

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 12 報) ～SFINCS-PM システムのスマートフォンでの実現～

Visually Elegant and Robust Semi-Fiducials for Geometric Registration in Mixed Reality (12)
- Implementation of SFINCS-PM System on a Smartphone -

小紫慎哉, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行

Shinya Komurasaki, Fumihisa Shibata, Asako Kimura and Hideyuki Tamura

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)

Abstract: We have proposed a geometric registration method, called SFINCS-PM, which employs posters as markers. This paper describes how to implement SFINCS-PM system on a smartphone. SFINCS-PM markers have the same character as general posters, which are able to be used at various situations. Therefore, mobile devices, such as smartphones, could give our system a chance to display its ability to the full because they can be used anytime and anywhere. From this viewpoint, we implemented SFINCS-PM system for a smartphone by tuning SFINCS-PM algorithm to the specification of the smartphone and introducing new tracking algorithm with the inertial sensor attached to the smartphone.

Key Words: Mixed Reality, Geometric registration, Tracking, Semi-Fiducial Marker, Smartphone

1. はじめに

我々は, SFINCS (Semi-Fiducial INvisibly Coded Symbols) [半人為的で, 目立たないよう符号化された記号群の意] という概念を提唱し, 美観と頑健性を両立した位置合わせ手法の研究に取り組んでいる[1][2]. この概念に沿った位置合わせ手法の 1 つとして, ポスタをマーカとして利用する「PM 方式 (Poster Masquerade 方式)」を提案・実装した.

PM 方式で用いるポスタ型マーカは, その外観から一般のポスタと同様に現実世界の様々な環境において美観を損ねることなく設置可能という特徴を持つ. そのため, スマートフォンのような様々な場所で手軽に使用できるモバイル端末で動作させることで, この特徴を最大限に活かすことができる. 本稿では, 従来手法を見直し処理負荷を軽減することで実現した, スマートフォン上で動作可能な PM 方式について報告する.

2. SFINCS-PM

2.1 概要

PM 方式は, 通常のポスタと同様にポスタとしての外観を備えたポスタ型マーカ (SFINCS ポスタ) を用いることで, マーカ設置環境の美観を考慮した位置合わせ手法である. SFINCS ポスタをカメラ画像中から検出・同定するためには, (1) 廊下や掲示板等の実環境において SFINCS ポスタとその他の領域を区別し, (2) 検出した SFINCS ポスタの ID を一意に識別する仕組みが必要となる. その仕組みとして, PM 方式では, SFINCS ポスタのデザインに規則 (デザインルール) を設けている[3]. デザインルールは 2 種類のルールから構成され, 上記の (1) を実現するため

のルールを Verify ルール, (2) を実現するためのルールを ID ルールと定義している.

2.2 処理手順

本節では, PM 方式における位置合わせ処理の手順について説明する (図 1). まず, PM 方式は初期位置合わせとして, マーカ検出・同定処理である Segmentation, Verification, Identification と, 位置姿勢推定処理である Registration の 4 つのステップを逐次実行する. そして初期位置合わせに成功した場合, 次フレーム以降では処理負荷の大きいマーカ検出・同定処理をトラッキングにより代用することで処理の高速化を図っている. 以下では各ステップの処理について詳述する.

[Segmentation ステップ]

本ステップでは, カメラ画像中に存在する四角形の領域を SFINCS ポスタ候補領域として抽出し, その領域を正対させる. まず特徴点検出を行い, 次に各特徴点間に縦方向のエッジと横方向のエッジが存在することを確認する.

