

# 投射マーカを利用した AR システムの開発と応用

## Development and Application of the AR system Using the Projection Marker

田中 雄基<sup>†</sup>  
Yuki Tanaka<sup>†</sup>

田代 裕子<sup>†</sup>  
Yuko Tashiro<sup>†</sup>

齊藤 剛<sup>†</sup>  
Tsuyoshi Saitoh<sup>†</sup>

### 1. はじめに

マーカ型 AR システムの利用および適用範囲を拡げ自由度を高めることを目的とし、投射マーカの開発を行っている。投射マーカとは、プロジェクタで壁や床などに投影した AR マーカのことを指す。投射マーカは形状や大きさ、そして位置を動的に自由に変えることができるため、従来の紙マーカの情報量に比べ、より多くの情報をマーカに付加することが可能である。これにより、AR 映像の表現の多様化や複数端末間の AR 映像の同期など、新たな分野への AR 技術適用が期待できる。また、投射マーカに黒以外の色を使用したカラー投射マーカを実装した。カラー投射マーカは、色情報を持つことによりマーカの持つ情報を増やすことができるだけでなく、マーカ同士が重なった場合でも両方のマーカをそれぞれ認識することも可能である [1]。

投影するマーカ映像のリアルタイム補正を可能にすることで投射マーカの適用範囲をさらに広げることができる。本稿では、投影映像のリアルタイム補正を中心に、投射マーカの特徴について述べ、今後の展望を述べる。

### 2. 投射マーカ

プロジェクタで壁などに投影したマーカを投射マーカと呼ぶ。投射マーカの利点は、AR マーカのパターン、大きさそして位置を、動的かつ柔軟に変更できることである。したがって、多くの情報を持つことから AR マーカ上に描画される CG モデルの種類や大きさを容易に変更することができる。

AR マーカの認識は基本的に ARToolKit[2,3]を用いる。図1は投影するマーカ画像の一例である。投射マーカは、マーカ以外の領域を黒色に設定し、マーカ部分と背景を明確に区別させるために、マーカの周囲には白枠を設けている。これによりマーカを投影する面の色や模様への影響が低減でき、投射マーカの認識精度を向上させることができる。図2は実際の投射マーカ使用例である。図3は投射マーカの使用環境の一例である。投影対象である壁の正面にプロジェクタを設置することが条件になる。マーカ認識のためのカメラは任意の位置に設置できる。

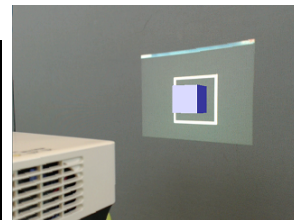
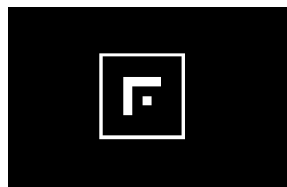


図 1: マーカ画像の一例 図 2: 投射マーカ使用例

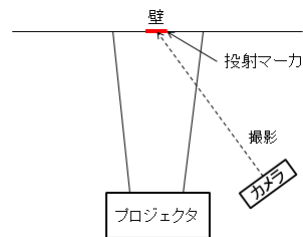


図 3: 投射マーカ使用環境の一例

### 3. カラー投射マーカ

AR マーカをさらに拡張し色付したものをカラー投射マーカと呼ぶ。カラー投射マーカはパターン情報に加えて色情報を持つためマーカ上に表示する CG モデルの状態の管理がより容易になる。また、色の違うカラー投射マーカ同士が重なった状態でも全てのカラー投射マーカを認識することができる。

カラー投射マーカの認識も基本的には前述の ARToolKit を用いる。ARToolKit のみではカラー投射マーカを認識できないため OpenCV[4] でカメラ画像を処理し、カラー投射マーカを認識させる。

赤と青の色情報を持たせたカラー投射マーカを重ねた場合を例にカラー投射マーカのアルゴリズムを説明する。図4は処理順序である。マーカの色を抽出するために、取得したカメラ画像を HSV 変換し処理する。赤と青だけでなく重なり部分の色であるマゼンダも考慮する必要がある。赤マーカを認識する場合、図5の画像の全てのピクセルの Hue の値を調べ赤の閾値である  $0 \leq Hue \leq 25$ , または、マゼンダの閾値である  $130 \leq Hue \leq 150$  の範囲を黒

<sup>†</sup>東京電機大学 Tokyo Denki University

に変換し、そうでないなら白に変換する。図 6 は図 5 を変換して生成したモノクロ画像である。この画像を使用することで、ARToolKit でマーカを検出することが可能となる。同様の手順で青マーカを認識するためのモノクロ画像を生成する。図 7 は認識結果である。重なりあった二つのマーカ上のそれぞれに CG モデルが表示されている。

