

プロジェクト投影映像を介した可視光通信による複数台ドローンの移動制御の安定化の検討

山崎 弘靖 小池 崇文

法政大学情報科学部

1. はじめに

本研究ではプロジェクトで床面に投影した映像に移動情報を載せることで複数台のドローンの移動を制御するシステム[1]において、通信用カメラの高解像度化とドローンの移動特性を考慮した補正を行い、システムの飛行安定性の改善を行う。固定カメラで撮影した飛行映像を用いて、ドローンの想定軌道と実軌道を比較し、飛行の安定性が増したか調べた。

2. 関連研究

著者らの研究グループでは可視光通信を用いた複数台のドローンの移動制御システム[1]を提案している。

可視光通信とは可視光を用いた通信方式である。可視光は直進性があるため特定の位置に特定の情報を送ることが可能であり、また情報の送受信が高速に行える。

移動情報にはスカラーポテンシャルを色の R 成分に符号化した映像を用いる。スカラーポテンシャルはベクトル場 $V(x, y)$ に対して式(1)が成り立つ時の $\varphi(x, y)$ として定義される。

$$V(x, y) = \nabla\varphi(x, y) \quad (1)$$

ドローンに搭載されている鉛直カメラでドローンの鉛直下方の画素の色情報を取得し、その色情報を用いてドローンを制御する。ドローンがスカラーポテンシャルの極小値に向かうように制御することで、想定軌道から外れた場合でも極小値に向かって移動するため想定軌道に戻ることが可能になる。また投影映像にはホバリングを安定させるために周波数の高い画像の G 成分とスカラーポテンシャルを符号化した映像の R 成分を合成した映像を用いている。

3. 提案手法

既存のシステムは、ドローンに搭載されている鉛直カメラが低解像度であり、またドローンの移動時に機体が傾いてしまい機体の真下の移動情報を正しく取得できていないため、ドローンの飛行が安定しない。そこで可視光通信用のカメラをより高解像度にし、さらに機体の真下の画素を取得できるように補正を行うことで、正しい移動情報を正確に取得できるようシステムの改善を行う。

3.1. 通信用高解像度カメラの使用

Raspberry Pi は小型コンピュータであり、通信用高解像度カメラに Raspberry Pi のカメラモジュール v2 を使用する。Raspberry Pi は最も軽量である Raspberry Pi zero を使用する。カメラモジュールは AR Drone に搭載されている鉛直カメラの動画のストリーミング時の解像度である 360p よりも高い 720p に設定して使用する。Raspberry Pi zero と PC 間で移動方向データの送受信を行う必要があるため、AR Drone が発するアクセスポイントを infrastructure モードに設定し、PC と Raspberry Pi zero を同時に接続させてデータの送受信を行う。図 1 に通信用高解像度カメラに Raspberry Pi zero のカメラモジュールを用いた時のシステムの処理の流れを示す。

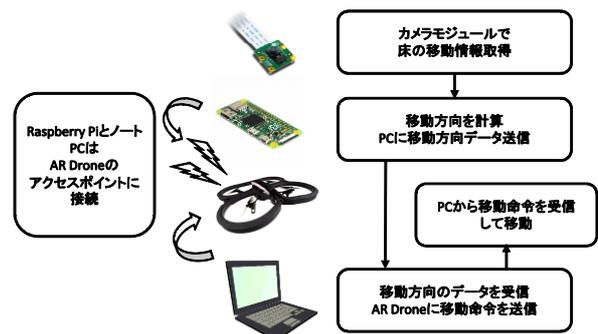


図 1: 通信用高解像度カメラ使用時のシステムの流れ

3.2. 移動特性に対する補正

ドローンは進行方向の位置にあるプロペラの回転数を下げ、進行方向とは逆の位置のプロペラの回転数を上げることで、進行方向への推進力により移動する。そのためドローンが移動する時は僅かに傾きながら移動する。AR Drone も同様に移動時に傾きながら移動するため、搭載している鉛直カメラも傾いてしまい、真下の画素を取得出来ていない。そこで機体の真下の画素を正しく取得できるように補正を掛ける。

ドローンの鉛直カメラの水平画角を θ_{cam} 、鉛直カメラの水平方向の画素数を W 、垂直方向の画素数を H とする。また飛行中のドローンの高度を h 、ドローンの機体の中心に対して傾いている角度を θ_{drone} 、鉛直カメラが映す範囲の横幅を C_w 、縦幅を C_h とする。

まずドローンの鉛直カメラが映す範囲の横幅 C_w と縦幅 C_h を求める。式(2)、(3) はそれぞれ C_w と C_h を求める式である。

$$C_w = 2h \times \tan\theta_{cam} \quad (2)$$

$$C_h = \frac{H}{W} C_w \quad (3)$$

式(2), (3)を用いて, 機体の真下の座標と鉛直カメラで取得する映像の中心座標との差である $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$ を求める. 式(4)が \mathbf{n} を求める式であり移動方向毎に計算を行う. 鉛直カメラで取得する映像の中心座標から \mathbf{n} を加減することで機体の真下の座標を取得する.

$$\mathbf{n} = \left(\tan\theta_{\text{drone}} \times h \times \frac{W}{C_w}, \tan\theta_{\text{drone}} \times h \times \frac{H}{C_h} \right) \quad (4)$$