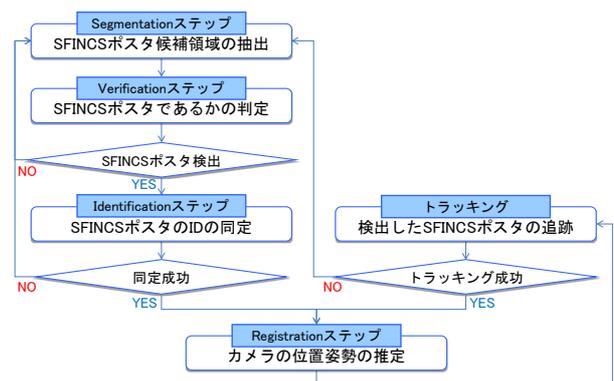


図1 PM 方式の処理手順

これらのエッジが存在した場合には、4つの特徴点に囲まれた領域を正対させ、SFINCS ポスタ候補領域とする。

[Verification ステップ]

本ステップでは、Segmentation ステップで抽出された SFINCS ポスタ候補領域が、SFINCS ポスタであるか否かの判定を行う。判定は Verify ルールに設定された基準に適合するか否かによって行い、適合した場合には、その領域を SFINCS ポスタとして検出する。

[Identification ステップ]

本ステップでは、Verification ステップにおいて検出した SFINCS ポスタの ID を同定する。判定には ID ルールを用い、Verification ステップと同様に設定された基準を満たすか否かを確認する。そして各 ID ルールによる判定結果を集約し、事前に作成しているデータベースと照合することで、SFINCS ポスタの ID を同定する。

[Registration ステップ]

本ステップでは、検出・同定した SFINCS ポスタのカメラ画像中における4頂点の座標と、既知である SFINCS ポスタの世界座標系もしくはマーカ座標系における4頂点の座標の対応関係を用いて、カメラ位置姿勢を推定する。

[トラッキング]

トラッキングでは、前フレームにおいて検出されたポスタの4頂点を追跡することで、マーカ検出・同定処理を代行する。まず、位置姿勢推定成功時にポスタの4頂点周辺の画像をテンプレートとして保存しておく。そして現フレームでは、前フレームでの各頂点を中心とした一定範囲に対して、特徴点検出を行う。ここで検出された特徴点を現フレームにおける頂点候補とし、それらを中心とした画像と、先に作成したテンプレートを使い、テンプレートマッチングを行う。その結果、最も類似した画像を持つ特徴点を現フレームにおける SFINCS ポスタの頂点とする。

3. スマートフォン向け SFINCS-PM

3.1 従来アルゴリズムの処理負荷

スマートフォンで問題無く動作可能な PM 方式を実現するにあたり、まず、従来の PM 方式をスマートフォン (iPhone4) 上で動作させ、処理時間を計測した (表 1)。結果、初期位置合わせ時に約 700ms、トラッキング時に約 80ms もの処理時間を要しており、処理負荷の軽減が必須であることがわかる。

3.2 端末性能を考慮した処理の軽量化

処理負荷の軽減を実現するために従来手法を見直し、端末性能を考慮して簡略化した処理、及び端末に搭載されている物理センサを補助として用いたトラッキング機構を導入した。各処理の詳細を3.2.1項～3.2.4項にて述べる。

表1 従来アルゴリズムの処理時間

	処理時間
Segmentation ステップ	76ms
Verification ステップ	588ms
Identification ステップ	
Registration ステップ	20ms
トラッキング	59ms

3.2.1 低解像度画像の利用

処理の一部に縦横 1/2 に縮小したカメラ画像を用いることで処理負荷の軽減と処理の効率化を実現した。低解像度画像を利用する場合、処理負荷の軽減と引き換えに処理精度の低下が考えられるが、本手法では各処理に適した形で導入することで問題無く利用可能とした。今回、低解像度画像を利用した処理は以下の2箇所である。

・Segmentation ステップ

SFINCS ポスタ候補領域抽出における特徴点検出の入力として低解像度画像を用いる。表 2 は、入力として低解像度画像と元画像の各々を用いた場合の特徴点と SFINCS ポスタ候補領域の数である。表 2 より低解像度画像を用いた場合にも、SFINCS ポスタ候補領域数に影響が無いことがわかる。これは、低解像度画像を利用することで検出できなくなった特徴点は、背景やポスタ型マーカの模様から得られる特徴点であり、本ステップで必要なマーカの各頂点は問題なく検出できているからであると考えられる。また、処理に不要な特徴点を取得しないことで、特徴点検出後の演算量の軽減にも繋がる。

