

美観と頑健性を両立させた複合現実感用 半人為的幾何位置合わせマーカの研究 (第6報) ～ ポスタ埋め込み方式におけるルールスキームの導入 ～

Visually Elegant and Robust Semi-Fiducials for Geometric Registration in Mixed Reality (6) - Applying Rule Schemes to Poster Masquerade Method -

西上彰人¹⁾, 天目隆平²⁾, 柴田史久¹⁾, 木村朝子³⁾, 田村秀行¹⁾

Akito NISHIGAMI, Ryuhei TENMOKU, Fumihisa SHIBATA,

Asako KIMURA and Hideyuki TAMURA

1) 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 立命館大学 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

3) 科学技術振興機構 さきがけ (〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8 川口センタービル)

Abstract: This paper describes rule schemes of posters which are used for geometric registration in "Poster Masquerade Method". This method uses visually unobtrusive flat posters arranged in the real world as markers for mixed reality. In this paper, we introduce two kinds of rule schemes; the layout rule scheme which is based on layout of components of a poster and the coloration rule scheme which is based on characteristics of a poster color histogram. We defined a few example rule sets which follow the proposed rule schemes. Basic experiments using the example rule sets are carried out to show the potential abilities of our proposed method.

Key Words: Mixed Reality, Geometric registration, Semi-fiducials, Posters

1. はじめに

仮想世界と現実世界をシームレスに合成する複合現実感 (Mixed Reality; MR) において, 現実・仮想両空間の幾何学的整合性の達成は最重要課題であり, 様々な研究が行われている[1]. そうした幾何位置合わせ手法の中で, ARToolKit[2]に代表される人為的なマーカを現実環境中に貼付し, それを画像認識する手法は, 簡便かつ安定した方法として幅広く利用されている. しかしながら, この種の人為的で目立つマーカを至るところに貼り付けることで美観を損ねてしまうという苦情も少なくない. その解決法として, 再帰性反射材による美観を損ねないマーカを利用する方法[3]が試みられているが, この手法を採用するには, MR 合成に用いるカメラとは別に赤外線カメラを導入するとする難点がある.

我々は, 半人為的/準恣意的にデザインしたマーカを用いることで, 美観と位置合わせ能力の頑健性の両立を達成する位置合わせ手法を提唱し, その目的でデザインされたマーカ群を SFINCS (Semi-Fiducial INvisibly Coded Symbols) [半人為的で, 目立たないように符号化された記号群の意] と総称した. その第 1 弾として TT 方式 (Two-Tone colored marker 方式; ツートンカラー方式) を提案した[4]. これは対象領域と同系色のマーカを対象領域の隅に設置する方式で, マーカ作成の支援を行うオーサリングツールの開発も行ってきた[5].

SFINCS 研究の第 2 弾として, 実環境中の壁面に貼られたポスタに対して位置合わせに必要な情報を埋め込むことで, ポスタ自体をマーカとして扱う PE 方式 (ポスタ埋め込み方式) を提案した[6]. 本方式において位置合わせに用いるポスタ (以降, SFINCS ポスタと呼ぶ) は予め決められたデザインルールに従っており, そのルールに基づいてポスタを検出・識別することで実時間での運用を実現している. 図 1 がその例である.

まず比較的シンプルなデザインルールで本方式を試したところ良好な結果が得られたので, ポスタの設計・運用者がもっと自由度が高く, 美的にも優れたポスタを利用できるように, 多様なデザインルールが適用できるように発展させる. 同時に, PM (Poster Masquerade) と改称した.



