

# 色偏移変調を利用したマーカの検出および識別手法の検討

中野 春樹<sup>†</sup> 梅澤 猛<sup>‡</sup> 大澤 範高<sup>‡</sup>

千葉大学工学部総合工学科情報工学コース<sup>†</sup> 千葉大学大学院工学研究院<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

ドローンの屋内自律飛行において、着地地点の指標として用いられる指定ルール型 AR マーカ [1] は、単眼カメラで相対位置測位、個体識別ができるという利点がある一方、遠距離の場合にはマーカの要求サイズが大きくなるという問題がある。これは、AR マーカの処理アルゴリズムにパターンマッチングが含まれることに由来する。例えば、後述の実験条件で撮影した場合、距離 10m での分解能は約 25 mm/pixel である。そのため、50 種を区別できるようにサイズ  $6 \times 6$  pixels のパターンを構成する場合には、距離 10m で検出するには最低でもマーカの一边を  $25\text{mm} \times 6 = 15\text{cm}$  とする必要がある。さらに、正面以外からの撮影や、マーカの種類増強に対応するためには、マーカサイズをこれよりも大きくする必要が生じる。

そこで本研究では、2次元パターンで区別するのではなく、色を時間変化させる色偏移変調によるマーカを用いて、検出と識別をする方法を検討する。

## 2 色偏移変調マーカ

ドローンに適した色偏移変調マーカの基本として、マーカ全体の色の変化する方式を検討する。

色変位変調マーカの信号の単位となるシンボルは大きさ  $2^k$  の符号アルファベット集合の要素とし、シンボル列から構成される符号語の長さを  $N$  とする。たとえば、 $k = 3$  で色偏移変調を行う場合には、Red/Green/Blue の各色の点灯の有無によってシンボルを表現できる。 $N = 5$  とすれば、 $(2^k)^N = (2^3)^5$  の状態を 1 符号語で表現できる。

復調の際は、カメラの映像からシンボルを検出、一定時間の各画素のシンボルの变化から符号語を構成し、あらかじめマーカとして定義した符号語と一致した画素をマーカとして検出する。

カメラとマーカが移動しない場合には、カメラ映像から容易に復調できるが、ドローン等の用途を考えると飛行中はカメラが完全に静止することは無い。そこで、カメラが移動しても復調できるように、映像中のマーカの位置を推定し、適切に復調できるようにする。推定は映像のオプティカルフローなどを基にする。

## 3 実験

映像中のマーカ位置の推定誤差に対する頑健性を高めるためには、マーカを大きくすることが考えられるが、実用上はできるだけ小さい方が望ましいことから、撮影距離とマーカサイズ、マーカ位置の補正方法の関係を実験的に評価する。

実験は、大学内の研究室で行った。床面積は約  $11\text{m} \times 5\text{m}$  で天井高は約 2.5m である。照明条件の変動を最小化するため、計測は日没後、窓のブラインドを全て締めきり、天井に 8 か所 2 本ずつ設置された 32W 白昼色蛍光灯を全て点灯させた状態で行った。マーカは Surface Pro 6 上に表示した。搭載ディスプレイの画素密度は約 270dpi であり、常に最大輝度である約 470nit で表示を行った。ドローンには、Holy Stone HS720E を用いた。機体前方向きにカメラが搭載されており、記録画質は FHD( $1920 \times 1080\text{pixel}$ ) の 60fps、水平視野角  $130^\circ$  である。電子手振れ補正搭載であり、計測時も機能を使用した。プロペラによる振動等の高周波数の補正のみであり、カメラの移動など低周波数の動きには対応していない。カメラの設定の可変項目は、輝度:50、彩度:100、ISO 感度:100、ホワイトバランス:4000K(蛍光灯)とした。

検出の際は、ディスプレイの各色の強度とカメラの感

Marker detection and identification methods using color shift keying modulation

<sup>†</sup> Haruki Nakano, Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Chiba University

<sup>‡</sup> Takeshi Umezawa, Noritaka Osawa, Graduate School of Engineering, Chiba University

度の違いや、環境光に影響されることから、映像中の各画素の各色が点灯しているかを判断するために適切な閾値を決める必要があり、今回は静止状態 1cm 四方のマーカで検証した結果、最も遠距離から識別することができた閾値とした。

