

# クライアントサーバモデルに基づく 携帯端末の位置姿勢推定機構(3) ～位置合わせ手法切替機構の設計と実装～

A Geometric Registration Mechanism for Mobile Devices Based on Client Server Model (3)  
- Design and Implementation of a Switching Mechanism of Geometric Registration Methods -

海津優介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行

Yuusuke Kaidu, 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:** As a registration method for mobile devices in mixed reality(MR), we have developed a geometric registration mechanism based on client server model. In this paper, we propose a switching mechanism of geometric registration methods to achieve a widely available geometric registration mechanism for mobile devices. Recent years, many registration methods for mobile devices have been proposed in the field of MR. However, it is difficult for any method to estimate the device's position and orientation in all situations because each method has its own home ground. Therefore, we designed a newly mechanism which switches registration methods according to the surrounding of mobile devices. We employed SFINCS-PM on a geometric registration method, which can be used in the environment where natural feature based methods cannot be used. This method enables our proposed mechanism to estimate the mobile's position and orientation strongly in more wide-ranging.

**Key Words:** mixed reality, tracking, client-server model, landmark

## 1 はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) を携帯端末上で実現する上で、位置合わせ技術の実現は最重要課題であり、人工マーカを使用する手法[1]や、現実世界の自然特徴点を使用する手法[2]など様々な手法が提案されている。しかし、既存の手法は利用環境や条件等を制限した上で課題の解決を図っており、一般に広い範囲を対象として初期位置合わせとトラッキングを実現するのは難しい。そもそも、あらゆる環境で万能な位置合わせ手法を実現することは困難であり、広範囲を対象とした位置姿勢検出を実現するためには、個々の環境に合わせた適材適所の考え方が重要になると考える。

このような前提のもとで我々は、広域かつ様々な利用環境における携帯端末での位置姿勢検出の実現を念頭に、クライアントサーバモデルに基づく位置姿勢推定機構の設計・実装を進めている。本機構では、特に計算時間を要する初期位置姿勢の推定などを携帯端末側ではなくサーバ側で実行し、初期位置姿勢が分かっている携帯端末側でトラッキングすることにより位置姿勢を推定する(図1)。まずは第1段階として、武富らが提案した自然特徴点ランドマークデータベース(以下、LMDB)を用いたカメラ位置姿勢推定手法[3]をベースに、クライアントサーバ型の位置姿勢検出機構を提案した[4][5][6]。

先に提案した機構では、自然特徴点をランドマークとして使用するため、そもそも自然特徴点 LMDB が構築できない環境では利用できない。また、自然特徴点をトラッキ

ングするには前フレームにおける携帯端末の位置姿勢を用いるため、端末の位置姿勢が大きく変化するとトラッキングが破綻するという問題がある。そこで前者の問題に対しては、複数の位置合わせ手法から適切なものを選択し切り替える機構を導入する。本研究では手始めに、自然特徴点トラッキングにおいて位置姿勢推定が困難な環境での位置合わせ手法として SFINCS-PM 方式[7]を導入し、より広い環境において頑健な位置姿勢推定を可能とする。また後者の課題に対しては、携帯端末に搭載されている物理センサを併用する事でトラッキングにおける頑健性の向上を目指す。

## 2 位置合わせ手法切替機構

### 2.1 提案機構の概要

我々は、広域かつ様々な利用環境における携帯端末の位置姿勢推定機構の設計・実装を進めおり、第1段階として自然特徴点 LMDB を用いた位置姿勢推定機構を提案した。しかし、自然特徴点 LMDB を用いた手法では、自然特徴点を多数検出可能である環境でなければ、位置姿勢を推定することが難しい。また、他の既存の位置合わせ手法にお

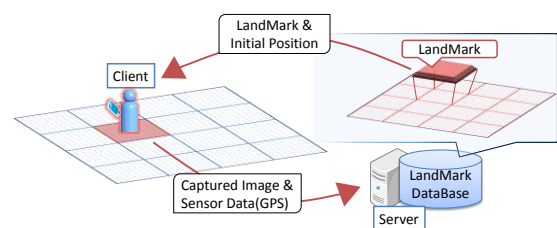


図 1 位置姿勢推定機構の概要

いても利用環境等に制限を設けて位置姿勢推定を実現しており、1つの位置合わせ手法であらゆる環境に対応することは難しい。そこで、我々は研究の第2段階として、クライアントの周辺環境に応じて位置合わせ手法を動的に切り替えることで、広範囲かつ多様な環境で位置姿勢推定を可能とする機構を新たに提案する。

## 2.2 システム構成

今回提案する機構のシステムは、初期位置姿勢推定サーバ（以下、本章でサーバと呼称）、メディエータ、クライアントの3つの機器から構成される（図2）。サーバは位置合わせ手法ごとに用意されており、位置姿勢推定に必要な特微量等の管理とクライアントの初期位置姿勢推定を行うモジュールを配置する。メディエータでは、各サーバで行った位置姿勢推定結果から最適となる位置合わせ手法を選択する。クライアントは、メディエータで選択された位置合わせ手法を用いて実時間で位置姿勢を推定する。

