小型ヘリコプタの低コントラスト環境下マーカレスビジュアルサーボ

Markerless visual servo control of a micro helicopter over a low contrast ground

久保田 祐樹 (弘前大) ○ 沼田 拓也 (弘前大) 岩谷 靖 (弘前大)

Yuki Kubota, Takuya Numata, Yasushi Iwatani, Hirosaki University, iwatani@cc.hirosaki-u.ac.jp

This paper proposes a vision-based control method for a micro helicopter over a low contrast ground. The 3D position, the posture and noise information are derived by a parallel template matching technique with edge detections and Gaussian filters. The proposed method does not require any known markers or special settings.

Key Words: visual servoing, unmanned aerial vehicle

1 緒言

ヘリコプタは、垂直離着陸やホバリングなどの他の航空機には無い優れた飛行特性を有する。ヘリコプタを小型化することで、狭小空間の移動などのさらなる移動特性を付加することができる。一方で、ヘリコプタの小型化はペイロード（最大積載量）を減少するため、利用できるセンサの数量や重量が制限される。そこで、探索用に用いる小型カメラが取得した画像のみを用いて小型ヘリコプタを制御する研究が行われている。小型ヘリコプタに対する従来のビジュアルサーボ系では、基準座標となるマーカの色や形、大きさなどの事前情報がなければ制御できなかった[1]。文献[2]の方法は、環境の事前情報は必要としないが、位置推定に使用しているテンプレートマッチングが有効であるような高コントラスト環境下でしか機能しない。文献[2]では、撮影対象が高コントラストになるよう、床面に印刷物を敷いていた。すなわち、環境の事前調整が必要であった。

本稿では、文献[2]の方法にエッジ抽出とガウシアンフィルタ組み合わせることで、低コントラスト環境下でも有効に機能するマーカレスビジュアルサーボ手法を提案する。提案手法は、環境の事前情報取得や事前準備などの手順を必要とすることなく、小型ヘリコプタのホバリング飛行を達成できる。

2 システム構成

システムは、小型ヘリコプタと地上基地局から構成される (Fig. 1)。制御対象である小型ヘリコプタはロータ径 0.35 m の同軸二重反転式であり、これに下向きに無線カメラを搭載する。地上基地局は、カメラ映像の受信機、PC、ヘリコプタへの制御信号送信機から構成される。機器の仕様は Table 1 に示す。

飛行空間の床面には 50 cm × 50 cm の一様な青色カーペットが敷き詰められており、カメラはこの床面を撮影する。カメラが撮影した画像は、受信機を通して計算機に取り込まれる。撮影画像から制御信号が計算され、信号変換器を介して制御信号が無線送信機に送られる。最後に、無線送信機からヘリコプタに制御信

Fig. 1 System configuration.

Table 1 System specifications.

Helicopter	Hirobo, X.R.B SR Shuttle
Camera	RF Systems, RC-12 320 × 240 pixels 30 frames per second
Receiver	RF Systems, Morse typeS
Transmitter	Futaba, T6EXAP
PC	OS: Windows 7 (32 bit) CPU: Intel Core i7 (3.40 GHz) Memory: 4.00 GB RAM

号が送信され、ヘリコプタが制御される。

3 テンプレートマッチング

本研究では、並進テンプレートマッチングによりカメラ画像からヘリコプタの位置・姿勢情報を取得する。並進テンプレートマッチングとは、カメラ画像中の各領域に対してテンプレート（参照画像）との相違度を計算し、テンプレートと最も適合する対応領域を求める手法である。本研究では、低コントラスト環境下でテンプレートマッチングが有効に機能するように、原画像に対してではなく、エッジ抽出画像に対してテンプレートマッチングを行う。さらに、エッジ抽出により増幅されるノイズ成分を、エッジ抽出前後のガウシアンフィルタで除去する。

具体的な手順は以下の通りである。

1. グレースケール化・歪み除去：撮影したカラー画像をグレースケール化した後、事前に取得したカメラの内部パラメータを用いてグレースケール画像の歪みを除去する。
2. ガウシアンフィルタ：歪み除去画像に、サイズ 17 × 17 pixels のガウシアンフィルタを適用する。
3. エッジ抽出：フィルタ適用画像に x 方向に Sobel オペレータを適用した画像と、 y 方向に Sobel オペレータを適用した画像を足し合わせ、エッジ抽出画像を得る。
4. ガウシアンフィルタ：エッジ抽出画像に、サイズ 7 × 7 pixels のガウシアンフィルタを適用する。
5. 並進テンプレートマッチング：正規化した差の二乗和

$$R(X, Y) = \frac{\sum_{x,y} \{T(x, y) - I(X + x, Y + y)\}^2}{\sqrt{\left\{ \sum_{x,y} T(x, y)^2 \right\} \left\{ \sum_{x,y} I(X + x, Y + y) \right\}^2}} \quad (1)$$

を相違度とし、相違度最小の点 $\arg \min_{(X,Y)} R$ を対応点として得る。

4 テンプレートの更新

テンプレートがカメラ視野外に出てしまう場合、異常画像が取得された場合、および、回転や奥行き方向の移動が大きく並進テンプレートが適合しない場合は、テンプレートマッチングは正しく機能しない。これらの状況に対応するため、本研究では、以下の3種類のテンプレートを Fig. 2 のフローチャートに従い更新する。

1. 原点テンプレート：制御開始時における画像の、画像左上から (60, 70) および (160, 70) の座標を左上隅とする2つの 100×100 pixels の小画像。更新はしない。
2. 直前テンプレート：1単位時刻前の画像から取得する。位置と大きさは原点テンプレートと同様である。黒線挿入の場合を除き、毎時刻更新する。
3. 暫定テンプレート：現在の暫定テンプレートが適合しない場合や、暫定テンプレートが画像端において見切れる可能性のある場合に、直前テンプレートを暫定テンプレートに置き換える。

5 ヘリコプタの自律制御

使用するヘリコプタには水平安定化機構が搭載されており、ヘリコプタのピッチ角とロール角は、機械的に自動で制御される。したがって、三次元位置とヨー角を制御すれば十分である。これらは、2つのテンプレートに対するマッチング座標をそれぞれ (x_1, y_1) , (x_2, y_2) とすると、

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad (2)$$

$$y = \frac{y_1 + y_2}{2}, \quad (3)$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}, \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \right), \quad (5)$$

Fig. 2 Update of templates.

より、求めることができる。各状態変数に対して、現在画像が正常画像の場合には PID 制御則を、異常画像の場合には過去の正常画像から計算される I 制御則を適用する。PID ゲインは、限界感度法を基に予備実験により定めた。以上の方法で 10 分間の自律ホバリング制御実験を行った結果を、Fig. 3 に示す。初期状態の近傍で飛行を続ける様子が確認できる。

6 結言

本研究では、環境の事前情報や事前準備を必要としないマーカレスな小型ヘリコプタの制御手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。

参考文献

- [1] 森, 平田, 玉置, 米澤. 視覚情報に基づく小型無人ヘリコプタの誘導制御. 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 8, pp. 905-912, 2008.
- [2] 沼田, 久保田, 岩谷. 小型ヘリコプタのマーカレス高信頼ビジュアルサーボ. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012.

Fig. 3 Time history of the position and rotation of the helicopter and reference images used during a ten minutes hovering flight.