図 1 SFINCS ポスタの利用例

SFINCS-PM 方式の発展研究の要諦は、複数のデザインルールを定義できる枠組みとして、「ルールスキーム」という概念を導入したことである。本稿では、このメタルールの導入と実験結果の具体例に関して述べる。

2. アルゴリズム

PM 方式では、MR アプリケーションの提供者がルールスキームに従ってデザインルールを定め、ユーザに MR アプリケーションを提供することを想定している。定めたデザインルールに依存せず、同一の手順で PM 方式が実現できるように、以下に示すアルゴリズムを採用した。

2.1 入力データ

本手法では SFINCS ポスタの検出のために、3 種類のルールと 2 種類のテーブルを利用する。以下にこれらのルールとテーブルについて詳述する。

(a) SFINCS ポスタ共通ルール

全ての SFINCS ポスタ共通のルールとして以下のルールを定める。

- SFINCS ポスタの形状は長方形とし、縦横比は一般的なポスタサイズと同様の $\sqrt{2}:1$ とする。
- ポスタは一般的に人目を引くものであるという考えに基づき、SFINCS ポスタの背景色は設置面と異なる色とする。

(b) デザインルール

画像中から検出されたポスタの候補領域が SFINCS ポスタであるかを判別するためのルール。MR アプリケーションの提供者がルールスキームに基づいてデザインルールを定める。

(c) ポスタ ID ルール

SFINCS ポスタを一意に識別するためのルール。デザインルールによって ID の埋め込み方式が変わるため、デザインルールと共に MR アプリケーションの提供者によって定められる。

(i) ポスタテーブル

環境中に配置された SFINCS ポスタの ID やポスタサイズ、世界座標系でのポスタの位置、また、SFINCS ポスタの画像特徴を格納する。

(ii) コンテンツテーブル

実画像に重畳描画する CG コンテンツとその位置姿勢やスケールを格納する。

2.2 処理の流れ

図 2 に PM 方式の処理手順を示す。PM 方式では入力画像中から SFINCS ポスタを検出し、コンテンツを重畳描画するために 5 つのステップの処理を逐次的に実行する。また、カメラの位置合わせに成功したフレームの次フレームはポスタの四頂点のトラッキングを行い、処理の高速化および検出の安定性の向上を図る。以下に 5 つのステップの処理について詳述する。

① Segmentation ステップ

SFINCS ポスタ共通ルールに基づき、入力画像中から四角形領域を検出することで、SFINCS ポスタの候補

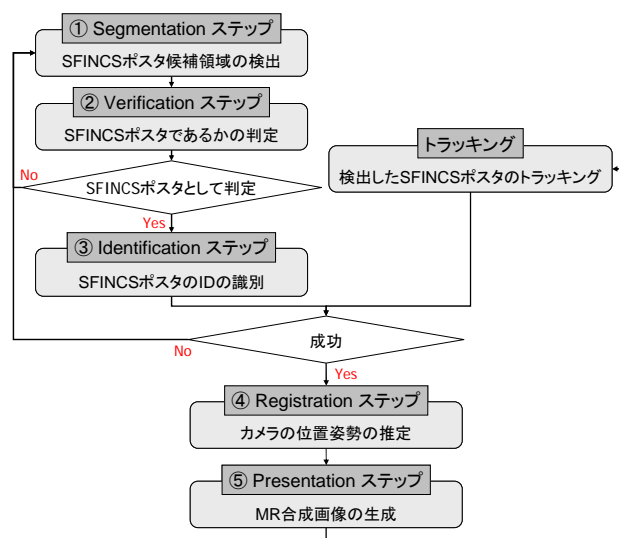


図 2 PM 方式の処理の流れ

となる領域の検出を行う。四角形領域の検出は下記の手順により実現する。

- カメラからの入力画像全体に対してエッジ検出を適用し、エッジを検出する。
- 長さが一定以上の縦方向のエッジ線分を検出する。
- 2本の縦方向エッジ線分において、始点間・終点間にそれぞれエッジ線分が存在するかを判定し、存在すれば四角形領域として検出する。

② Verification ステップ

①で検出した SFINCS ポスタの候補領域から SFINCS ポスタの領域のみを検出する。検出の手順は以下の通りである。

- ポスタ候補領域に逆射影変換を行い、縦横比 $\sqrt{2}:1$ の長方形に正対させる。
- 正対させたポスタ候補領域がデザインルールを満たすかを判定する。デザインルール内の項目を全て満たせば、そのポスタ候補を SFINCS ポスタとして判定する。

