

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 10 報) ～PM 方式におけるオーサリングツールの提案～

Visually Elegant and Robust Semi-Fiducials for Geometric Registration in Mixed Reality (10)
- Authoring Tool for SFINCS-PM Markers -

吉田大地, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行

Daichi Yoshida, 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 method for geometric registration, called SFINCS-PM, which employs posters as markers. This paper describes design and implementation of the authoring tool for SFINCS-PM markers. The aim of this tool is to reduce errors caused by difficult tasks for making SFINCS-PM markers. For using SFINCS-PM markers, the user needs to prepare rules of poster design and posters which follow the rules of poster design. To build the rules of poster design and to verify if the posters follow the rules, it is necessary to conduct complicated operations which would cause mistakes. Our proposed tool can change the difficult process into easy one and reduce mistakes.

Key Words: *Mixed Reality, Semi-Fiducial Marker, Authoring Tool*

1. はじめに

複合現実感における幾何学的整合性を達成するための手法として、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させた半人為的マーカの研究に取り組んでいる。SFINCS の方法論としては、(1)実環境と調和のとれた色、形状のマーカを設置する方法及び(2)実環境に自然に存在するものに位置情報を埋め込む方法の 2 つがある。我々はこれまで(1)に基づいた手法として、対象領域の隅に対象領域と同系色のマーカを設置して位置合わせを行う「ツートンカラー方式 (TT 方式)」を提案し[1]、マーカ作成を支援するオーサリングツールを開発した[2]。一方、(2)の具体的な手法として、実空間に存在しても違和感のないポスタを利用して位置合わせを実現する Poster Masquerade 方式 (PM 方式) を提案した[3]。PM 方式は、実空間に設置されたポスタをカメラ画像から検出し、そのポスタの傾きからカメラの位置姿勢を推定する。実空間中のポスタの検出と同定はポスタのデザインに規則を設けることで実現している。そのため、PM 方式で位置合わせを行うには、事前にポスタのデザインのルールを設計し、それに準じたデザインのポスタを作成する必要がある。また、設計したルールがマーカとして使用する全てのポスタに適合しているかどうかの判定も事前準備として行う必要がある。このような煩雑な処理はマーカ設計のミスを誘発する原因となる。そこで本稿では、PM 方式で必要となる事前準備の支援を目的としたオーサリングツールの設計/開発を行った結果について報告する。

2. SFINCS-PM

2.1 概要

PM 方式は、実空間に存在しても違和感のないポスタをマーカとして利用することで、美観を損なうことなくカメラの位置姿勢を推定する手法である。実空間からポスタを検出し、同定するために、マーカとして使用するポスタのデザインに規則を設けている。PM 方式では、このデザインの規則をデザインルール、それに準じたデザインを持つポスタを SFINCS ポスタと定義している。

PM 方式で位置合わせを行うには、事前にデザインルールを設計し、それに準じた SFINCS ポスタの用意が必要となる。PM 方式ではこのような位置合わせのための事前準備をオーサリングフェーズと定義している。また、オーサリングフェーズでの設定を基にカメラの位置姿勢を推定する処理を位置合わせフェーズと定義している。

以降では、PM 方式で定義している用語を説明し、デザインルールの概念について詳述する。また、オーサリングフェーズでの処理内容について述べる。

2.2 用語の定義

本節では PM 方式で定義している用語を説明する。

[SFINCS ポスタ]

マーカとして利用するポスタ。デザインルールを満たしている必要がある。

[デザインルール]

SFINCS ポスタを検出・同定するために用いるポスタのデザインの規則。Verify ルールと ID ルールから構成される。複数のルールの組み合わせにより、詳細なルール設計が可能。

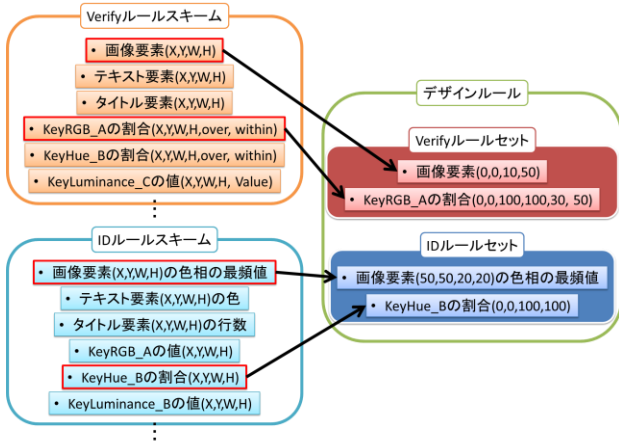


図 1 デザインルール概念

[Verify ルール]

