

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3報) ～ ポスタへの情報埋め込み方式の実現 ～

西上 彰人*1 玉田 裕貴*2 天目 隆平*3 柴田 史久*2 木村 朝子*3,*4 田村 秀行*2

*1 立命館大学情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

*2 立命館大学大学院理工学研究科

*3 立命館大学総合理工学研究機構

*4 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

E-mail: nisigami@mclab.ics.ritsumeai.ac.jp

あらまし 複合現実感システムでは位置姿勢検出のための手法として、人為的なマーカを現実世界に配置する方法が一般的に用いられてきた。しかし、人為的で目立つマーカを至る所に貼付することで美観を損ねるという問題点が存在する。そこで我々は美観と位置合わせ能力の頑健性の両立を目的とする位置合わせ手法として SFINCS という概念を提唱し、その第1弾として「ツートンカラー方式」を考案・実装した。本稿では SFINCS の新たな位置合わせ方式として、現実環境に存在しても我々人間に違和感を与えないものをマーカとして利用するという考えのもと、ポスタに位置合わせに必要な情報を埋め込んだ「ポスタ埋め込み方式」を提案する。本稿では、具体的な処理の流れとそれを実装して行った位置合わせ実験の結果について報告する。

キーワード 複合現実感, 位置合わせ, 半人為的マーカ, ポスタ

Visually Elegant and Robust Semi-Fiducials for Geometric Registration in Mixed Reality (3) - A Realization of Information Embedding Method to Posters -

Akito NISHIGAMI*1 Hiroki TAMADA*2 Ryuhei TENMOKU*3
Fumihisa SHIBATA*2 Asako KIMURA*3,*4 Hideyuki TAMURA*2

*1 College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

*2 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

*3 Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

*4 JST PRESTO

Kawaguchi Center Building, 4-1-8 Honcho, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

E-mail: nisigami@mclab.ics.ritsumeai.ac.jp

Abstract Fiducial markers are generally used as a geometric registration method in mixed reality (MR). Most of traditional fiducial markers stands out against the background. Therefore they can be identified easily. However, they bring a problem that these markers destroy the scenery. To cope with this problem, we proposed a concept which named "SFINCS" as a method of registration in order to keep visual elegance and robustness, and we proposed "Two-Tone colored marker method" as the first step. As the second step, this paper describes "Poster Embedding method" which adopts posters as markers in which position identifiers are embedded.

Keyword Mixed Reality, Vision-based Registration, Semi-fiducials, Poster

1. はじめに

現実世界と仮想世界を継ぎ目なく融合する複合現実感 (Mixed Reality ; MR) では、仮想物体を現実世界の正しい位置に重畳描画する幾何学的整合性が非常に重

要であり、様々な位置合わせ手法の研究が行われている[1]。幾何学的整合性を得るための手法の1つとして、形状が既知のマーカをカメラで撮影して位置合わせを行う手法がある。このような手法では、同心円や正方

形状の人為的マーカを現実世界に配置する方法[2-6]が安定性・簡便性・コスト面などの理由で、現在の主流となっている。とりわけ ARToolKit[5,6]は完成度が高く、導入も容易なことから世界中で利用されている。しかしながら、この種の人為的で目立つマーカを至る所に貼り付けることに對し、美観を損ねてしまうとの苦情も少なくない。

そこで我々は、半人為的／準恣意的にデザインした環境に溶け込んだ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目的とする位置合わせ手法を提案し、この概念に基づいてデザインしたマーカ群を 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]と総称することにした。その第1弾として、対象領域の隅に対象領域と同系色のマーカを設置する「ツートンカラー方式 (Two-Tone colored marker 方式, TT 方式)」を提案・実装した[7]。