③ Identification ステップ

検出した SFINCS ポスタの ID を推定する。ID の推定にはポスタ ID ルールを用い、ポスタテーブルに登録された SFINCS ポスタと画像特徴を比較することによって ID 推定を実現する。 n 個の画像特徴を ID の識別に利用する場合、ポスタテーブルにおける ID が i であるポスタの j 番目の画像特徴量を $C_{i,j}$ 、SFINCS ポスタ領域から検出された画像特徴量を C_j とすると、SFINCS ポスタの ID は式 (1) によって得られる E_i が最小値となる i となる。

$$E_i = \sum_{j=1}^n |C_{i,j} - C_j| \quad (1)$$

④ Registration ステップ

SFINCS ポスタの形状が SFINCS ポスタ共通ルールに則った長方形であることを利用して、カメラの位置姿勢を算出する。ポスタテーブルに格納されたポスタの位置情報を利用する。

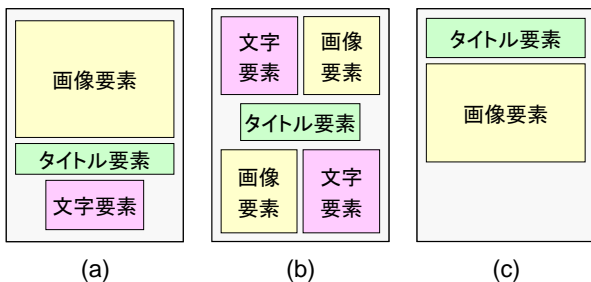


図3 配置ルールスキームに基づいたデザインルール例

⑤ Presentation ステップ

Registration ステップで計算されたカメラの位置姿勢とコンテンツテーブルに格納された情報を用いて、MR 合成画像を生成する。

3. ルールスキーム

ポスタのデザインは絵や文字などの構成要素の配置と、ポスタ上での配色によって決まると考えられる。この考えに基づいて、我々は2種類のルールスキームを提案する。

3.1 配置ルールスキーム

配置ルールスキームは、絵や文字などの構成要素のレイアウトを利用したルールスキームである。ポスタの構成要素として以下の3つを定義する。

- ✧ **タイトル要素**: 1行または2行の文字列から構成される要素。文字色は単色とし、ポスタ背景色に対して目立つ色とする。
- ✧ **画像要素**: 1枚の矩形の写真から構成される要素。複数の色から構成される。
- ✧ **テキスト要素**: 複数行の単色文字列で構成される要素。

配置ルールスキームはこれらの構成要素の種類と配置関係によりデザインルールを定めることを可能にする。配置ルールスキームに基づいたデザインルール例を図3に示す。例えば、図3においてデザインルール (a) を採用した場合、上半分が画像要素で、その下にタイトル要素、そして一番下にテキスト要素であるような配置のポスタを SFINCS ポスタとする。各要素の定義に基づき、各要素を判定する関数を用意し、それらの関数を図3に示すようなデザインルールに従って局所的に適用することで SFINCS ポスタであるかどうかの判定を行う。配置ルールスキームに基づいたルールセット例として、ルールセット R_1 を定め、各ルールについて以下のように定義する。

[ルールセット R_1]

デザインルール

- 各構成要素のレイアウトは図3の (c) とする。
- ポスタの背景色は単色とする。

ポスタ ID ルール

- ポスタ ID はポスタ背景色、タイトルの文字色、画像要素の色相の最頻値に埋め込む。

ルールセット R_1 では、ポスタテーブルに画像特徴としてポスタ背景色、タイトルの文字色、画像要素の色相の最頻値が登録され、(1) 式によって ID が識別される。ルールセット R_1 のポスタ例を図4に示す。



