

## 小型ヘリコプタの自律飛行による屋内画像取得

### Indoor image acquisition with a small autonomous helicopter

鳶田雄介, 松川隆典, 荒井翔悟, 橋本浩一

Yusuke Shimada, Takanori Matsukawa, Shogo Arai, Koichi Hashimoto

東北大学

Tohoku University

キーワード: 小型ヘリコプタ (small helicopter), 自律飛行 (autonomous flight)

連絡先: 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01 情報科学研究科 橋本/鏡研究室,  
TEL 022-795-7021, FAX 022-95-4090, E-mail: shimada@ic.is.tohoku.ac.jp

## 1. 緒言

近年無人小型ヘリコプタの開発が活発に行われている<sup>1)2)3)4)5)</sup>. その主な理由は以下の3つである.

- 1) 垂直移動特性や空中停止特性をもっているため, 屋内飛行が可能である.
- 2) 自律飛行が可能になることで人の立ち入りが困難な危険地帯への飛行や監視が可能になる.
- 3) 小型化によりコストが低下し, また墜落時のリスクが軽減している.

したがって, 輸送, 探査, 監視, レスキュー活動の様々な分野での応用が期待されている.

本研究室では, メインロータの直径が数 10 [cm] の小型ヘリコプタを利用した自律飛行制御の研究を行っている<sup>6)</sup>. 小型ヘリコプタは風外乱の影響で屋外飛行が困難なため, 屋内で飛行実験を行っており, ヘリコプタのペイロードを考慮して, 外部に設置された複数台のカメラを

用いたビジュアルサーボにより自律飛行制御を達成している.

本研究では, 人間の侵入が難しい場所, あるいは危険地帯において, 無人ヘリコプタによる視覚情報の取得を想定した研究を行う. そこで, 飛行中のヘリコプタからの画像を取得するために小型無線カメラを搭載する. 後述するが, 既存のシステムにより各時刻におけるヘリコプタの3次元位置・姿勢を知ることができる. したがって本研究では搭載カメラで撮像した画像とヘリコプタの情報を利用して, 屋内環境における貼り合わせ画像の作成, 搭載カメラの画像と実環境の対応付けを用いたヘリコプタの誘導制御を行う.

## 2. 自律飛行制御システム

### 2.1 システム構成

実験システムは, カメラ, ヘリコプタ, 無線送信機, 手動操作用コントローラ, PC, DA/AD変換器, 信号変換回路から構成される (Fig. 1). ヘリコプタは2機, カメラは4台使用する.

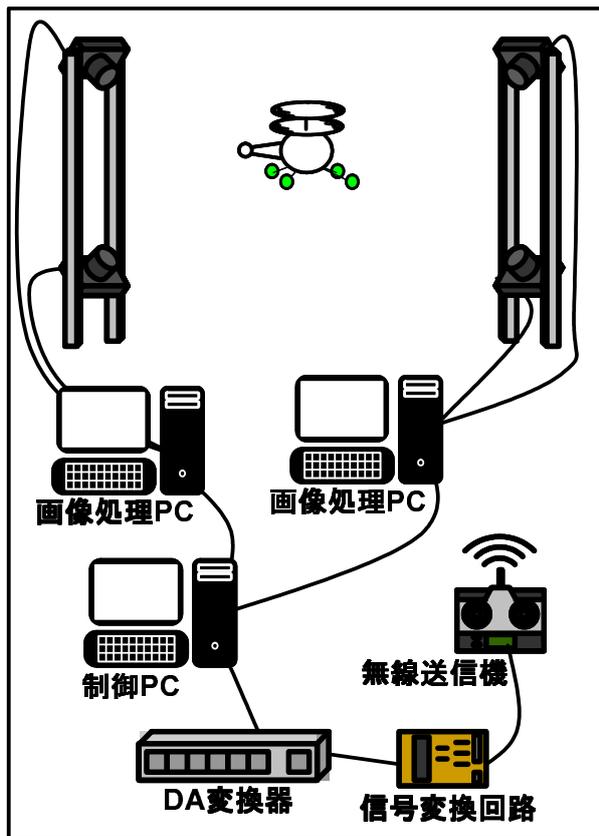


Fig. 1 システムの構成

PC は、制御用と画像処理用の 2 種類がある。1 台の制御用 PC と 2 台の画像処理用の PC が有線でネットワーク接続されている。制御用 PC には AD 変換器を介して手動操作コントローラが接続されている。また DA 変換器・信号変換回路を介して無線送信機が接続されている。画像処理 PC には 2 台のカメラが接続され、画像処理を行う。制御用 PC と画像処理 PC は、UDP 通信により相互に情報を交換することができる。手動操作コントローラは、各ヘリコプタの平衡状態を調整するために用い、自律飛行制御実験には使用しない。

