

模型ヘリコプタのファジィ制御

芦田, 隆次 / ASHIDA, Takatsugu / OTANI, Masayuki /
HACHISU, Shiroh / SEKIYA, Tsuneo / Hirota, Kaoru / 廣田,
薫 / 関谷, 庸男 / 蜂巢, 史良 / 大谷, 正幸

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

27

(開始ページ / Start Page)

25

(終了ページ / End Page)

32

(発行年 / Year)

1991-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003905>

模型ヘリコプタのファジィ制御

廣田 薫*・関谷庸男*
蜂巢史良**・大谷正幸**・芦田隆次**

Fuzzy Controlled Model Helicopter

Kaoru HIROTA* Tsuneo SEKIYA*
Shiroh HACHISU** Masayuki OTANI** Takatsugu ASHIDA**

Abstract

Fuzzy controlled model helicopter system is presented. A fuzzy inference board with 48bit input and 16bit output is used as an inference engine. Input information for fuzzy inference is given by a CCD image input system.

§ 1. 緒 言

ヘリコプタは空中で自由に飛行・停止することができ狭い場所で自由に離着陸できるという特長を持ち、人員・貨物の輸送、救難活動、報道取材などに利用されてたいへん有用であるが、その制御は複雑で、ヘリコプタを利用するには熟練した操縦者が必要である。

これはヘリコプタが動的に不安定なシステムであり、非線形・多自由度のため数式モデルが非常に複雑になり、従来の方法では自動化が困難であった為である。

そこで、ここではヘリコプタの持つ様々な動作のうち空中で静止するホバリングについて、熟練者の勘や経験を生かすことができるファジィ制御を用いて実験を行なった。

ヘリコプタのファジィ制御は東工大菅野研究室¹⁾ や川崎重工業(株)²⁾ などで行われつつあるが、本研究では画像処理を併用してその制御を行った。

シミュレータ上に設置した電動ラジオコントロールヘリコプタをCCDカメラと超音波センサによって計測し、32ビットパーソナルコンピュータを介して48ビット入力16ビット出力ファジィ推論ボードへ送り、操作量をプロポへ出力することによってホバリング制御を行った。

* 工学部電気工学科計測制御専攻

** マイコム株式会社研究開発部

ファジィ推論は6入力4出力で、入力情報は高さ、高さの差分、機首の方向、機首の方向の差分、前後の傾き、左右の傾きで各8ビット、出力はスロットル、ラダー、エルロン、エレベータで各4ビットとした。

§ 2. ホバリング制御システムの構成

ファジィ制御による模型ヘリコプタのホバリング制御システムの構成をFig.1に示す。Fig.1のようにこのシステムではセンサとしてCCDカメラと超音波センサを用い、ファジィ推論部にはファジィ推論ボードを用いて32ビットパーソナルコンピュータによって制御している。