図4 ルールセット R_1 を適用したポスタ例



図5 ルールセット R_2 を適用したポスタ例

3.2 配色ルールスキーム

ポスタの色合いの特徴を利用したルールスキームが配色ルールスキームである。デザインルールにはポスタ領域内の色のヒストグラムにおける拘束条件を利用する。考えられるデザインルールは、有彩色のみから構成されるポスタや、特定の色相が最も多く使用されているポスタなどである。配色ルールスキームに基づいたルールセット例として、ルールセット R_2 を定め、各ルールについて以下のように定義する。

[ルールセット R_2]

デザインルール

- 2色の有彩色（ポスタ上で一番多く使われている色相をキーカラーA、2番目に多く使われている色相をキーカラーBとする）と少量の無彩色によって構成される。
- キーカラーA、Bの割合の合計は有彩色領域の80%以上とする。
- 無彩色の割合はポスタ領域の50%以下とする。

ポスタ ID ルール

- ポスタ ID はキーカラーA、Bの色相値とその割合、無彩色の割合に埋め込む。

ルールセット R_2 を採用した場合は、以下の手順で SFINCS ポスタの判定を行う。まず、ポスタ候補領域内の全てのピクセルを有彩色と無彩色に分類する。続いて、有彩色の色相値のヒストグラムを作成し、ヒストグラム中の上位2つの色相値をキーカラーA、Bとして取得する。無彩色およびキーカラーA、Bの割合がデザインルールに従うときに、そのポスタを SFINCS ポスタとして認識する。ルールセット R_2 のポスタ例を図5に示す。

4. 実験

提案したルールセットの妥当性を確認するために、ルールセット R_1, R_2 に基づいて作成したポスタを用いてカメラの位置姿勢を推定し、CG を重畳描画する実験を行った。実験にはデスクトップ PC (CPU: Intel Core 2 Duo 1.86GHz, メモリ: 1.0GB) を用い、カメラは Point Grey Research 社の IEEE カメラ FLEA2 を用いた。画像サイズは VGA とした。

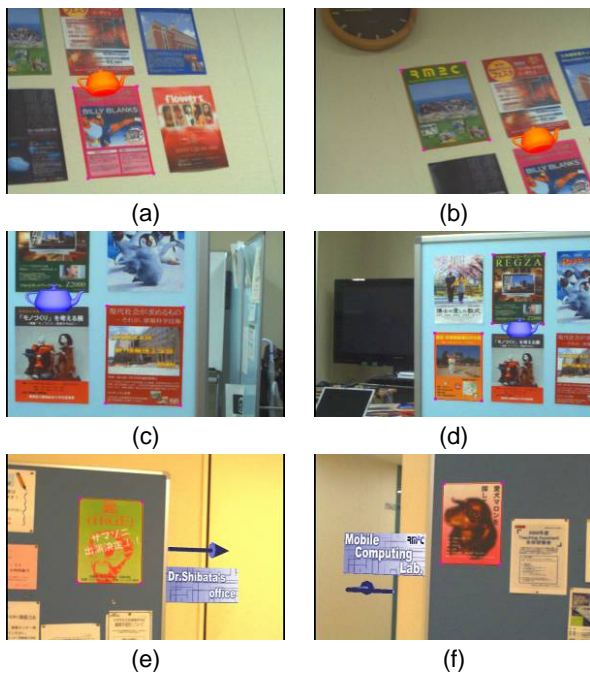


図 6 PM 方式を用いた MR 合成画像

4.1 ルールセット R_1 を用いた MR 合成実験

壁面およびパーティションに 6 枚ずつ (ルールセット R_1 を満たす SFINCS ポスタを 3 枚, 満たさないポスタを 3 枚ずつ), 計 12 枚のポスタを貼付し, 実験を行った. これらの SFINCS ポスタはルールセット R_1 を熟知した学生が作成し, それ以外のポスタはインターネットからランダムにダウンロードしたものである. システムは画像中から検出した SFINCS ポスタの情報を基にカメラの位置姿勢を推定し, 6 枚のポスタの中心に CG のティーポットを重畳描画する. 図 6 の (a) ~ (d) に生成された MR 合成画像を示す. 検出された SFINCS ポスタはピンクの頂点と赤の線分で囲って示される.