ヘリコプタの下部には、画像処理を容易にするため、直径 5 [cm] の緑色マーカが 4 つ取り付けられている。本研究では、画像上でのマーカの重心位置を画像特徴量として採用する。

次に、誘導飛行制御実験における本システム全体の処理の概要について述べる。制御用 PC

では 1 時刻前のヘリコプタの位置情報からマーカの画像上での位置および大きさを推定し、それぞれの画像処理 PC に送信する。画像処理 PC は、カメラによりキャプチャされた画像に対し、画像処理を行い画像特徴量を計算し、結果を制御用 PC に送信する。制御用 PC では、画像処理 PC からの情報を基にヘリコプタの位置を計算する。位置情報から制御入力を決定し、DA 変換器、信号変換回路および無線送信機を介してヘリコプタへ制御信号を送信する<sup>6)</sup>。

## 2.2 マーカ検出アルゴリズム

マーカ検出で利用するパラメータは色情報の HSV 表色系と呼ばれるパラメータを利用する。ここで HSV 表色系について説明する。HSV とは、色を色相 (Hue: 色あい)、彩度 (Saturation: 鮮やかさ)、明度 (Value: 明るさ) の 3 つの数値で表す表色系である。この 3 つの尺度で色を表すと、その色がどんな色であるか感覚的に分かりやすいという特徴がある。画像処理では色相によって画像内の領域を分離抽出するときによく用いられる。

本研究では主に HSV 表色系の色相値を利用して利用してマーカを検出する。色相値とは照明変化にロバストなパラメータであり、色の色あいを表している。実験環境に設置された 4 台のカメラから撮像された色相値を調べた結果、緑の出現頻度が低いことから、マーカを緑色に設定している。

マーカ検出アルゴリズムの流れをまとめたものを Fig. 2 に示す。またマーカ検出中の画像の変化の概略図を Fig. 3 に示す。ここで述べるマーカ検出とはそれぞれのマーカの重心位置を計算することである。ここで述べるマーカ検出は各マーカごとに毎フレーム行っており、1 フレーム前のマーカ重心を中心とするマーカ直径サイズの 1.5 倍の正方形をマーカ探索領域と設定し、マーカ探索領域内に他のマーカが入る

ことのないように設置してある．マーカ探索領域内のマーカの重心位置を計算し，次のフレームでのマーカ探索領域の中心位置とすることでマーカを検出しつづける．実験はフレームレート 150 [fps] で行っている．

ヘリコプタを実験環境に設置する前に背景画像を事前に取得する．背景画像は実験開始の最初に取得し，その画像を実験中は背景画像として利用し続ける．次にヘリコプタを実験環境に設置し，飛行実験を開始する．カメラは画像を取得するたびにマーカの重心位置を検出する．

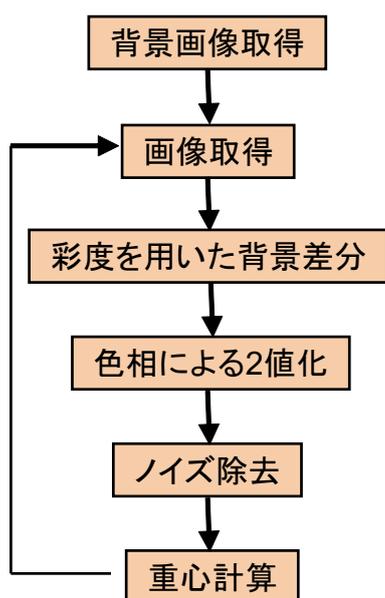


Fig. 2 マーカ検出のアルゴリズム

- 彩度による背景差分

まず取得画像と背景画像を HSV 表色系の彩度の情報において背景差分を行う．彩度とは色の彩やかさを表すパラメータである．彩度を用いた背景差分は背景にマーカと似た色相を持つエリアをマーカと誤認識することを軽減するために行う．取得画像と背景画像のマーカ探索領域における各画素の彩度の差を求める．その差が事前に設定した背景差分の閾値以上の画素のみの情報を保持し，その他の画素はマーカではないと決定する．Fig. 3 の (c) が背景差分を行った後の画像の一例の