TT 方式が、実環境と調和のとれた色および形状のマーカを設置するというアプローチであったのに対し本稿では、現実環境に存在しても我々に違和感を与えないものに位置情報を埋め込むといったアプローチのもと、現実環境中に設置されたポストに位置情報を埋め込む「ポスト埋め込み方式 (Poster Embedding 方式, 以下, PE 方式)」を提案する。PE 方式では、情景画像中から位置合わせに利用するポストを検出し、ポストに埋め込まれた ID およびポストの輪郭となる長方形を利用してカメラ位置・姿勢を推定し、位置合わせを行う。図1に提案手法の利用例の図を示す。

2. SFINCS ポスタのデザインルール

PE 方式のポイントは、現実環境において設置しても我々が気にならないと考えるポストをマーカとして利用するという点にある。これは言い換えれば、マーカとして利用するポスト以外にも、各種情報の宣伝を目的とした通常のポストが環境中に存在することを意味する。そのため、PE 方式では、あるデザインルールに基づいたポストのみを識別することで位置合わせに用いるポスト (SFINCS ポスタ) とその他のポストを区別する。一般的に様々な場所で貼付されているポストのデザインについて考えてみると、そのデザインの自由度は大変大きいと考えられる。そのため、本提案手



図1: PE方式を用いた位置合わせの利用例

法で定めるデザインルールはポストとして違和感を覚え、且つ他のポストの区別がつくようなデザインにする必要がある。本研究では、一般的なポストが絵と文字で構成されていることに着目し、それらの構成要素の位置関係を基にしたデザインルールを採用した。採用した SFINCS ポスタのデザインルールを図2 および以下に記す。

- (i) SFINCS ポスタの形状は長方形であり、縦横の長さの比率は $\sqrt{2}:1$ で、大きさは問わない。
- (ii) 上端～上から 20%, 上から 20%～70%, 上から 70%～下端の 3 つの部分それぞれが以下に定義する領域である。
 - **文字領域**: 単色の横書き文字列のみから構成される領域。文字列は 1 行または 2 行とし、2 行の場合 1 行目と 2 行目の文字色は同じでも異なってもよい。ただし、字間の空かないような文字や象形文字のような文字 (楔形文字, アラブ文字 等) は認めない。また、文字列の外接矩形は文字領域の 60%以上を占めるようにする。
 - **画像領域**: 1 枚の矩形の写真のみから構成される領域。ただし、図3に示すような使用されている色相の数がデザイン画のような画像は認めない。また写真の縁は背景色と類似しない色とする。
 - **自由領域**: デザインの自由度を上げるために設けた領域。形式に制限はない。
- (iii) 全ての領域は、ポストの端から一定のマージンを持つものとする。
- (iv) 背景は設置面とは異なる単色とする。

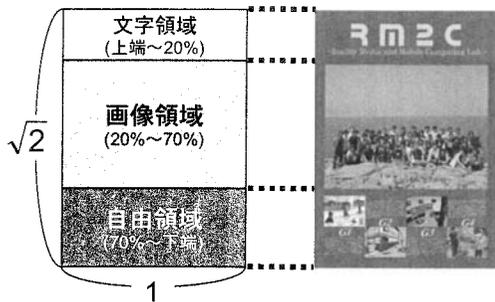


図2：SFINCS ポスタのデザインルール



図3：デザイン画のような画像の例

3. PE 方式の処理手順

3.1. 概要

PE 方式の各フレームにおける処理の流れを図4に示す。各フレームにおいて、(1)SFINCS ポスタ候補領域の検出、(2)SFINCS ポスタの検出、(3)カメラ位置および姿勢の推定、3つの処理を逐次的に行う。前フレームでカメラ位置・姿勢の推定が成功したフレームでは、前フレームで検出された SFINCS ポスタのトラッキングを行い、検出の頑健性の向上を図る。以下に、各処理の内容を説明する。

