

## 2×2, 3×3 に対応したルービックキューブロボットの開発

天野翔<sup>†</sup> 渡辺寛望<sup>†</sup> 小谷信司<sup>†</sup>

山梨大学

### 1. はじめに

山梨大学では組込みシステムの技術者の育成のため、「組込み型統合システム開発教育プログラム」を設けている。本プログラム演習で作製している「ルービックキューブロボット」について報告する。

ルービックキューブロボットは 1 種のパフォーマンスをするロボットである。3×3 のルービックキューブ (以下キューブ) の色情報をカメラにより取得し、その色情報を基に解法を計算した後、ロボットアームで実際にキューブを正確に回転させ完成させる。そのためこの種のロボットにはエンタテインメント性がある。

多くの場合、3×3 のキューブの 1 種類のみ用いられるが、本稿ではエンタテインメント性の向上として、2×2 と 3×3 の異なった 2 種類のキューブに対応できるルービックキューブロボットの開発を行う。

### 2. ルービックキューブロボット

#### 2.1 目的

画像処理により色を識別し、2×2, 3×3 の 2 種類のキューブをシステムの変更なしでキューブを完成できるロボットを目指して開発を行っている。

#### 2.2 システム構成

作製しているロボットの大きさは縦 300mm, 横 400mm, 高さ 300mm で、画像処理によりルービックキューブの色を読み取り、3 つのアームで実際にキューブを回転させる。使用するキューブのサイズは 2×2, 3×3 共に縦 57mm, 横 57mm, 高さ 57mm である。図 1 にシステム構成を示す。本システムは画像処理部、制御部、動作部の 3 つから構成されている。画像処理部では、画像取得に CCD カメラ WAT-240VIVID (Watec) を使用した。NTSC で画像処理コンピュータ SVP-330 [1] (ルネサス北日本セミコンダクタ) へ画像を送信し、画像から色、位置情報を求める。制御部ではマイコン H8/3052F [2] (ルネサステクノロジ) を使用し、画像処理コンピュータと RS-232C で通信を行い、送られてきた色、位置情報を基に動作部の計 3 つのモータを制御しアームを動作させる。

アームは 3 種類あり、1 つはインデックステーブルである。キューブを保持し水平方向に回転させる。このアームにはステッピングモータ PK566AW (オリエンタルモータ) を使用する。

また、キューブの姿勢を整えキューブ上部のみを固定するホールドアームと、ピストン運動により垂直方向にキューブを回転させるプッシュアームがある。これらのアームには R/C サーボモータ RS995 (SANWA) をそれぞれ 1 台ずつ使用する。

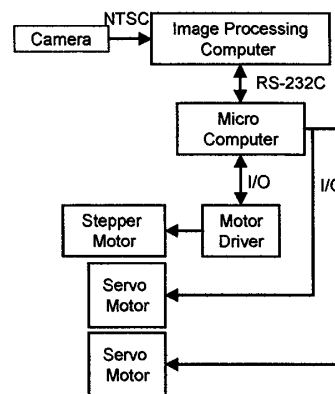


図 1: システム構成

### 3. 画像処理

#### 3.1 色と位置の識別

キューブの色を 6 面につき 1 色、白青緑赤黄橙の計 6 色と位置を識別する。YUV 形式で画像を取得し、設定した閾値により 2 値化する。カラー画像処理の場合色の閾値は光源の色温度、照度などの影響により変化するため設定が困難だが、ここでは光源は一定で実験を行った。また、キューブの着色面に傷や色落ち、マークなどがある場合、処理結果に影響が出てしまうのが問題である。この問題には 2 値化された画像に面積フィルタを用いたラベリングを行いその影響を小さくし、さらに位置情報を取得できる。図 2 に使用したキューブを示す。