デザインルールを構成するルールのひとつ。一般のポストと SFINCS ポスタを区別するために用いる。

[ID ルール]

デザインルールを構成するルールのひとつ。SFINCS ポスタを同定するために用いる。

[ルールスキーム]

ポストの検出・同定に用いる条件を抽象的な枠組みとして定義したルールの雛形の集合。このうち、Verify ルール用のルールの雛形の集合を Verify ルールスキーム、ID ルール用のルールの雛形の集合を ID ルールスキームと定義する。

[ルールセット]

ルールスキームから選択されたルールの雛形を実体化させたルールの集合。実体化した Verify ルールの集合を Verify ルールセット、実体化した ID ルールの集合を ID ルールセットと定義する。

2.3 ルールスキームとデザインルール

PM 方式のデザインルールの概念を図 1 に示す。デザインルールの設計は、各ルールスキームから Verify ルールと ID ルールの雛形をそれぞれ選択し、それらに対して具体的なパラメータを設定することで各ルールを実体化するという手順で行う。SFINCS ポスタの検出と同定は、ルールセットに定義された各ルールの論理積に従う。

2.3.1 節及び 2.3.2 節では、現在ルールスキームに定義されている Verify ルール及び ID ルールについて詳述する。なお、ルールスキームに含まれる各ルールの雛形は今後拡張が可能であり、様々なルールを導入することで、いろいろな種類のポストに対応したデザインルールを組み合わせることが可能である。

2.3.1 Verify ルール

Verify ルールは一般のポストと SFINCS ポスタを区別するためのルールである。現在、Verify ルールには以下の 2 種類を定義している。

- (A) ポスタの色情報を利用した Verify ルール
 - (B) ポスタの構成要素の位置を利用した Verify ルール
- ポストの色情報とはポスト中で使用されている色を分析した情報であり、ポスト中で範囲を指定し、その範囲内

表 1 Key の表記方法

色の表現形式	色のヒストグラムでの度数の順位 (Key の表記はアルファベット順)		
	1	2	3
RGB	KeyRGB_A	KeyRGB_B	KeyRGB_C
Hue	KeyHue_A	KeyHue_B	KeyHue_C
Luminance	KeyLuminance_A	KeyLuminance_B	KeyLuminance_C

の色のヒストグラムを生成・分析することで抽出する。(A) のルールはこのヒストグラムから読み取れる情報を用いて、マーカ検出のための制約を設けるための規則である。PM 方式では、ヒストグラムでの色の指定をより容易に行うために Key という概念を用いる。Key とはポスト中の任意の範囲内の色のヒストグラムで度数の高い色を指す。Key は表 1 に示すように、ヒストグラムを作成する際の色の表現形式及びヒストグラムでの度数の高さによって表記方法が異なる。ポストの色情報を利用した(A)のルールでは、Key のとりうる色の範囲を規定するか、もしくは、生成したヒストグラムから特定の色の度数を規定する。後者の場合、色の指定方法には、Key、または、具体的な色の数値を指定する。(B)のルールは画像や文字などポストの構成要素の位置をマーカの検出のためのルールとして規定する。(A)とは異なり、PM 方式の利用者がヒストグラムを読み取る必要が無いため、明示的に色の値や度数を指定することなく、構成要素の位置を規定するだけで、Verify ルールを作成可能である。このルールではポストの構成要素の種類として、1 行または 2 行の文字列を表すタイトル要素、複数行の単色文字列を表すテキスト要素、1 枚の矩形の画像を表す画像要素の 3 種類が指定可能である。

PM 方式の利用者は、Verify ルールセットを設計するために、ルールの雛形を Verify ルールスキームから選択する。そして、選択した複数のルールの雛形それぞれに対して、Key の値や度数の範囲、構成要素の種類などを具体的な値として与えることで、選択したルールの雛形からルールの実体を作成する。Verify ルールの具体例を表 2 に示す。

表 2 SFINCS ポスタとデザインルールの例

例 1	例 2
Verify ルールセット	
<ul style="list-style-type: none"> ● ポスタ全体での KeyHue_A の割合が 40~70% ● ポスタ全体での KeyRGB_A の値が R 120~250 G 0~30 B 0~30 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画像要素の座標とサイズ (x:0.9,y:19,w:97,h:51) ● テキスト要素の座標とサイズ (x:4.5,y:26,w:60,h:17) <p>数値の単位は%であり、ポストの幅/高さに対する割合を示す</p>
ID ルールセット	
● KeyHue_B の値	● テキスト要素の文字の色

2.3.2 ID ルール

ID ルールは SFINCS ポスタを同定するためのルールである。PM 方式では、SFINCS ポスタごとに異なる固有の特徴を用いることで、他の SFINCS ポスタと区別する。このとき、同定に利用する特徴を規定するための規則が ID ルールであり、現在は以下の 2 種類を用いている。