今回の条件では Red の強弱の識別がしづらかったため、 $k=2$  とし、Green と Blue を用いた。

マーカには、同じアルファベットが連続しない符号語のみを用い、符号語長は  $2^k \cdot (2^k - 1)^{N-1} > 7.9 \times 10^4$  通りの表現が可能な  $N = 10$  とした。

色偏移の変調周波数は 30Hz とし、映像中の 2 フレームで 1 シンボルが表される。

#### 4 評価

静止状態と飛行状態に分けて計測、評価を行った。

マーカとして、1 辺の長さが 1cm~5cm の正方形をディスプレイの中央に表示し、マーカ以外の部分は黒背景とした。マーカの符号語は乱数により決定し、1 シンボルを点灯状態の組 (Green, Blue) で表現すると、 $[(0,0),(1,0),(0,1),(1,1),(1,0),(0,1),(1,1),(0,0),(0,1),(1,1)]$  とした。

計測の際は、図 1 のように、マーカと計測距離だけ離れた地点を計測地点とし、計測地点にドローンのカメラが位置するように配置した。静止状態では、ドローンを静止した土台の上に置き撮影、飛行状態では、目視で計測地点を中心とした 1m の立方体内に収まっていることを安定の条件とし、浮上後に 5 秒間安定飛行した際の撮影データを利用した。

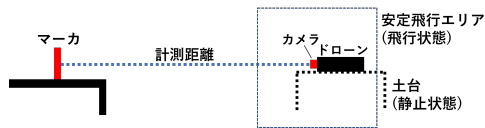


図 1 実験環境

各距離各サイズ 5 秒間に 60fps で撮影した 300 フレームの画像をもとに検出を評価した。

飛行状態ではカメラの動きが一定ではないため、検出開始フレームを 5 フレームずつずらして 50 回、検出開始フレームから 20 フレームの画像内で検出を試み、何回検出に成功するかを検証した。

また、飛行状態では、カメラの動きをアルゴリズム ORB[2] で推定し、マーカの観測地点をカメラの動きに対応してずらした検出も行った。

4cm, 5cm 四方のマーカでは、すべての距離、状態において 50 回の試行すべてを認識できた。3cm 四方までの静止状態、飛行状態、飛行時のカメラの動きを補正した状態の結果を比較したグラフを図 2 に示す。

1cm 四方のマーカでは、静止状態で 8m まで完全に検出できたが、9m 以上では検出できなかった。飛行状態の結果は、カメラの動きの補正を行うことで、正しい検出回数が増加した。

2cm 四方と 3cm 四方のマーカで、静止状態では 10m まで完全に検出できているが、飛行状態の結果は、2cm 四方では 8m, 3cm 四方では 9m から検出回数が減少している。カメラの動きの補正を行った場合は、6m までの結果は回数が向上しているが、2cm 四方の 8m や、3cm 四方の 10m の際は、逆に回数が減少している。

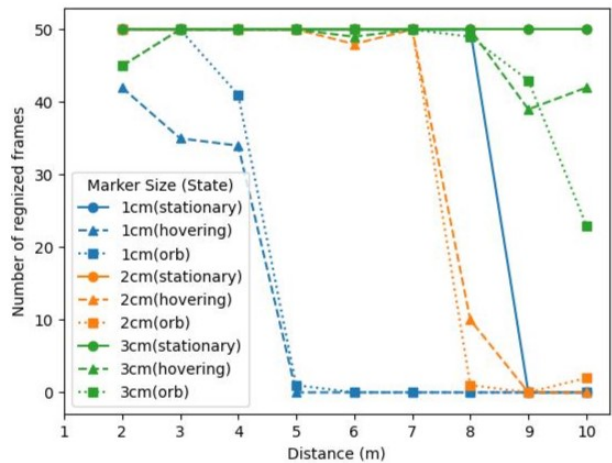


図 2 マーカとの距離と検出回数 (50 試行)

#### 5 まとめ

マーカに色偏移変調を用いることで、同一距離であれば、AR マーカより小さなマーカで検出が可能となった。また、カメラの動きに対しての頑健性の改善方法や、環境光の影響の検討と評価が今後の課題である。

#### 参考文献

[1] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *IWAR 99*, 1999.

[2] Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, and Gary R. Bradski. Orb: An efficient alternative to sift or surf. *ICCV 2011*, 2011.