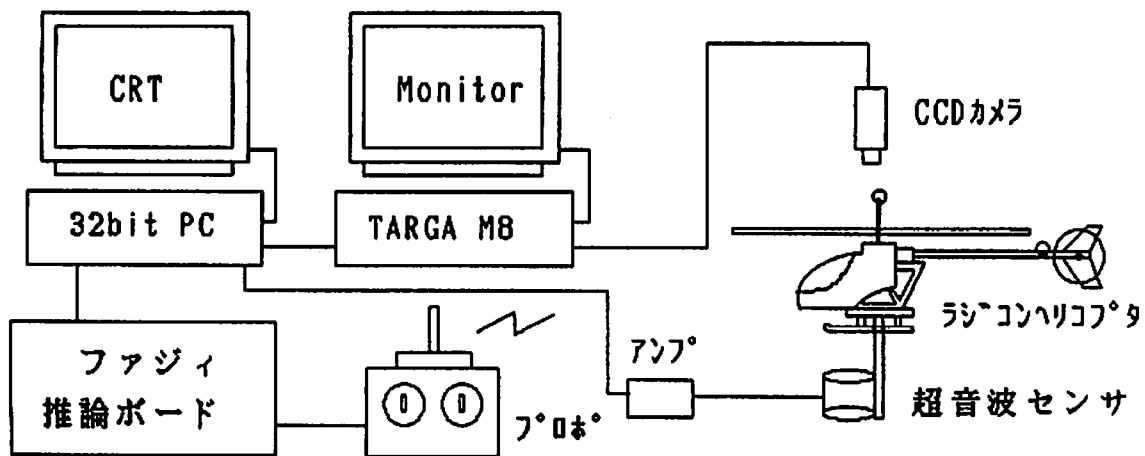


Fig.1 ホバリング制御システムの構成

2.1 模型ヘリコプタ

実験に使用した模型ヘリコプタは、電動ラジコンヘリコプタで飛行機用4チャンネルプロポで操縦している。

模型ヘリコプタ：コンバートEX KYOSHO 製

メインロータスパン/545mm

プロポ：VANGUARD (SRD-6118TS) SANWA 製

なお実際のヘリコプタはメインロータのブレードのピッチ角を変えることにより浮力を得ているが、この模型ヘリコプタは電動式で、モーターの回転数を上げることによって浮力を得ているため、実際のものとは多少動作が異なる。

プロポは4チャンネルで、

スロットル (モーターの回転数を調節することによって上昇・下降の動作を行う。)

ラダー (テールロータのピッチ角を変えることにより機首を左右に向ける。)

エルロン (メインロータのディスク面を左右に傾けることにより機体を左右に傾ける。)

エレベータ (メインロータのディスク面を前後に傾けることにより機体を前後に傾ける。) の操

作を行なう。

2.2 センサ

センサとして用いた CCDカメラと超音波センサの構成を以下に示す。

画像処理ボード：TARGA M8 TRUE VISION INC. 製

CCDカメラ：XC-77 SONY 製

レンズ (f = 8mm)

超音波センサ：UD-1100 KEYENCE 製

画像処理ボード TARGA M8 は、モノクロ 256 階調、256 × 256 画素モードを使用し、閾値を予め設定しておくことにより 2 値画像をリアルタイムで取り込んでいる。また、超音波センサからの出力はアンプと A/D 変換ボードを通した後にパーソナルコンピュータに入力される。

2.3 計算機

計算機には MYCOM 製 32 ビットパーソナルコンピュータ (IBMPC-AT コンパチ機、クロック周波数 20MHz) を用いている。OS は MS-DOS Ver. 3.1 を用い、言語は C 言語を用いた。

パーソナルコンピュータ上では、CCDカメラからの画像情報と超音波センサからの高さの情報を取り込み、模型ヘリコプタの高さ、高さの差分、機首の方向、機首の方向の差分、前後の傾き、左右の傾きを計算し、RS232C 回線を介してデータをファジィ推論ボードへ転送する。

2.4 ファジィ推論ボード

ファジィ推論ボード：MYCOM 製

このファジィ推論ボードは、48 ビット入力 16 ビット出力であり、D/A コンバータを内蔵しているためアナログ出力が可能で、推論結果を直接プロポへ出力している。

今回の実験では、6 入力 (各 8 ビット)、4 出力 (各 4 ビット) として使用している。

§ 3. ホバリングのファジィ制御

3.1 制御アルゴリズム

模型ヘリコプタのホバリングのファジィ制御アルゴリズムを Fig.2 の動作フローチャートに示す。まず高さと同首方向の目標値を設定し、次に超音波センサと CCD カメラにより高さと同首のデータをパーソナルコンピュータへ取り込んでからファジィ推論ボードへ送る。推論結果をボード上の D/A コンバータでアナログに変換しプロポへ送り、スロットル、ラダー、エルロン、エレベータの 4 つを操作する。推論を 1000 回繰り返したら終了とする。制御周期は 50ms (20 回/秒) である。