- (A) 各 Key で指定される色の値やその度数
- (B) ポスタの構成要素ごとの特徴

(A)はポスタ中の任意の範囲内の色のヒストグラムから抽出される各 Key の色の値やその度数を SFINCS ポスタの同定ための特徴として利用するルールである。(B)はポスタの構成要素として指定された範囲から読み取れる構成要素ごとの特徴を用いる。構成要素ごとの特徴には、画像要素の場合には最も度数が大きい色相値、タイトル要素の場合にはタイトルの行数と色、テキスト要素の場合には文字の色がある。

PM 方式の利用者は、ID ルールセットを設計するにあたり、ID ルールスキームから ID ルールの雛形を選択し、Verify ルールと同様にルールを適用する範囲の座標を与える。また、抽出する特徴には SFINCS ポスタごとの固有の値を用いるが、利用する特徴が色の値やその度数の場合、入力画像から得られる値は光などの影響を受け変動する可能性がある。そのため、ID ルールでは SFINCS ポスタごとに、得られる値の変動に対応するために、抽出した特徴に幅を規定する。ID ルールの具体例を表 2に示す。

2.4 オーサリングフェーズ

オーサリングフェーズは、SFINCS ポスタを用意するためのフェーズである。このフェーズでは、デザインルール of デザインの設計、ポスタの作成、SFINCS ポスタからの位置姿勢取得に関する設定を行い、SFINCS ポスタの作成する。

本節ではそれぞれの処理内容について説明する。

2.4.1 デザインルールの設計とポスタの作成

SFINCS ポスタを用意するにあたり、まず、デザインルールの設計とそれに準じたデザインを持つポスタの作成が必要である。デザインルールはポスタのデザインに関する規則であり、その設計はポスタのデザインに大きく反映される。デザインルールの設計とポスタ作成の順序に制限は無く、どちらから先に取り組んでも構わない。デザインルールを先に設計する場合、ルールの設計後にそれに準じたデザインのポスタを作成し、逆の場合には、事前に作成したポスタのデザインの特徴から共通項を抽出し、デザインルールを設計する。

2.4.2 位置姿勢取得に関する設定

SFINCS ポスタからカメラの位置姿勢取得方法には、以下の 2 通りがあり、目的に応じて使い分けが可能である。

- (A) カメラ画像中での SFINCS ポスタの傾きから、カメラと SFINCS ポスタの相対的な位置関係を算出し、カメラの位置姿勢を推定する方法
- (B) 事前に SFINCS ポスタの世界座標系での位置姿勢を定めておくことで、カメラの世界座標系での位置



図 2 オーサリングツール
姿勢を推定する方法

(A)はポスタが物理的に移動した場合にでも、カメラの位置姿勢を推定することが可能である。(B)は実空間での絶対的なカメラの位置姿勢を把握することが可能である。また、SFINCS ポスタとカメラの距離を判断するために、実際に使用する SFINCS ポスタの大きさを指定する。

3. オーサリングツール

オーサリングフェーズでのデザインルールの設計及びポスタがデザインルールに適合しているかの判定には、ポスタからの色情報の抽出が必要である。色情報は、指定した範囲内のヒストグラムを生成・分析することで抽出するが、この作業は PM 方式の利用者にとって非常に複雑な作業である。また、プリンタやカメラ等の機材ごとに色再現性が異なるため、計算機上でのポスタの色合いと、印刷設置後の実際のポスタの色合いが異なり、位置合わせフェーズでポスタを検出できないといった問題も起こりうる。このような複雑な事前準備は SFINCS ポスタを設計する上でミスを生発する原因となる。そこで、SFINCS ポスタの作成を支援するためのオーサリングツールの設計/開発を行った (図 2)。

本章では、オーサリングツールを使用した SFINCS ポスタの設計手順及び各ステップでの処理内容について述べ、オーサリングツールを使用することで、意図通りの SFINCS ポスタの準備が可能かどうかを確認する。

3.1 操作手順

本ツールは次の 5つのステップによってオーサリングフェーズの支援を行う。まず、デザインルールを構成する Verify ルールセット及び ID ルールセットの設計を行う。その後、カメラやプリンタとの色再現性の違いを考慮しながら、デザインルールの修正、もしくはポスタのデザインの修正を行う。ここまでの処理を終えた後に、最後に利用用途に合わせて、SFINCS ポスタの大きさと位置姿勢方法を設定し、最終的な情報の出力を行う。