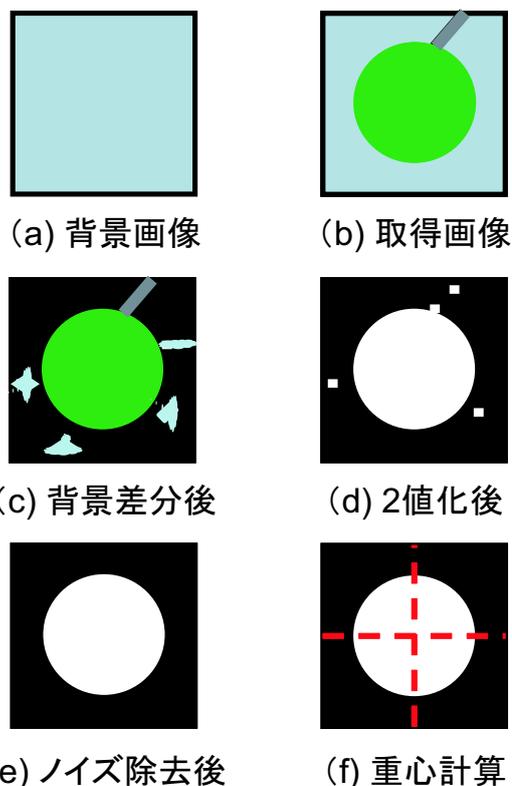


Fig. 3 マーカ検出中の画像の変化の概略図

概略図である．図からわかるようにマーカ以外の部分も彩度が背景と異なる場合も情報が残されている．

- 色相による 2 値化

色相による 2 値化を行う．まず彩度を用いた背景差分を終えて情報が保持されている画素に関して色相による 2 値化を行う．マーカ探索領域内のその他の画素はすべて黒色に変換する．事前にマーカの色相のとり得る範囲を決定しておく．その範囲内の色相を持つ画素をマーカと認識する．マーカと認識された画素は白，その他の画素を黒とする．Fig. 3 の (d) が 2 値化を行った後の画像の一例の概略図である．2 値化後も若干のノイズが残っている．これでは正確なマーカの位置検出ができないため，ノイズ除去の必要がある．

- ノイズ除去

ノイズ除去を行う．本実験ではマーカと

認識されている画素を白としているので、若干白色のノイズがのってしまっている。それらを除去するためにクロージングと呼ばれるノイズ除去の方法を用いた。クロージングとはまず黒い画素を膨張させ、白色のノイズはつぶし、次に黒い画素をもとのサイズに収縮するといった手法である。

- 重心計算

ノイズ除去を経て残った白色の画素がマーカである。そこで白い画素の画像 2 次モーメントを計算することでマーカの重心位置が求まる。

### 3. 搭載カメラシステム

#### 3.1 実験環境

本実験で使用する搭載カメラは(株)アールエフ社の RC-12 (Fig. 4) を使用する。解像度  $320 \times 240$  [pixel] の 8 bit カラースケール画像を最大 30 [fps] のフレーム速度が実現可能な CMOS カメラである。RC-12 はレシーバー Morse typeS (Fig. 4) との間で無線通信を行うことで画像を取得する。Morse typeS はビデオ入出力などで用いられるコンポジット端子を通して搭載カメラ用 PC へ出力する。制御用 PC とは UDP 通信で通信する (Fig. 4)。

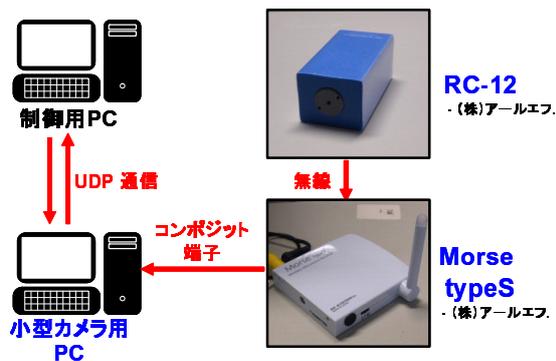


Fig. 4 搭載カメラの環境

#### 3.2 搭載カメラと実環境の対応付け

外部カメラにより毎時刻ヘリコプタの 3 次元位置  $(x, y, z)$  と姿勢  $\theta$  (ヨー軸) を求めている。本実験では  $+x$  方向を正面としたとき ( $\theta = 0$ ) に、重心位置  $(x, y)$  に対し、 $-y$  方向に 3 [cm] の位置に真下の床を移すように搭載カメラを取り付けている (Fig. 5)。したがってある姿勢  $\theta$  の時、実環境における搭載カメラの 3 次元位置  $(x_0, y_0, z_0)$  は、

$$x_0 = x - 0.03 \sin \theta, \quad (1)$$

$$y_0 = y - 0.03 \cos \theta, \quad (2)$$

$$z_0 = z \quad (3)$$

のように求めることができる。ヘリコプタは水平安定化機構によりほぼ水平に保たれている。したがって搭載カメラで取得する画像は、実環境における  $(x_0, y_0, 0)$  を中心に撮像されている。