(1) SFINCS ポスタ候補検出

データベースに登録された SFINCS ポスタの背景色とエッジの情報をもとに輪郭線追跡を行い、輪郭線が四角形であるかを判定することにより、情景画像中から SFINCS ポスタ候補を検出する。次に、検出された SFINCS ポスタ候補の領域に逆射影変換[8]を行い、縦横比が $\sqrt{2}$:1である長方形に起こす。前フレームでカメラ位置・姿勢の推定が成功したフレームでは、前フレームでのポスタの四隅周辺において Harris Operator[9,10]を用いて特徴点検出を行う。検出された特徴点の中から、ポスタの背景色の情報をもとに現フレームのポスタの隅を検出する。このように前フレームと現フレームの頂点の対応を取ることで、トラッキングを実現している。

(2) SFINCS ポスタ検出

検出した SFINCS ポスタ候補が前節で述べたデザインルールに適合しているかを判定する。前節(ii)で述べた文字領域と画像領域が指定された部分に存在する場合のみ、SFINCS ポスタであると判定する。トラッキング適用時にはこの処理は行わない。以下に各領域の判定アルゴリズムについて詳細に説明する。

・文字領域の判定

SFINCS ポスタの文字領域の文字色はポスタ背景色と異なる単色であるので、ポスタの上端～上から20%の部分にプロジェクションを行い、ポスタの色相ヒストグラムの形状から文字領域を判定する。まず水平方向にプロジェクションを行い、色相ヒストグラムの形から文字の行数を調べる。続いて垂直方向にプロジェクションを行い、同様に色相ヒストグラムの形状を調べることにより文字列を検出する。また、文字列が2行の場合はそれぞれの行に対して垂直方向のプロジェクションを行う。

・画像領域の判定

SFINCS ポスタの画像領域は1枚の矩形の写真で構成される。まず、上から20%~70%の部分に対し、ポスタ背景色の情報をもとに画像矩形を切り出し、画像矩形内が写真であるかを判定することで、画像領域であるかの判定を行う。写真の場合、デザイン画のような画に比べて使用されている色相・明度にばらつきがあると考えられるため、画像矩形内の色相・明度のヒストグラムを取得し、それぞれのばらつきが一定値以上であれば写真と判断する。

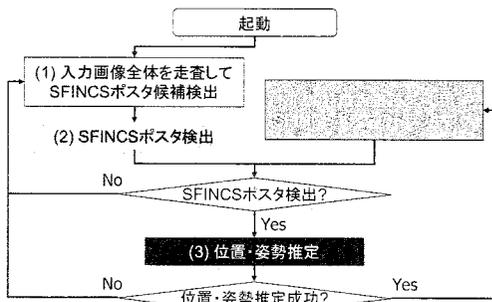


図4：処理の流れ

(3) 位置・姿勢推定

データベースに登録されている各SFINCSポスタの世界座標と画像座標系での座標からカメラの位置・姿勢を推定する。

3.2. 位置情報の埋め込み

PE方式では、あらかじめデータベースに登録されたSFINCSポスタと画像特徴を比較して、そのSFINCSポスタの持つIDを識別する。利用する画像特徴としては様々なものが想定できるが、今回の実装では、背景領域の色、文字領域の色、文字領域の文字の行数、画像領域内の写真の色等を用いた。

4. デザインルール検証実験

2章で説明したデザインルールがポスタとして違和感を覚えられないものであるか、またそのデザインルールの判定アルゴリズムが妥当であるかを実証するため、59枚のポスタを用意した。用意した59枚のポスタは

- (a) デザインルールを完全に理解している33名の学生が作成したデザインルールに適合するポスタ 34枚
- (b) SFINCSポスタのサンプル数枚を見た14名の学生がデザインルールを推測して、デザインルールに適合するように作成したポスタ 15枚
- (c) インターネットから無作為に拾ってきたポスタ 10枚

である。(a)および(b)のポスタの例を図5に示す。

(a)のポスタは全てポスタとして違和感のないデザインであり、既存の人為的なマーカと比較して十分美的なものであった。また、(b)のポスタは(a)のポスタに類似したデザインであったが、デザインルールに合致