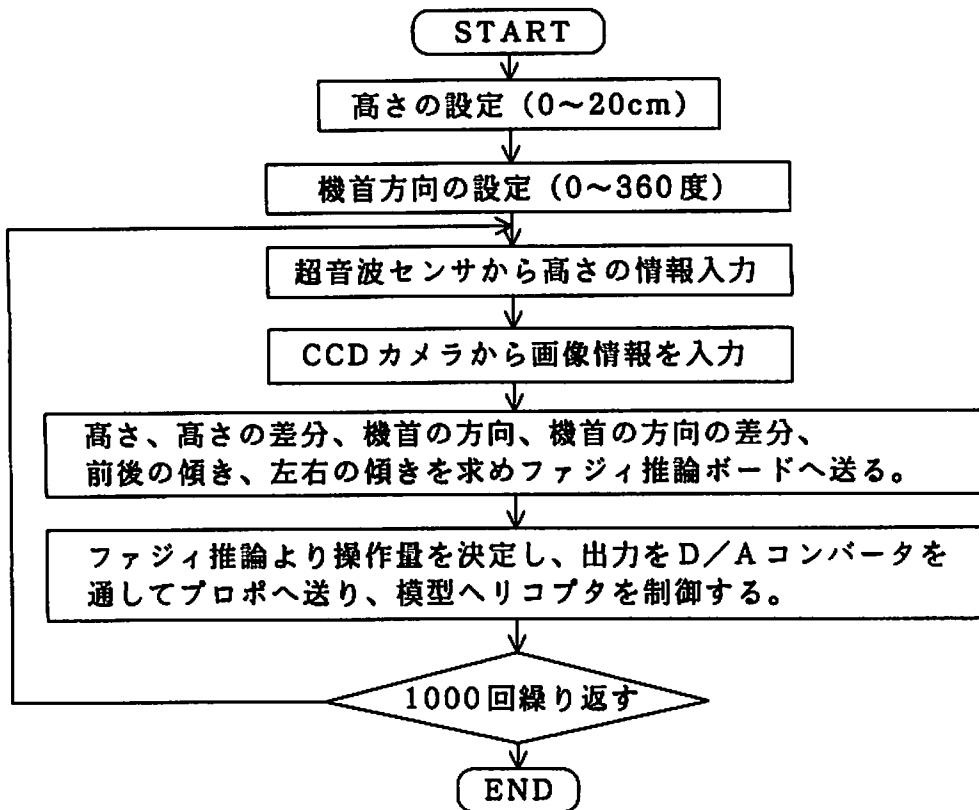


Fig.2 模型ヘリコプタのホバリングファジィ制御の動作フローチャート

3.2 画像情報からの傾きの計測

画像情報から機体の傾きを計測するために、Fig.3に示すようにメインロータの中心とテールブームにLEDを取り付け上部のCCDカメラで二つのLEDの座標を求め、前後・左右の傾きを求める。画像処理ボードで与め閾値を設定しておくことにより、リアルタイムで2値画像を取り込む。このときLEDが白 (255)、背景は黒 (0) となるように閾値を設定する。傾きが無いときのメインロータの中心に画像の原点を合わせ、LEDの座標の原点からのずれより傾きを求める。また、テールブームのLEDより機首方向を求める。

Fig.4 に示すようにX・Y座標をとり、二つのLEDの座標を求め原点からの距離Rが大きい方をテールブームのLEDとし、他方をメインロータのLEDとする。まず、式 (1) よりテールブームのLEDの座標から機首方向を求め、次に式 (2) より機体の傾きの方向を求め、式 (3) より傾きの大きさを求める。このとき超音波センサの高さ情報より傾きの大きさを補正する。

$$\phi = \tan^{-1}(y_1/x_1) \tag{1}$$

$$\begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} \tag{2}$$

$U \geq 0$ 機首ダウン $V \geq 0$ 機体右へ傾く
 $U < 0$ 機首アップ $V < 0$ 機体左へ傾く

$$\begin{cases} R_x = r_x \cos \theta \\ R_y = r_x \sin \theta \end{cases} \quad (3)$$