・トラッキング

新たな入力画像中からマーカの頂点候補を検出する際の特徴点検出に低解像度画像を用いる。Segmentation ステップと同様、本ステップで必要な特徴点はマーカの各頂点であるため、問題無く低解像度画像を利用することができる。ただし、その後のテンプレートマッチングは精度を安定させるために低解像度では行わず元の解像度で行う。その際、低解像度画像で検出された特徴点は、画像の縮小率を基に元画像における座標値に変換して使用する。

3.2.2 色ヒストグラム生成における処理負荷の軽減

PM 方式におけるデザインルールの判定は、設定されたルールに応じて異なる処理を行う。ここで、多くの場合は SFINCS ポスタ候補領域の指定された範囲から色ヒストグラムを生成・分析する必要がある。そのため、色ヒストグラムの生成における処理負荷の大きさが、処理速度を向上させる上での課題となる。そこで、以下に述べる2工夫により処理負荷の軽減を図る。

まず1つ目の工夫として、色ヒストグラムを生成する際の階調を落とす。PM 方式では、プリンタで印刷したポスタを設置し、それをカメラで撮影することでマーカとして利用している。そのため、各機器における色再現性の違いから、実際に得られる画像情報では、計算機上でのポスタの色情報を完全に再現することはできない。故にデザインルールの判定に利用する色ヒストグラムには、RGB 各チャンネルにおいて 256 階調の色を扱える程の精度は必ずしも必要では無いと考えられる。そこで、生成する色ヒストグラムの階調を落とすことで、色ヒストグラムの生成に

表2 検出される特徴点数と候補領域数の比較

	元画像	低解像度画像
特徴点数	121	52
SFINCS ポスタ候補領域数	2	2

必要なメモリの確保にかかる時間を軽減する。

2つ目の工夫として、色ヒストグラムを生成する際の画像の走査回数を減らす。デザインルールではポストア中で多く使われている色の値やその量をルールとして記述する。また、これらの特徴をルールとして記述する際には特定の値ではなくその値を含んだ範囲を記述する。従来はこれらの特徴を正確に計測するためにルールで指定された範囲内にある全画素を走査して色ヒストグラムを生成しており、これが処理負荷の大きい原因の1つであった。しかしながら、特定の値か否かではなく、それを含んだ範囲に含まれるかを判断する程度であり、且つその対象が多く使用される色なのであれば、厳密な色のヒストグラムでなくとも問題の無い結果が取得可能だと考えられる。そこで、色ヒストグラムを生成する際に全画素を対象とせず、適当な間隔で画素を走査することで色ヒストグラムの生成にかかる処理負荷を軽減した。この工夫による SFINCS ポスタの検出精度への影響を確認するため、各ルールにおいて得られる値を通常時と走査回数削減時と比較した(図2)。結果、走査回数を削減した場合においてもルールに基づき抽出される情報はほぼ変わらず、本工夫が SFINCS ポスタの検出精度にほとんど影響を与えないことがわかる

3.2.3 検出可能な SFINCS ポスタ枚数の制限

スマートフォンの処理能力では、複数の SFINCS ポスタを同時に扱うことは難しい。そこで、同時に扱える SFINCS ポスタは1枚のみという制限を与え、SFINCS ポスタを1枚検出した時点で以降の領域に対する処理を全て省略することで、処理の高速化を図る。

さらに、1枚に制限した SFINCS ポスタをより効率良く検出・同定するために、抽出された SFINCS ポスタ候補領域において、面積の大きな領域から順にルール判定処理を行う。SFINCS ポスタ候補領域抽出では、SFINCS ポスタの4頂点から構成される四角形だけではなく、ポスタ内部の模様から得られる特徴点により構成される四角形も含んでいる。そこで、これらの不要な領域の面積が、必要な領域と比較して小さいという条件を利用し、面積の大きい順番に処理することで、従来よりも早い段階で必要な

