

プロジェクタ投影映像を介した可視光通信による ドローンの三次元空間移動制御方法

石川 優希* 寺島 広† 小池 崇文*
法政大学情報科学部* 法政大学大学院情報科学研究科†

1. はじめに

本研究ではプロジェクタで投影した映像に移動情報を乗せることでドローンの移動を制御するシステム [1][2] において、ドローンの移動制御の三次元化を行う。既存システムでは一面だけに映像を投影していたが、本システムでは投影映像を二面にすることで、ドローンの移動方向制御の三次元化を実現する。また固定カメラで撮影した飛行製造を用いて、ドローンの想定軌道と実軌道を比較し、飛行の安定性と精度を調べた。

2. 関連研究

著者らの研究グループでは可視光通信 [3] を用いた複数台ドローンの移動制御システムを提案した [1][2]。鈴木らのシステムでは自分の位置を計測せずに、投影映像から移動方向を計算できるという利点がある。可視光通信を使うことにより周囲の通信環境に依存せず、情報の高速な送受信を可能にしている。また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る。

移動情報にはスカラーポテンシャルを RGB 色空間の R 成分に符号化した映像を用いた。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) が成り立つときの $\varphi(x, y)$ として定義される。

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

スカラーポテンシャルはユーザの指定した速度ベクトルに沿って生成される。生成されたスカラーポテンシャルは映像に符号化されプロジェクタにより投影される。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向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。ドローンは隣り合う画素のスカラーポテンシャルの値を比べ、小さいほうに移動していく。その結果、極小値に向かうような勾配により制御され、想定軌道から外れた場合でも想定軌道に戻ることが可能になる。またドローンは鉛直カメラの映像をホバリングの位置制御に使用しているため、床面が単調なグラデーションではホバリングが安定しない。そこで、ホバリング安定化のために模様のある画像を G 成分に合成して投影した。これらのシステムでは水平方向のドローンの移動を制御しているが、鉛直方向の移動制御は行われていなかった。

Three Dimensional Movement Control of Drone by Visible Light Communication through Projection Image

*Yuki ISHIKAWA, Takafumi KOIKE

Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University, Tokyo, Koganei-shi, 3-7-2 Kajino-chou

†Hiromu TERASHIMA

Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University, Tokyo, Koganei-shi, 3-7-2 Kajino-chou

3. 提案手法

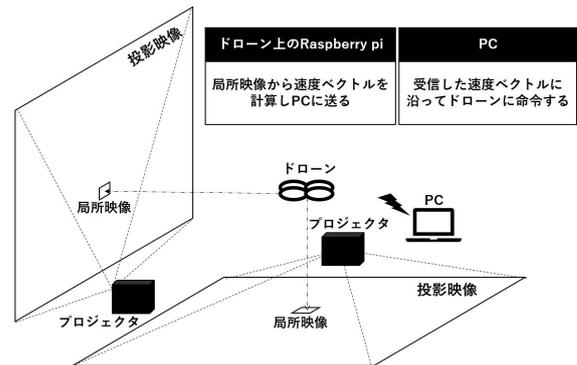


図 1. システム概要図

システムの概要を図 1 に示す。ドローンに移動情報を指示するための映像を PC で生成し、単焦点プロジェクタを通じて床と壁に投影する。床に投影する映像には水平方向の移動情報を埋め込んだ映像、壁に投影する映像には鉛直方向の移動情報を埋め込んだ映像を使用する。

ドローン上に取り付けられた Raspberry pi のカメラを使用し、ドローンの真下、真横の投影映像の一部である、局所映像を撮影する。撮影した映像から Raspberry pi 内で速度ベクトルを計算し、PC に送信する。そして再度 PC からドローンへ移動命令を出すことによってドローンを制御する。

3.1. 移動制御の三次元化

既存システムではドローンの移動制御はスカラーポテンシャルを符号化した映像を床面に投影し、ドローンに搭載した鉛直カメラにより床面の移動情報を取得していた。そこで壁面にも移動情報を載せた映像を投影する。壁面に投影された映像をドローンに搭載した水平カメラにより取得し、鉛直方向の移動を制御する。プロジェクタを 2 台用意し、一方のプロジェクタで映像を床面に投影する。もう一方は床に対して直角をなしている壁面に投影する。

スカラーポテンシャルは一つの変数で表すことができる。本システムで使用するプロジェクタは人間の目の特性を考慮し G 成分を強く出力するため、既存システムと同じく R 成分に符号化すると不具合が起きる可能性がある。そのため本システムではスカラーポテンシャルを G 成分に符号化する。

今回用いるドローンは、鉛直カメラの映像と高度センサーで計測した値から、機体の位置を推定してホバリングを行っている。その特性上、ホバリングを安定させるための基準点を床に投影する必要がある。そこで、移

動制御で使わない R 成分を使い、ホバリングを安定させる画像を使用する。

壁に投影する映像は既存の投影映像の生成からホバリング安定用の映像を抜いたものである。ドローンは鉛直下方向の映像からホバリングを安定させているため、壁方向には安定用の映像は不要である。