3.1.1 Verify ルールセットの設計

Verify ルールは、ルールの種類を選択した後、図 2で示す赤枠に囲まれた GUI 上でルールの適用範囲を描画し、青枠の GUI でルールごとに設定できる条件を入力することで設計する。このステップでの処理は以下のどちらかの順に行う。

[Verify ルールセットを先に設計する場合]

Verify ルールスキームから Verify ルールの雛形を選択し、ルールを適用するポストア中での場所の座標値等を与え、ルールを実体化する。実体化したルールに準じたデザインのポストアのデザインを既存の画像編集ソフト等で作成し、作成したポストアのデザインが、設計した Verify ルールセットに適合しているかの判定をオーサリングツールで行う。

[ポストアのデザインを先に作成する場合]

事前に作成したポストアを本ツールに読み込み、そのデザインの特徴に応じて Verify ルールスキームから Verify ルールを選択しながら Verify ルールセットを設計する。同時に、設計した Verify ルールが使用する全ての SFINCS ポスタのデザインに適合しているかを確認する。

3.1.2 ID ルールセットの設計

このステップでは、ID ルールスキームから ID ルールの雛形を選択し、使用する全ての SFINCS ポスタを同定可能な ID ルールセットを設計する。

3.1.3 デザインルール／ポストアの修正

図 3に示すように、プリンタで印刷した後にカメラで撮影したポストアの色合いは、データ上のポストアの色合いと大きく異なる。これは機器による色再現性の違いや照明条件に起因する問題である。

PM 方式のデザインルールは色情報を使用しているため、計算機上でのポストアの色と、カメラ画像から検出されたポストアの色が異なる場合、同一のポストアであってもデザインルールを満たせずに SFINCS ポスタとして利用できない。

そこで、このステップでは以下の手順を繰り返すことでこの問題の解決を図る。

1. 実際に利用するプリンタとカメラを使用し、SFINCS ポスタを印刷／撮影する
2. 撮影したポストアを本ツールに読み込み、デザインルールを満たすかを判定する
3. 判定に失敗した場合は、デザインルールの修正もしくは、ポストアのデザインの修正の必要性を指示する

3.1.4 位置姿勢取得方法とポストアの大きさの指定

このステップでは SFINCS ポスタからの位置姿勢取得方法と、実際に利用する SFINCS ポスタの大きさを指定する。2.4.2節の項(A)を採用する場合には、SFINCS ポスタの世界座標系での位置姿勢を指定する。

3.1.5 設計した情報の出力

このステップでは、これまでの4つのステップで設計し



(A)計算機上でのデータとしてのポストア



(B)プリンタで印刷後にカメラで撮影したポストア

図 3 色再現性の違いに起因する色合いの変化

表 3 動作確認時の条件

ID1	ID2
SFINCS ポスタ設計時に抽出された色情報	
● KeyHue_A: 0°	● KeyHue_A: 0°
● KeyHue_B: 150°	● KeyHue_B: 220°
Verify ルールセット	
● ポスタ全体での KeyHue_A の値が 0° ~ 30°	
ID ルールセット	
● ポスタ全体での KeyHue_B の値	



図 4 動作事例

た情報を位置合わせフェーズで利用可能な形式で出力する。位置合わせフェーズでは、このステップで出力したファイルを読み込むことで、オーサリングフェーズでの設計通りの位置合わせが可能でとなる。

3.2 動作確認

表 3で示す条件でオーサリングツールの動作を確認した。オーサリングツールで設計したデザインルールと SFINCS ポスタを用いて、意図通りに位置合わせフェーズの処理が可能であることを確認するために、8枚のポストアが貼られた実空間で、SFINCS ポスタ(8枚中の2枚)だけを検出し、それらを同定できることを確認した(図 4)。

4. むすび

本稿では、複雑になりがちな SFINCS ポスタ設計を簡潔に行うためのオーサリングツールの設計／開発について報告した。SFINCS ポスタの設計には、デザインルールの設計及び使用するポストアがそれに適合するかの判定が必要である。これらの作業には、PM 方式の利用者が色のヒストグラムを作成／分析する必要があり、SFINCS ポスタを設計する上でミスを誘発する原因となる。本ツールでは、このような複雑な作業を簡潔に行うことができる。

今後は、スマートフォンなど性能の低い端末上で PM 方式を利用できるように検出アルゴリズムの改良を行う。

参考文献

- [1] 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の研究(第1報), 信学技報, Vol. 106, No. 470, PRMU2006-195, pp. 7-12, 2007.
- [2] 井上貴博 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4報) ~ TT方式マーカ・セッティングのためのオーサリングツール ~, 電子情報通信学会 2008年総合大会, A-16-4, p. 290, 2008.
- [3] 天目隆平 他：ポストア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.