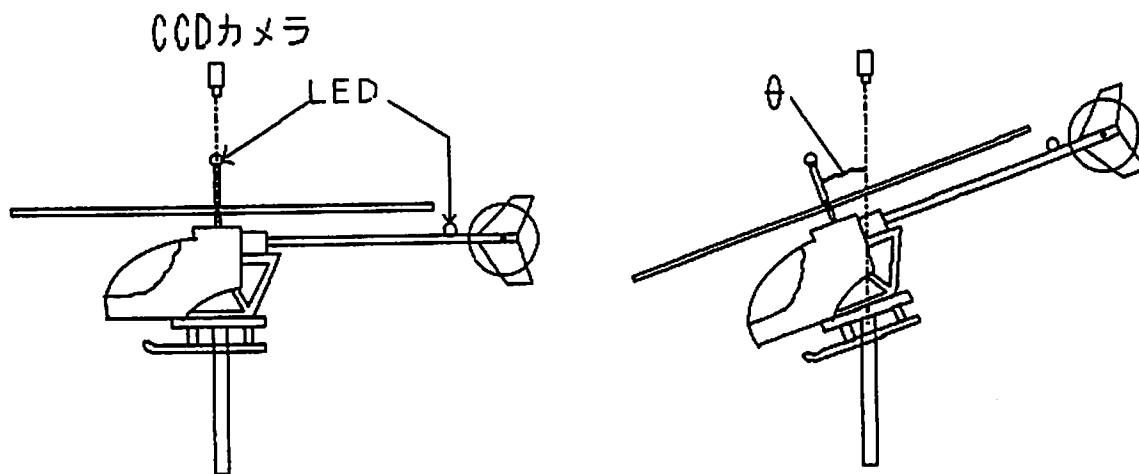


Fig.3 画像による傾きの計測 (1)

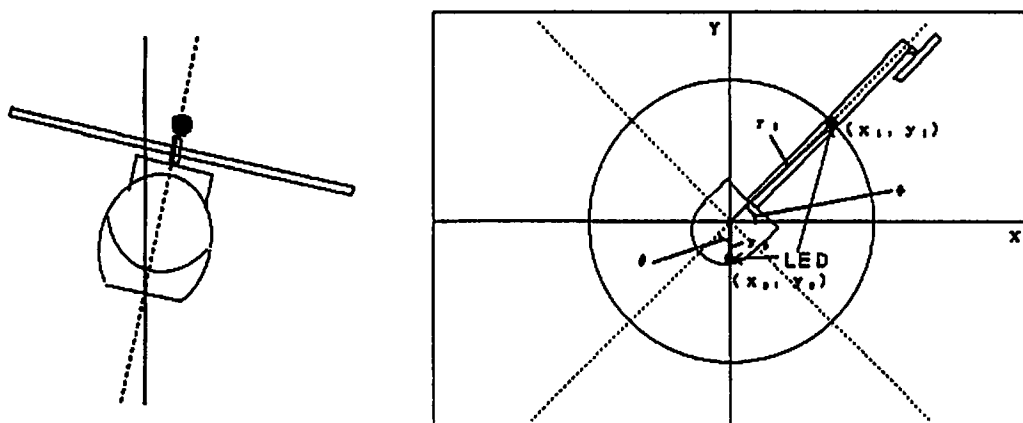


Fig.4 画像による傾きの計測 (2)

3.3 ファジィ推論部

模型ヘリコプタのホバリング制御にはファジィ推論を用いる。入力情報は高さ (Hi)、高さの差分 (dh)、機首の方向 (HA)、機首の方向の差分 (dω)、左右の傾き (Roll)、前後の傾き (Pitching)、の6つで、出力はスロットル (TR)、ラダー (RD)、エルロン (AR)、エレベータ (EV) の4つである。