SFINCS ポスタ	ルール	通常時	削減時
	KeyHue_A の割合	40%	41%
	KeyHue_A の値	357°	357°
	KeyRGB_A の割合	11%	12%

図2 通常時と走査回数削減時での得られる値の比較



図3 SFINCS ポスタ検出処理回数の比較

領域を取得可能となる。従来の SFINCS ポスタ検出処理を図3(a)に、本設計での処理を図3(b)に示す。

3.2.4 物理センサを用いたトラッキングの補助

多くのスマートフォンに標準的に搭載されている、加速度センサとジャイロセンサを利用することで、トラッキングの高速化を図る。従来のトラッキング処理では、2.2節で述べた通り、前フレームでの頂点座標を中心とした一定の範囲に対して特徴点検出を行い、検出された特徴点を中心とした領域と前フレームから作成したテンプレートを用いてテンプレートマッチングを行う。そのため、トラッキングの処理負荷は、検出される特徴点数に比例して増大する。そこで、センサにより推定した端末の移動・回転方向に応じて、最新のカメラ画像に対する特徴点検出の範囲を限定することで、トラッキングの処理負荷を軽減する。以下に、端末の移動・回転方向の推定方法について詳述する。以降の説明では、端末の中心を原点とする。

まず、加速度センサから得られる情報を用いて端末の移動方向を推定する。端末の動きに応じて得られる加速度センサの値を表3に示す。端末が静止している場合には、加速度センサから得られる値は水平方向の軸・垂直方向の軸共に0付近の微小値となる。そして端末が左に移動すると、水平方向の軸に対して大きな負の値が検出され、静止する際には大きな正の値が検出される。つまり、大きな加速度値の変化から端末の移動開始を検知し、それとは符号が逆の大きな加速度値の検知によって移動終了を判定する。

同時に、ジャイロセンサから得られる情報を用いて端末の回転方向を推定する。回転方向の推定には、前フレームと現フレームでのジャイロセンサ値の差分を利用する。端末の動きに応じて取得できるジャイロセンサの差分値を表4に示す。端末が回転していない場合には、水平方向の軸、及び垂直方向の軸における回転での差分値は0付近の微小値となる。そして端末が垂直方向の軸に対して反時計

表3 端末の動きに応じた加速度センサの値

端末の移動方向	加速度センサ値	
	水平方向	垂直方向
微小	微小値	微小値
左	-	微小値
左上	-	-
上	微小値	-
右上	+	-
右	+	微小値
右下	+	+
下	微小値	+
左下	-	+

表4 端末の動きに応じたジャイロセンサの差分値

端末の回転方向	ジャイロセンサ差分値	
	垂直方向の軸	水平方向の軸
微小	微小値	微小値
左	-	微小値
左上	-	+
上	微小値	+
右上	+	+
右	+	微小値
右下	+	-
下	微小値	-
左下	-	-

左上に限定				上に限定				右上に限定			
A	右下	右下	微小	A	下	下	微小	A	左下	左下	微小
G	右下	微小	右下	G	下	微小	下	G	左下	微小	左下
左に限定				中心に限定				右に限定			
A	右	右	微小	A	微小			A	左	左	微小
G	右	微小	右	G	微小			G	左	微小	左
左下に限定				下に限定				右下に限定			
A	右上	右上	微小	A	上	上	微小	A	左上	左上	微小
G	右上	微小	右上	G	上	微小	上	G	左上	微小	左上
赤点：特徴点検出の中心となる前フレームでの頂点位置 青い範囲：限定した特徴点検出範囲											

図4 端末の動きに応じた特徴点検出範囲の限定パターン

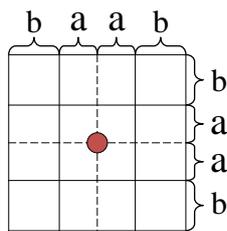


図5 特徴点検出範囲の指定

回りに回転した場合には、ジャイロセンサから得られる値の差分は正の値となり、時計回りに回転した場合には、負の値となる。このように、各軸における正負の符号により、端末の回転方向を推定する。