本実験を通して, 描画された CG オブジェクトに大きな位置ずれは生じなかった. このことから, ルールセット R_1 を満たすポスタによるカメラの位置姿勢推定が十分行われていることがわかる. また, SFINCS ポスタ以外のポスタを誤って認識することもなく, SFINCS ポスタの ID 識別も正確に行えた.

4.2 ルールセット R_2 を用いた MR 合成実験

次に, ルールセット R_2 を満たすポスタを廊下の掲示板に他の掲示物と混ぜて貼付し, 位置合わせを行った. 図 6 の (e), (f) に推定されたカメラ位置・姿勢に基づいて, 屋内ナビゲーション情報を実背景に MR 合成した画像を示す.

本実験により, SFINCS ポスタが違和感なく環境内に設置可能であり, PM 方式が MR アプリケーションのための位置合わせに有効な手法であることを確認した.

4.3 考察

図 4 および図 6 (a) ~ (d) から分かるように, ルールセット R_1 を満たすポスタは全体的に似通ったデザインになってしまう. 一方, 図 5 および図 6 (f), (e) に示すように,

ルールセット R_2 を満たすポスタには様々なデザインが存在する. これはルールセット R_2 の方がルールセット R_1 よりもポスタデザインの自由度が高いことを意味する. しかし, ルールセット R_2 を用いた場合は一般のポスタを SFINCS ポスタとして誤認識してしまうこともあり, 今後 Verification ステップに更なる工夫が必要となる.

また, 前節までの実験において, 前フレームで SFINCS ポスタを検出している場合には, トラッキングの処理の結果, 処理時間が約 25ms であった. これは実時間処理を必要とする MR においては, ほぼ満足できる速度であると言える. しかし, SFINCS ポスタを検出していないフレームでは, 処理時間が約 100ms となっており, 検出された四角形とポスタ候補領域の数に比例して遅くなるため, 複雑な環境下では処理速度は低下する. そのため, Segmentation ステップ, Verification ステップのアルゴリズムの改善による高速化が必要であると考えられる.

5. むすび

本稿ではポスタをマーカーとして利用し, 位置合わせを行う PM 方式において, デザインルールの枠組みとなる 2 種類のルールスキームについて述べた. また, それぞれのルールスキームに基づいた 2 種類のルールの具体例を示した.

今後は本手法のアルゴリズムを改善すると共に, 他のルールセットも構築し, ルールスキームの妥当性を検証する. 更には, PM 方式のポスタ作成を支援するためのツールキットを開発する予定である.

謝辞 本研究の一部は, ハイテク・リサーチ・センター整備事業の支援によるものである. 本研究の実験にご協力頂いた森本樹女史に感謝の意を表する.

参考文献

- [1] 佐藤清秀他: “複合現実感における位置合わせ手法”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp. 171 - 180, 2003.
- [2] 加藤博一他: “マーカー追跡に基づく拡張現実システムとそのキャリブレーション”, 同上, Vol. 4, No. 4, pp. 607 - 616, 1999.
- [3] 中里祐介他: “ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカーと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定”, 同上, Vol. 10, No. 3, pp. 295 - 304, 2005.
- [4] 吉田友祐他: “美観と頑健性を両立させた複合現実感用半人為的幾何位置合わせマーカーの研究 (第 1 報)”, 信学技報, PRMU2006 - 195, pp. 7 - 12, 2007.
- [5] 井上貴博他: “同 (第 4 報) ~ TT 方式マーカー・セッティングのためのオーサリングツール ~”, 信学総大, A-16-4, p. 290, 2008.
- [6] 西上彰人他: “同 (第 3 報) ~ ポスタへの情報埋め込み方式の実現 ~”, 信学技報, Vol. 107, No. 427, PRMU2007 - 187, pp. 175 - 180, 2008