Fig.5に各メンバーシップ関数を示す。ラベル数は高さと高さの差分が5で、その他は7である。ルールは全部で88有り、ルール作成には

- ・ 各操作には遅れが伴う。

- ・メインロータの回転数を上げる(下げる)とトルクが増加(減少)するので、回転を抑える方向にラダーを調節する。
- ・テールロータのピッチ角を増すと(減らす)とメインロータの回転数が下がる(上がる)のでスロットルを上げる(下げる)。
- ・ラダーを調節するとテールロータのスラストが変化してドリフトを生じるので、これを防ぐためにエルロンを調節してこの力を打ち消す。

などを考慮した。

ファジィ推論の推論法は、一般的な max - min 合成重心法を用いた。

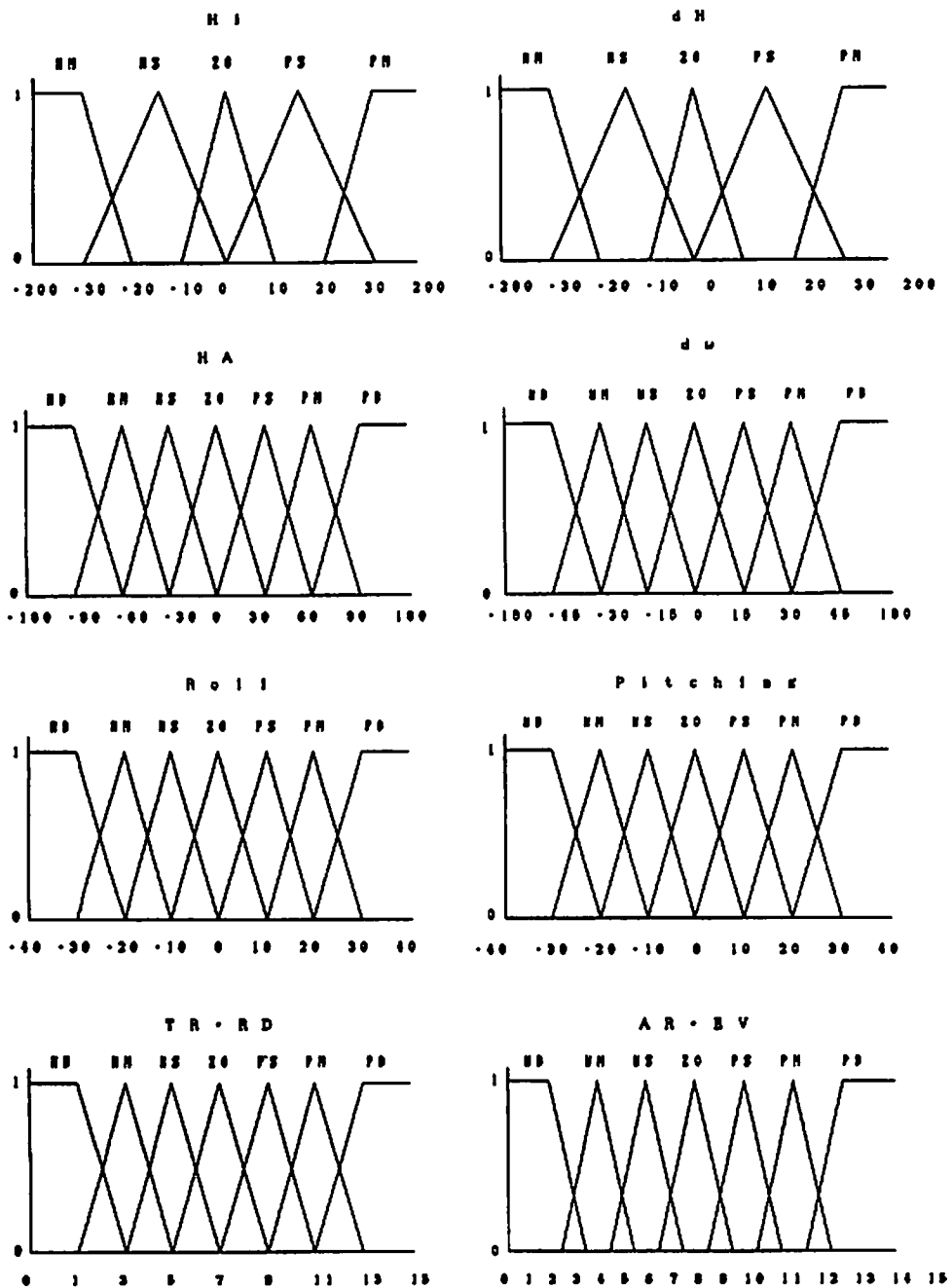


Fig.5 入出力メンバーシップ関数

§ 4. 実験結果

以上の方法によりファジィ推論を用いてシミュレータ上で模型ヘリコプタをホバリングさせたところ、高さと機首方向が目標値に達した後、推論を終了するまで安定した動作が見られた。

なお、高さについては出力が1段階変化すると浮力が大きく変化するのでやや振動が見られたが、その他についてはほぼ良好な結果となった。

ホバリング制御システムの全容及び模型ヘリコプタのホバリングの様子を Photo.1、Photo.2に示す。



Photo1. ホバリング制御システムの全容

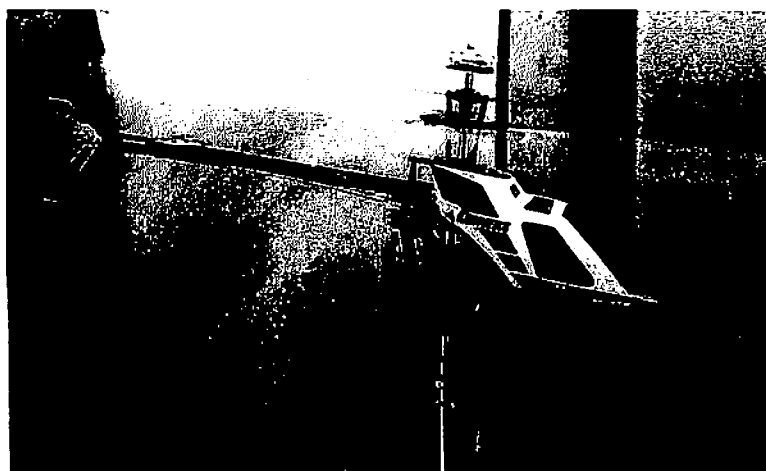


Photo2. 模型ヘリコプタのホバリングの様子

§ 5. 結言