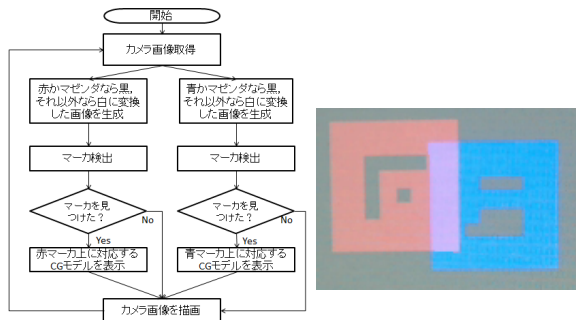


図 4: 処理手順



図 6: 赤マーカ抽出画像

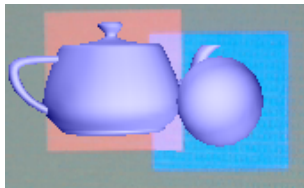


図 7: 重ねたマーカの認識

#### 4. 投射マーカのリアルタイム補正

今までの投射マーカはプロジェクタ画像の補正ができないため、移動が容易な小型プロジェクタでの利用に不都合があった。この問題を解決するため、プロジェクタ画像のリアルタイム補正を行う。プロジェクタ画像を補正することで投射マーカの移動や大きさの変更をプロジェクタ自体を動かすことで直感的に行うことができる。

高橋ら [5] の論文を参考にリアルタイム補正のアルゴリズムを構築した。図 8 に実験環境図を示す。プロジェクタは任意の位置とする。カメラは基準マーカと投射マーカを同時に撮影できる任意の位置に固定する。

投影された結果の映像を投影像、プロジェクタで投影する画像をプロジェクタ画像とする。基準マーカとカメラ画像間の射影変換を  $H_c$ 、投影像とプロジェクタ画像間の射影変換を  $H_p$  と表すと、プロジェクタ画像とカメラ画像の射影変換は式 (1) のように

表される。

$$H_{cp} \propto H_p H_c^{-1} \quad (1)$$

$H_p$  がわかれば、投影面上の点  $[X, Y]$  に対応するプロジェクタ画像上の点  $[x, y]$  を、 $[x, y, 1] \propto H_p [X, Y, 1]^T$  のように計算できることから、投影面上へ正方形に補正されたマーカ画像を投影することが可能となる。

固定カメラより位置が既知の基準マーカを撮影することで  $H_c$  を求めることができる。固定カメラで撮影した投射マーカの四隅の座標とプロジェクタで投影するマーカ画像の座標から  $H_{cp}$  を求めることができる。  $H_c$ 、 $H_{cp}$  がわかれば式 (1) から  $H_p$  を求めることができるのでマーカを補正することが可能となる。図 9 は実行例である。補正後のマーカを認識し CG モデルを表示することができる。

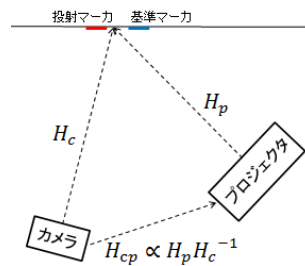


図 8: 実験環境図

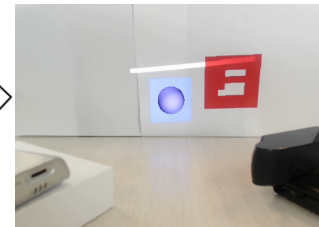


図 9: 実行例

#### 5. まとめと今後の展開

本稿では投射マーカとその拡張であるカラー投射マーカの特徴について述べ、また、投射マーカのリアルタイム補正について述べた。これを利用することで投射マーカのインタラクティブ性を高めることができ、投射マーカの適用範囲をさらに拡大することが可能になる。

本システムは複数人での利用を念頭に置いている。今後は、投射マーカを用いることでそれぞれのユーザがマーカの変化を楽しみつつ、AR を利用するための機能を実装する。

#### 参考文献

- [1] 田中 雄基, 齊藤 剛, "投射マーカを利用した AR システムの開発と応用", 電子情報通信学会総大会講演論文集 2016 年 情報・システム (2), pp.126, 2016-03-01.
- [2] ARToolKit, "http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/download/#windows", (cited 2015-08-03)
- [3] 加藤博一, "拡張現実システム構築ツール ARToolKit の開発", 電子情報通信学会, pp.79-86. (2002).
- [4] OpenCV, "http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/2.4.9/" (cited 2015-12-17)
- [5] 高橋 徹, 沼徳 仁, 青木 孝文, 近藤 敏志, "投影画像の幾何補正に関する実験的検討", 計測自動制御東北支部 第 235 回研究会, 2007-05-18.