(a) 事前にデザインルールを与えられた学生が作成したポスタ



(b) SFINCSポスタのサンプルを見た学生が作成したポスタ

図5：デザインルール検証に用いたポスタ

するポスタは1枚もなかった。このことから、SFINCSポスタを見ただけではデザインルールを予想しにくく、また(c)にもデザインルールに合致するポスタは存在しなかったことから、デザインルールを偶然満たし、ユーザの意図に反してSFINCSポスタと認識されるポスタはほとんどないことが予想される。

続いて、59枚のポスタをスキャナで計算機に取り込み、デザインルールに適合するポスタ（以下、適合ポスタ）とデザインルールに適合しないポスタ（以下、不適合ポスタ）に識別する実験を行った。結果、(a)のポスタは全て適合ポスタであり、(b)と(c)のポスタは全て領域による制限に反しているため不適合ポスタであった。このことからSFINCSポスタ判定のアルゴリズムが妥当なものであり、デザインルールを満たすことを正確に判定できることを実証した。

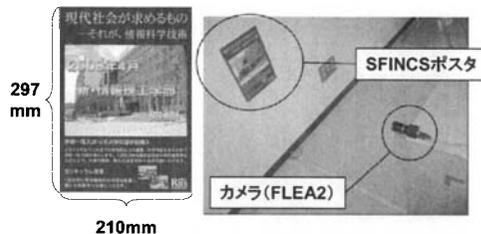
5. 性能評価実験

本提案手法のシステムが実用に耐えうる性能があるかを評価するためにSFINCSポスタの認識率及びカメラ位置姿勢誤差の計測をカメラとマーカの距離・角度を変化させながら計測した。また、SFINCSポスタを壁面に貼付し、本手法の処理速度を計測した。

5.1. SFINCS-PEの計測精度

[7]のTT方式の精度評価と同様に、SFINCSポスタの中心とカメラ間の距離及びカメラの光軸とSFINCSポスタの設置面がなす角度を変えながら、SFINCSポスタの認識率および位置・姿勢の計測誤差を記録した。本実験に使用した計算機の仕様は、CPU: Intel Core 2 Duo 1.86GHz、メモリ: 1.0GBで、カメラにはPoint Grey Research社製のIEEE1394カメラFLEA2（最大解像度：640×480pixels）を用いた。実験に使用したSFINCSポスタおよび実験の様子を図6に示す。

ポスタが画像中に納まる限界の距離である1.2mか



(a) 使用したSFINCSポスタ

(b) 実験環境の様子

図6：実験環境

ら 150mm ずつ離し、カメラが SFINCS ポスタに正対する状態から 0, 15, 30, 45, 60 度の角度をつけて SFINCS ポスタを撮影した。認識率については、最初に位置姿勢検出に成功したフレームから連続した 100 フレームにおいて、位置姿勢検出に成功した回数を計測した。PE 方式では 3.1 節で述べた通り、前フレームで位置姿勢検出に成功した時はトラッキングを行うことで検出精度を向上させている。そのため、トラッキングを行わずに図 4 の(1)および(2)の処理を毎フレーム行ったとき、トラッキングを行ったときの 2 通りの計測を行った。図 7(a)にトラッキングを行わないときの SFINCS ポスタ認識率を、図 7(b)にトラッキングを行ったときの SFINCS ポスタ認識率を示す。

また、カメラの位置姿勢についてはトラッキングを行った上で、カメラから SFINCS ポスタの中心までの距離の誤差と、カメラの光軸方向と SFINCS ポスタ面の法線との角度の誤差を 100 回計測し、その平均値を算出した。計測した記録した位置計測における誤差および姿勢計測における誤差 E_p および E_o は、世界座標系におけるカメラ位置の真値を (X, Y, Z) 、提案手法に