鉛直方向の移動情報の符号化には、水平方向の移動制御と同じくスカラーポテンシャルを使う。しかし、水平方向と鉛直方向の移動制御は制御する方向が異なる。横方向の移動制御を床面に投影された映像で制御できているため、壁用投影映像はドローンの上下の制御のみでよい。そのため、横方向のベクトルは床面に投影する映像と同じ動きをする速度ベクトルで符号化する。

4. 実験

実装したシステムを用いて、安定性と飛行精度について実験を行った。ドローンの移動速度は水平移動、鉛直移動共に 1.0m/s に設定し、実験室内の照明はすべて消す。またプロジェクタの画質調整を行い、ドローンに搭載されているカメラから取得する映像が鮮明になるように調節している。映像は 145cm × 250cm で投影した。

4.1. 安定性の実験

スカラーポテンシャルを用いた二つの投影映像により、ドローンが想定軌道内に戻るかの実験を行った。極小値を少しずらした映像を床投影用、壁投影用ともに三枚ずつ準備し、映像を切り替えることによりドローンの変化を確認する。床投影用映像は極小値を 60cm ずつずらし、壁投影用映像は 34cm ずつずらした。実験した結果、ドローンは極小値に向かって移動することが分かった。しかし、ホバリング時にとても不安定な状態になり、極小値から離れようとする動きもみられた。よって本手法は移動時の安定性がある一方で、ホバリング時に不安定になることが確認できた。

4.2. 軌道取得実験

本システムの飛行精度を測定するため、スカラーポテンシャルで表現した軌道でドローンを飛ばし、想定軌道と比較する。ドローンの位置の測定手法はモーションキャプチャシステム、GPS、マーカーを用いた手法が一般的である [4]。本実験ではキャプチャシステムの一つである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。撮影した動画から手で座標をプロットし想定軌道と比較することで飛行精度の評価を行う。

式 (2), (3) が本実験で使用するスカラーポテンシャルの式である。式 (2) が水平移動制御のための式、式 (3) が鉛直移動制御のための式である。色に符号化するためにスカラーポテンシャルの値を 0~1 の範囲に収まるように調整している。

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

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

図 2 は xy 平面と xz 平面の飛行軌道をそれぞれプロットしたものである。実験の結果、ドローンは想定軌道に沿って移動はしているが、飛行精度が低いということが分かった。何度か実験をしたところ、ドローンが想定軌

道から遠く離れる動きをすることや、極小値にたどり着く前にホバリングを始めてしまうことがあった。原因としてホバリング安定用の画像の明るさが弱い、模様が悪いことがあげられる。

今回使用したプロジェクタは人間の目の特性に合わせるために G 成分を強く照射しており、R 成分は暗く見え、ホバリングが安定していない可能性がある。また今回 Raspberry pi をドローンの上部に固定しているため、重心が想定以上にずれている可能性も挙げられる。

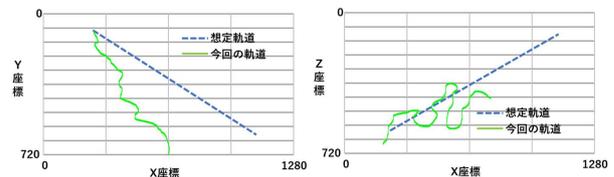


図 2. 飛行軌道

4.3. 考察

本システムの飛行精度が低い理由は 3 つ挙げられる。1 つ目はホバリング安定用の映像である。本システムで使用した AR Drone は地面をカメラで取得し、ホバリングを安定させているため、ホバリング安定用画像には非常に高周波で安定する模様の画像を選ばないといけない。

2 つ目はスカラーポテンシャルをスカラーポテンシャルを RGB 色空間に符号化している点である。本システムでは生成した映像をドローンで取得し処理をする間で、プロジェクタ、カメラなど複数のハードを経由している。RGB 色空間は、ハードによりベクトルの設定が少しずつ違っており、経路する際にベクトルが回転してしまうことがある。

3 つ目は、本実験ではドローンが 3 次元空間を移動しているため、ドローンが取得している映像の範囲が大小することである。これがホバリングを不安定にし、飛行精度の低下を招いている可能性がある。

5. 結論

本研究では、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移動制御の三次元化手法を提案した。実験を行い、投影映像の二面化により、ドローン移動制御の三次元化を確認できた。しかし、飛行精度が低いという課題が残った。

今後の課題としてドローン上のカメラの移動時の補正、ホバリングがより安定する映像の生成、移動情報の符号化手法を検討する必要がある。

参考文献

- [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, 2015.
- [2] 山崎弘靖, 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移動制御の安定化の検討. 情報処理学会第 79 回全国大会, 2015.
- [3] 春山真一郎. 可視光通信. 電子情報通信学会誌, Vol. 94, No. 12, pp. 1055–1059, December 2011.
- [4] Lucas Vago Santana, Alexandre Santos Brandão, and Mário Sarcinelli-Filho. Navigation and cooperative control using the ar.drone quadrotor. *J. Intell. Robotics Syst.*, Vol. 84, No. 1-4, pp. 327–350, December 2016.