4. 比較実験

4.1. 実験方法

既存システムと提案システムの飛行精度を比較するため, スカラーポテンシャルで表現した軌道を2つ定義する. 式(5), (6)が本実験で使用するスカラーポテンシャルの式である. 以下, 式(5)が表す軌道を軌道1, 式(6)が表す軌道を軌道2とする.

$$\varphi_1 = \frac{1}{2}x^3 + \frac{1}{2}y^3 \quad (5)$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{2}x^3 - \frac{3}{2}x^2 + \frac{3}{2}x + \frac{1}{2}y^3 \quad (6)$$

次にビデオカメラを利用してドローンの飛行軌道を撮影する. 撮影した動画から飛行軌道の座標を計測し, 計測した座標と想定軌道の座標を比較して飛行精度の評価を行う. 投影範囲の上部に設置した固定ビデオカメラで飛行の様子を撮影し, 撮影した動画から1秒毎に1フレームを取り出す. 取り出したフレームに対してドローンの座標を手動で指定し, 記録する.

本研究では以下の4つの制御システムを比較した.

- 著者らの既存のシステム(以下, 既存)
- 高解像度カメラを用いたシステム(以下, HD)
- 傾きの補正を加えたシステム(以下, AS)
- 高解像度カメラの使用及び傾きの補正を加えたシステム(以下, HD+AS)

1つのシステムにつき, 軌道1と軌道2の2つの軌道を3回ずつ飛行させ, 3回の座標値の平均値をそのシステムの記録とする. 想定軌道座標と各システムの飛行軌道座標の原点からの距離の相対誤差を算出する. 相対誤差が小さいほど想定軌道通りに飛行できているため, 精度が良いと言える.

4.2. 実験結果

図2, 図3は軌道1, 2における4つのシステムの飛行軌道と想定軌道の原点からの距離をプロットしたものである. 表1は想定座標と4つのシステムの飛行軌道座標の原点からの距離の相対誤差を算出した結果である. 式(7)が相対誤差 e を求める式である. s_i を計測した軌道の i 番目の距離, t_i を i 番目の想定軌道の距離, 計測した距離のデータ数を N とする. 軌道1は $N=40$, 軌道2は $N=20$ とした.

$$e = \frac{\sum_{i=0}^N \frac{|s_i - t_i|}{t_i}}{N} \quad (7)$$

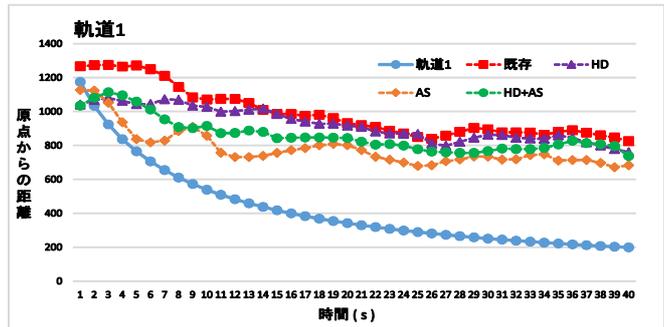


図2: 軌道1の想定座標と飛行座標の原点からの距離

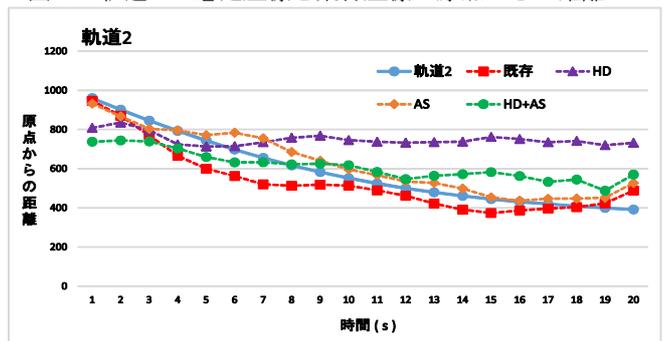


図3: 軌道2の想定座標と飛行軌道の原点からの距離

表1: 各システムの原点からの距離の相対誤差

	軌道1	軌道2
既存	1.772	0.115
HD	1.635	0.408
AS	1.221	0.086
HD+AS	1.450	0.180

4.3. 考察

既存システムと比較して, 移動時の傾きの補正を加えることで軌道1と軌道2の相対誤差の値が全て下回ったため, 傾きの補正をすることで精度が良くなると考えられる. 高解像度カメラを使用した場合は精度が落ちる場合があった. Raspberry Pi を搭載して飛行しているため, 重心が僅かにずれることで機体が傾いてしまうことや, カメラの解像度を大きくしても正しい位置の情報を取得できていないことが原因だと考えられる.

5. 結論

本研究では, 著者らのプロジェクタ投影映像を介した可視光通信による複数台ドローンの移動を制御するシステムにおいて, 通信用カメラの高解像度化, ドローンの移動特性を考慮した補正を行い, ドローンの安定性の改善を行った. 実験結果から移動時の特性を考慮した補正をシステムに組み込むことで, 既存システムに比べて想定軌道との誤差が小さくなる事が確認できた.

文献

- [1] 鈴木朋実, 小池崇文: プロジェクタ投影映像を介した可視光通信によるドローンの安定な空間移動制御方法, 第20回日本バーチャルリアリティ学会全国大会, 12D-4, 2015