よって計測されたカメラ位置を (X_{PE}, Y_{PE}, Z_{PE}) 、カメラの光軸方向の単位ベクトルの真値を \vec{C} 、提案手法によって計測されたカメラの光軸方向の単位ベクトルを \vec{C}_{PE} としたとき、式(1)および(2)で表される。

$$E_p = \sqrt{(X - X_{PE})^2 + (Y - Y_{PE})^2 + (Z - Z_{PE})^2} \quad \dots (1)$$

$$E_o = \left| \arccos(\vec{C} \cdot \vec{C}_{PE}) \right| \quad \dots (2)$$

カメラ位置の位置誤差を図 8(a)に、カメラの姿勢誤差図 8(b)に示す。

本実験の結果より、SFINCS ポスタをある程度正面から撮影している場合は、マーカとカメラの距離が 4m 程度のときでも、安定してポスタの認識が行えていることが分かる。これは、A4 サイズの SFINCS ポスタを用いて行った結果である。A0 サイズの SFINCS ポスタを環境中に設置して位置合わせを試みた場合は、認識可能なカメラとマーカの距離が図 7 の 4 倍のときに同様の認識率になると考えられる。よって、A0 サイズの SFINCS ポスタを撮影した場合、18m 程度離れても、位置合わせが可能である。

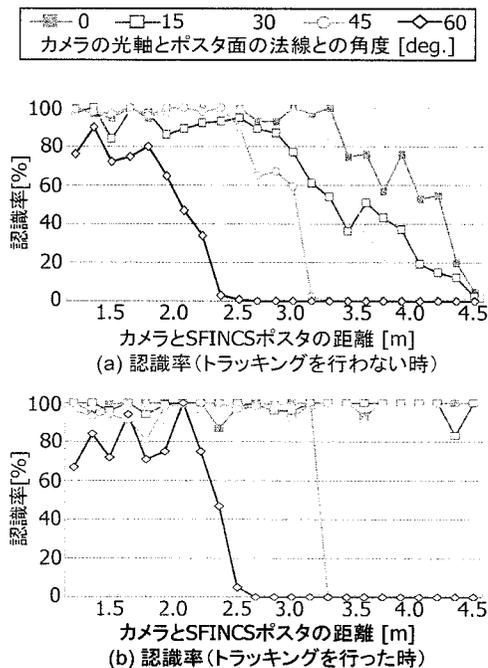


図 7 : SFINCS ポスタ認識率

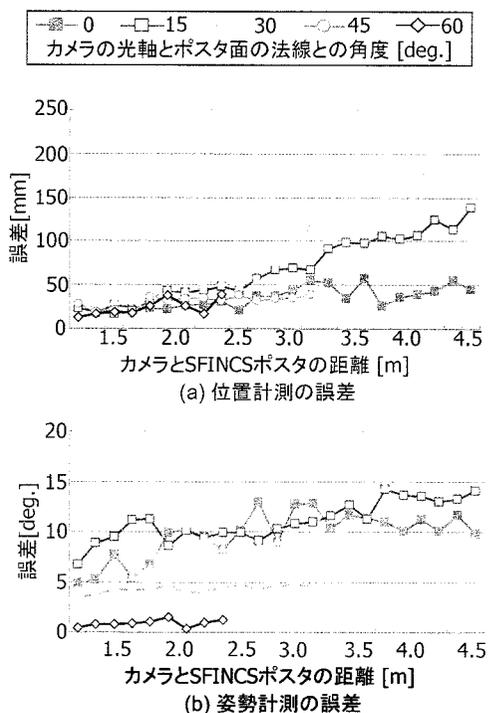


図 8 : カメラ位置姿勢の誤差

また、SFINCS ポスタの認識率についてはトラッキングを行うことによって格段に向上する。トラッキングを行っていない時の SFINCS ポスタの認識率が 20% 以下であっても、トラッキングを行うことによって、一度 SFINCS ポスタを検出した後の認識率をほぼ 100% にすることができる。このことから、トラッキングを行っていない際に認識率が低下する 3m 以上の距離において、トラッキングは非常に有効であると言える。当実験環境下では、SFINCS ポスタを正面から撮影した際に最大 5m の距離まで、ほぼ 100% の認識率で位置姿勢検出を行うことができた。この地点でのポスタの情景画像中での見え方を図 9 に示す。

