこない多自由度化したときの NN 制御系の構造について研究を進める予定である。

参考文献

- (1)菅野道夫,実用化を目指す空中ロボット—無人ヘリコプター,日本ロボット学会誌,18-7(2000),937-940.
- (2) 大山・古田,ラジコンヘリコプタのデジタル制御,計測自動制御学会論文集,21-2(1985),109-115.
- (3)加藤・今永 ヘリコプタ入門 (1998)東京大学出版会.
- (4)橋本・林・下川・尾崎,小型ヘリコプタのホバリング制御,日本機械学会講演論文集, No.008-1(2000),205-206.