ファジィ推論を用い画像処理を併用して模型ヘリコプタのホバリング制御を行なったが、結果は良好であった。しかし、まだまだ完全に安定したホバリングが行えたわけではないのでさらに改良が必要である。

現在のところ出力値は各4ビットであるが、ファジィ推論ボードを2枚用いることで出力を各8ビットにしより細かな制御とルールの単純化を検討中である。

参考文献

- 1) 西野、室伏、菅野：ファジィ制御によるヘリコプターのホバリング、
第6回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.559/560、1990、9月
- 2) 室伏、菅野、百武：シミュレータ上でのヘリコプターのファジィホバリング制御、
ファジィシステムシンポジウム講演予稿集 (科学技術庁)、pp.22/28、1990、11月
- 3) 上村、石川、須藤：高速・不安定システムにおけるヒューマン・インターフェイス
ファジィシステムシンポジウム講演予稿集 (科学技術庁)、pp.75/84、1990、11月
- 4) 蜂巢、関谷、大谷、芦田、廣田：ファジィ推論ボードを用いた模型ヘリコプタの制御、
第6回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.561/562、1990、9月
- 5) 大山、山野、古田：ラジコンヘリコプタのモデリングと制御、
計測自動制御学会論文集、20、4、pp.70/76、1983
- 6) 筒井善道：ヘリコプターの工学と操縦、酣燈社
- 7) 航空工学講座 (9) ヘリコプタ (第3版)、社団法人 日本航空整備協会 発行