5.2. 処理速度

図 1 のように A1 サイズの SFINCS ポスタを壁に設置し、本方式を利用して様々なオブジェクトを MR 合成した際の処理時間を計測した。計算機は、前節の実験と同様のものである。本実験における入力画像の大きさは VGA で、1 フレームの平均処理時間はトラッキング処理を行わないときに 74msec、トラッキング処理を行ったときに 76msec であった。本実験より、本方式が実時間処理を前提とする MR の位置合わせに利用可能であること、およびトラッキング処理によって著しいフレームレートの低下なく認識精度の向上が実現できていることを確認した。

6. むすび

本稿では、「美観と頑健性を両立させた半人為的マーカ」の新たな位置合わせ方式として、現実世界に存在するものに情報を埋め込むアプローチから「ポスタ埋め込み方式」を考案し、その検出能力、位置合

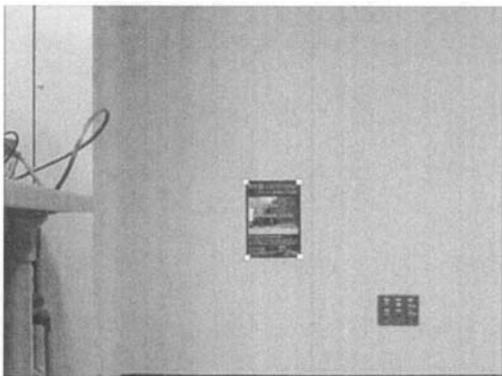


図 9 : 5m の位置での SFINCS ポスタの見え方

せ精度に関する実験を行い、実用に耐えうる精度及び速度で動作することを確認した。

今後は本手法の更なる認識率の向上、処理の高速化を図ると同時に、本稿で提案したデザインルールとは別のデザインルールを考案するなど、PE 方式における別のアプローチについても検討する。また、実際に本方式を利用したアプリケーションの開発や、SFINCS の概念に基づく新手法の提案も行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B) No.17300039）及びハイテク・リサーチ・センター整備事業の支援によるものである。

文 献

- [1] 佐藤清秀, 内山晋二, 田村秀行: “複合現実感における位置合わせ手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp. 171 - 180, 2003.
- [2] W. A. Hoff, T. Lyon, and K. Nguyen: “Computer vision-based registration techniques for augmented reality,” Proc. Intelligent Robots and Computer Vision XV, SPIE, Vol. 2904, pp. 538 - 548, 1996.
- [3] U. Newmann, and Y. K. Cho: “A self-tracking augmented reality system,” Proc. on Virtual Reality Software Technology (VRST'96), pp. 109 - 115, 1996.
- [4] Y. K. Cho, J. Lee, and U. Newmann: “A-multi-ring color fiducial system and a rule-based detection method for scalable fiducial-tracking augmented reality,” Proc. Int. Workshop on Augmented Reality (IWAR'98), 1998.
- [5] 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橘啓八郎: “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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 607 - 616, 1999.
- [6] “ARToolKit,” <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [7] 吉田友祐, 天目隆平, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “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 1 報)”, 電子情報通信学会 技術研究報告 Vol. 106, No. 470, PRMU2006-195, pp. 7 - 12, 2007.
- [8] 中沢裕二, 中野誠己, 小松隆, 斎藤隆弘, “画像中の特徴点に基づく実写画像と CG 画像との動画像合成システム”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 51, No. 7, pp. 1086 - 1095, 1997.
- [9] 金沢靖, 金谷健一, “コンピュータビジョンのための画像の特徴点の抽出”, 電子情報通信学会誌 Vol. 87, No. 12, pp. 1043 - 1048, 2004.
- [10] C. Harris, and M. Stephens, “A combined corner and edge detector,” Proc. 4th Alvey Vision Conf., pp. 147 - 151, 1998.