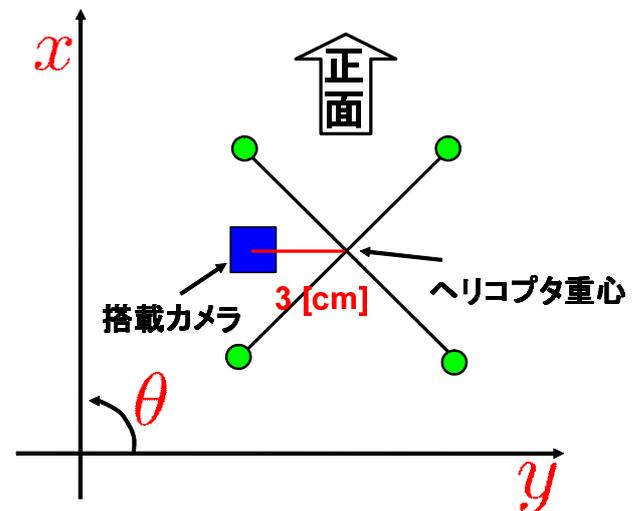


Fig. 5 搭載カメラの位置

高さ  $z$  が高くなるにつき、画像内におけるスケールは比例して小さくなっていく。したがって搭載カメラの高さ  $z_0$  を知ることで画像内のスケール  $PIX$  を決めることができる。

$$PIX = 400.084z_0 + 680.60 \quad (4)$$

この式は実験的に求めた式である。姿勢  $\theta$  の時、画像が  $\theta$  傾いていることを考慮して、画像内

の任意の位置  $(X, Y)$  の実環境での座標  $(X_w, Y_w)$  は、カメラの 3 次元位置  $(x_0, y_0)$  を用いて

$$X_w = (X - 160)/PIX + x_0, \quad (5)$$

$$Y_w = (Y - 120)/PIX + y_0 \quad (6)$$

と求めることができる。

## 4. 実験

### 4.1 貼り合わせ画像作成

前述したように搭載カメラで撮像した画像に対し、その画像が実環境におけるどこの部分を写しているかを知ることができる。これを利用して画像を貼り合わせていくことで、1 枚のヘリコプタの飛行領域における貼り合わせ画像を作成する。

初めヘリコプタは初期位置の  $(x, y)$  座標が  $(-0.25, -0.25)$  に置く。離陸後 60 [cm] の位置でホバリングさせ、高度を保ったまま  $(-0.25, -0.75)$   $(0.25, -0.75)$  と飛行し  $(0.25, -0.75)$  に着陸するように誘導制御する。

ここでヘリコプタは高度 60 [cm]、あるいは姿勢 (ヨー軸回転)  $\theta = 0$  を保ったまま飛行はできない。したがって次のような画像処理を行う。

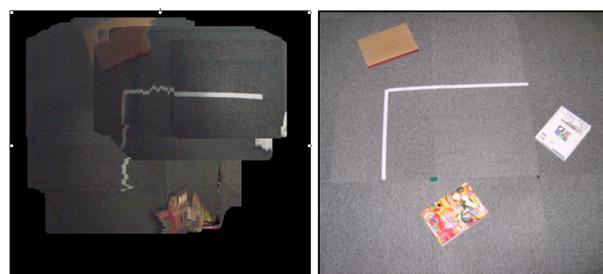
- 高度 60 [cm] の時のスケールを元に画像の拡大・縮小を行い、各画像のスケールを揃える。
- ヘリコプタがヨー軸周りに  $\theta$  回転しているとき、画像を  $-\theta$  回転させ、画像の向きを揃える。

画像処理後  $(x, y)$  座標を元に貼り合わせる。

Fig. 6 は作成した貼り合わせ画像と実際の画像である。比較すると置かれた物体の位置はほぼ同じ位置に確認できた。細部を見るとつなぎ目部分が最大約 5 [cm] 程ずれており、あまり正確でないことが確認できた。

理由を考察すると、ヘリコプタは水平安定化機構により、水平が保たれていると仮定してい

る。しかし実際には微小な振動などで正確に水平が保たれていない。高度 60 [cm] の時、5 度傾くと、約 5 [cm] のズレが生じる。5 度傾くことは十分に考えられるので貼り合わせる位置がズレてしまったと考えられる。