以上の結果を組み合わせることで、端末の移動方向に応じて特徴点検出の範囲を限定する。各センサの値変化の組み合わせに基づいた特徴点検出範囲を図4に示す。また、この特徴点検出範囲は変更可能であり、図5に示す a, b の値を指定することによって決定される。

4. 動作確認

スマートフォンで動作させた場合の PM 方式の初期位置合わせ時とトラッキング時の処理時間を、据置型 PC で動作させた場合の PM 方式の処理時間と比較する。PM 方式における処理時間は、カメラ画像中に存在する SFINCS ポスタ候補領域の数に左右される。そこで、ポスタが1枚のみの環境、及びポスタが複数枚存在する環境において計測を行った。今回、スマートフォンには iPhone4 を採用し、また、参考値としてスレート型端末である iPad2 での確認も行う。比較に際しては、同一の画像シーケンスを用いて確認を行い、トラッキング時には物理センサの情報が必要とするため、画像シーケンスの撮影時に記録し

SFINCS ポスタ	デザインルール	
	Verify ルール	ID ルール
	<ul style="list-style-type: none"> ポスタ全体での無彩色の割合 0% ~ 30% ポスタ全体での KeyHue_A の割合 80% ~ 100% 	<ul style="list-style-type: none"> ポスタ全体での KeyHue_A の値 200° ~ 260° (青系統の色)

図6 確認に用いる SFINCS ポスタとデザインルール

表5 ハードウェア構成

	据置型 PC	iPhone4	iPad2
プロセッサ	Core i7 2600 3.4GHz	Apple A4 1GHz	Apple A5 1GHz (dual)
メモリ	8GB	512MB	512MB

表6 処理時間の計測結果

(a) ポスタが1枚の環境

	据置型 PC	iPhone4 (軽量化前)	iPhone4 (軽量化後)	iPad2 (軽量化後)
初期位置合わせ時	58ms	684ms	55ms	20ms
トラッキング時	10ms	79ms	23ms	11ms

(b) ポスタが複数枚の環境

	据置型 PC	iPhone4 (軽量化前)	iPhone4 (軽量化後)	iPad2 (軽量化後)
初期位置合わせ時	34ms	924ms	76ms	27ms
トラッキング時	10ms	83ms	29ms	11ms



(a) ポスタが1枚の環境



(b) ポスタが複数枚の環境

図7 実行結果

た物理センサの値を用いる。トラッキングにおける特徴点検出の範囲は、図5における a, b の値を a=15, b=20 とする。また、画像シーケンスの解像度は 480×360 ピクセルである。本確認で使用する SFINCS ポスタとデザインルールを図6に示し、ハードウェアの構成を表5に示す。

各環境での計測結果を表6、実行結果を図7に示す。表6から、軽量化後の PM 方式は、軽量化前の PM 方式と比較して大幅な高速化を実現しており、iPhone4 においても十分な処理速度を実現していることがわかる。また、iPad2 の結果から、端末の高性能化により、更なる処理速度の向上が期待できる。

5. むすび

本稿では、スマートフォン上で動作可能な PM 方式の実現について報告した。実現にあたり、複数の簡略化処理、及び端末に搭載されている物理センサを補助的に用いたトラッキング機構を導入した。今後は、マルチスレッド処理を導入することでさらなる処理速度の向上を図る。

参考文献

- [1] 天目 他：ポスタを利用した複合現実感用幾何位置合わせ，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.14, No.3, pp. 381-389, 2009.
- [2] 茂地 他：複合現実感のための同系色ツートンカラーマーカにおける ID 符号体系と誤り検出・訂正，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.16, No.2, pp. 201-210, 2011.
- [3] 久保 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の研究（第11報）～ PM 方式におけるデザインルール体系の再構築～，本大会，2011.