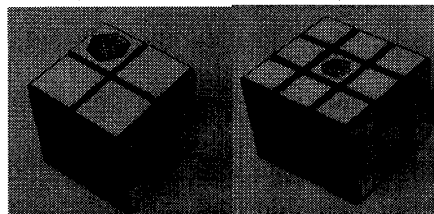


図 2: 2×2 (左), 3×3 (右) のキューブ

#### 3.2 キューブの種類の識別

図 3 に画像処理部での一連のアルゴリズムの流れ

Development of the Rubik's Cube robot corresponding to 2x2 and 3x3

Sho Amano<sup>†</sup> Hiromi Watanabe<sup>†</sup> Shinji Kotani<sup>†</sup>

<sup>†</sup>University of Yamanashi

れを示す。

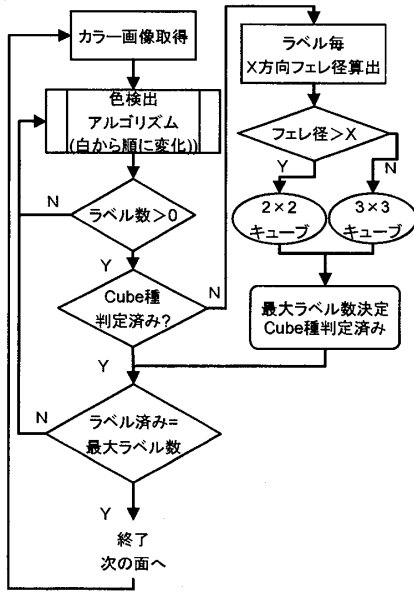


図 3: キューブの色, 種類取得アルゴリズム

色の識別に使用したラベリング情報を利用し, 各ラベルのフェレ径の大きさにより 2×2, 3×3 のキューブの種類の識別を行う。

図 4 にキューブの 1 面の画像を処理した結果を示す。原画像は CASIO の EXILIM EX-F1 で取得し, 画像サイズは 640×480pix で, カメラからキューブまでの距離は 200mm, 光源が変化しない環境で撮影を行った。図 4 では各ラベルの重心位置に矩形と各々の色の頭文字を描画しており, 1 面でのすべての色を識別できている。実装時には図 3 のアルゴリズムを 6 面すべてに適用し, 色と位置, キューブの種類をロボットに識別させる。

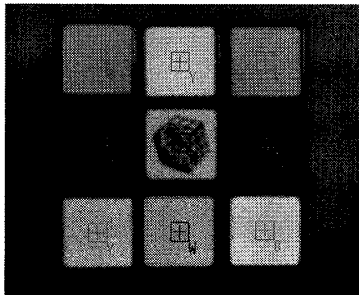


図 4: 識別結果

### 3.3 光源の変化

光源を一定に保つことは現実的に難しく, 光源の変化に対応して, 色の閾値を変更する必要がある。光源の変化にもある程度対応する方法を検討する。

図 5 に光源が異なる時(屋内白熱灯・蛍光灯, 屋外日向・日影)の各色の YUV の画素値の平均値を示す。平均値は各色から 40×40pix ずつ手作業で切り出した画素値から求めている。

図 5 より, 特に Y と U の値が近い白・橙・黄の閾値を判別しにくいことがわかる。

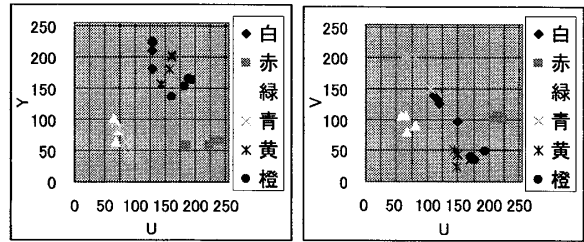


図 5: 光源変化による画素値の分布

本システムではキューブの色が既知, 撮影する範囲も固定ということから, 撮影範囲内に白色のテンプレートを設置し, キューブの白色の検出をより容易にする。検出された白色の画素値を利用し, 白色は Y, U, V (255, 128, 128) の値をとるようホワイトバランスの処理を行う, この処理では YUV の各画素値の変化量の割合を用いて, その他の色の閾値を変化させるという手法をつかう。

図 6 に, 図 5 の値にホワイトバランスの処理を施した結果を示す。

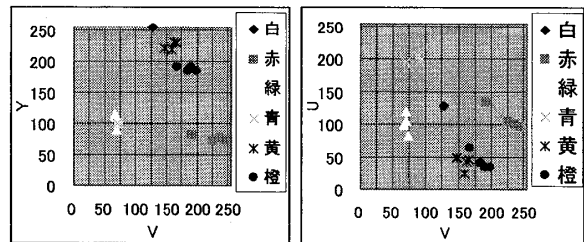


図 6: ホワイトバランス後の画素値の分布

この結果からホワイトバランスの処理を施す前と比べ各色が分離できていることがわかる。

### 5. まとめ

現在作成しているルービックキューブロボットについて報告し, 限定された光源下でのキューブの種類と色を識別するためのアルゴリズムについて述べ, さらに光源の変化に対応する為の手法について述べた。今後はこれらの手法のロボットへの実装とロボットの動作環境の構築を行っていく。

### 参考文献

- [1]ルネサス北日本セミコンダクタ:SVP-330 取扱説明書
- [2]横山直隆:C 言語による H8 プログラミング, 技術評論社, 2003
- [3]オリエンタルモータ CRK シリーズ 取扱説明書
- [4]デジタル画像処理, CGARTS 協会