貼り合わせ画像

実画像

Fig. 6 貼り合わせ画像と実画像の比較

### 4.2 誘導制御

搭載カメラの各画素に対し、実環境の座標に対応させることができた。したがって搭載カメラで撮像された画像に対し任意の位置を指定したとき、その位置を実環境に変換することができる。本実験では、ホバリング中に搭載カメラが目標物を中心を撮影できていない時、目標物を指定するとその指定した場所を中心に捉えるようにヘリコプタを誘導制御する。

本システムではマウスでクリックすることで、場所の指定を行う。そして指定した場所の実環境における座標を求める。求めた座標を制御用 PC へ送り、その座標を目標値としてヘリコプタを誘導制御する。

本実験ではまず初期位置上空でホバリングさせる。搭載カメラの端部分で捉えるように設置した目標物をクリックしたとき、目標物を中心に捉えるようにヘリコプタが誘導制御できているかを搭載カメラ、外部から写したビデオカメラを用いて検証した。

実験結果 (Fig. 7) から搭載カメラ画像と実環境の座標の対応付けがうまく行えており、またヘリコプタが 3 次元位置を元に制御を行っていることが確認できた。

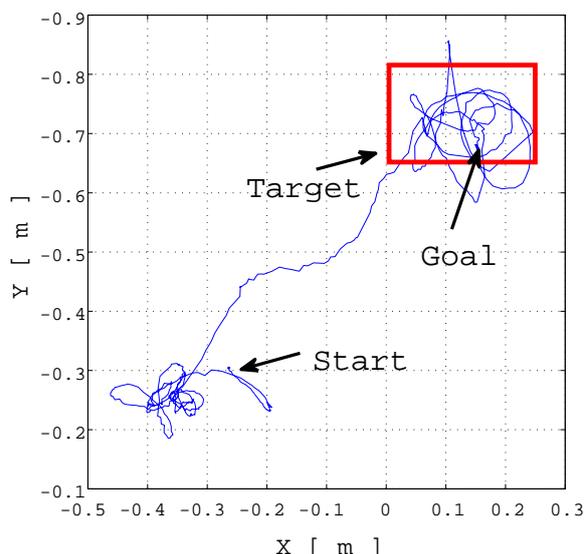


Fig. 7 誘導制御の軌跡

## 5. 結言

本研究では自律飛行中のヘリコプタに搭載した小型無線カメラにより画像取得を可能にした。そして搭載カメラで撮像した画像と実環境の座標を対応させ、貼り合わせ画像の作成と誘導制御を達成した。

今後の課題としては以下の3点が挙げられる。

- 外部カメラから得られるヘリコプタの3次元座標をそのまま使用したので、貼り合わせ画像に誤差が生じていた。今後は外部カメラからヘリコプタのピッチ、ロールの傾きを検出し補正に用いる。あるいは搭載カメラから撮像された画像上の特徴点を利用し画像を貼り合わせるなどの対策で、さらに正確な貼り合わせ画像を作成したい。
- ノイズに対して対策をしなかったが、実験環境によっては今以上にノイズが発生する可能性がある。ノイズが発生したとき、撮像した画像を貼り合わせに利用しないプログラムが必要である。
- 観測環境が非常に限定されていた。外部カメラの台数をさらに増やし、より広範囲での自律飛行を実現させたい。

## 参考文献

- 1) 野波 健蔵 . 回転翼系空中ロボティクス . 日本ロボット学会誌 . vol . 24 , No . 8 , pp . 2-8 , 2006 .
- 2) Brett Bethke, Mario Valenti, and Jonathan P. How. UAV Task Assignment. IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 39-44, MARCH 2008.
- 3) Jonathan P. How, Brett Bethke, Adrian Frank, Daniel Dale, and John Vian. Real-Time Indoor Autonomous Vehicle Test Environment. IEEE Control System Magazine, pp. 51-64, APRIL 2008.
- 4) 大平 悠多 , 王 偉 , 野波 健蔵 . ステレオビジョンカメラを用いた同軸二重反転式ヘリコプタのモデリングと自律飛行制御 . 日本ロボット学会誌 . vol . 26 , No . 8 , pp . 175-182 , 2008.
- 5) 王 偉 , 平田 光男 , 野波 健蔵 , 宮澤 修 . 超小型・超軽量マイクロフライングロボットのモデリングと自律制御 . 日本ロボット学会誌 . vol . 25 , No . 1 , pp . 121-129 , 2007.
- 6) 松川 隆典 . 視覚情報を用いた複数台小型ヘリコプタの編隊飛行制御 . 東北大学工学部卒業論文 , 2008.