## 2.3 位置合わせ手法切替機構の処理の流れ

以下に提案する機構の処理の流れを示す。

- (1) 位置合わせ手法選択の要求（クライアント）  
静止画像およびGPS情報を取得し、メディエータへ送信する。
- (2) 初期位置姿勢推定の要求（メディエータ）  
GPS情報や静止画像等の各位置合わせ手法で必要となる情報を位置合わせ手法ごとに用意されたサーバへ送信する。
- (3) 初期位置姿勢推定（サーバ）  
メディエータから受信した静止画像とGPS情報、特微量などの情報を用いて、クライアントの初期位置姿勢を推定する。
- (4) 初期位置姿勢の返送（サーバ）  
(3)の初期位置姿勢の推定結果とクライアント側でのトラッキングに必要な特微量等をメディエータへ送信する。
- (5) 位置合わせ手法選択（メディエータ）  
各サーバから受信した初期位置姿勢推定結果を用いてクライアントで使用する位置合わせ手法を選択する。この時、あらかじめ各位置合わせ手法に設定しておいた優先度の高いものを選択する。優先度は、位置合わせ手法の精度、処理時間、頑健性等を考慮して決定する。
- (6) 初期位置姿勢の送信（メディエータ）  
初期位置姿勢と(5)で選択した位置合わせ手法に必要な特微量等をクライアントへ送信する。
- (7) 実時間での位置姿勢トラッキング（クライアント）  
受信した情報を基に、端末の位置姿勢を実時間で推定する。この時、メディエータで選択された位置合わせ手法を用いて位置姿勢推定を行う。

## 2.4 初期位置姿勢推定サーバ

提案機構では、メディエータから送られてくるクライア

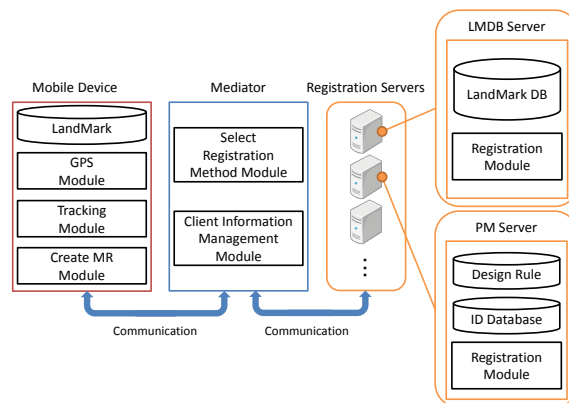


図2 システム構成



図3 SFINCS ポスタ

ントの情報とサーバ側で保持する位置姿勢推定に必要な情報を用いて、クライアントの初期位置姿勢を推定する初期位置姿勢推定サーバを位置合わせ手法ごとに用意している。既に先の研究で実装を行っている自然特徴点LMDBを用いた初期位置姿勢推定用のサーバを提案機構の初期位置姿勢推定サーバの1つとして利用している。しかし、自然特徴点を用いた手法では、カメラ画像中から多数の自然特徴点を検出可能な環境でなければ、安定した位置姿勢推定を継続する事が困難である。そこで、人工マーカによる位置姿勢推定を行うサーバを初期位置姿勢推定サーバの1つとして導入する事で利用可能範囲を拡大する。人工マーカを利用する事で自然特徴点LMDBの構築が困難な環境においても位置姿勢推定が可能となる。

### 2.4.1 SFINCS-PM サーバ

クライアント側で移動しながら位置姿勢推定を行う場合、環境中に配置されている物体をトラッキングする事が好ましい。そこで今回は、数ある人工マーカを用いた位置合わせ手法の中から、多様な環境中で利用されているポスタを用いて位置姿勢を推定するSFINCS-PM方式を選択し、初期位置姿勢推定を行うサーバの1つとして、SFINCS-PMサーバ（以下、PMサーバ）を実装した。PM方式では、デザインルールに則って環境中から図3に示すようなSFINCSポスタを検出し、追跡することで位置姿勢推定を行う。PMサーバはSFINCSポスタを検出・同定するために用いるデザインルールとID Database、各ポスタIDと世界座標系の対応関係を管理し、これらとメディエータから送信される静止画像を用いてSFINCSポスタからクライアントの初期位置姿勢を推定する。

### 2.4.2 PM サーバの処理の流れ

PMサーバでは、最初にメディエータからクライアントの周辺環境の情報として静止画像を受信する。次に、サー

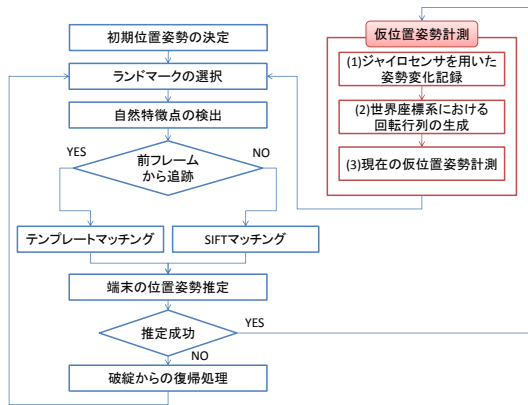


図4 物理センサを併用した自然特徴点トラッキング

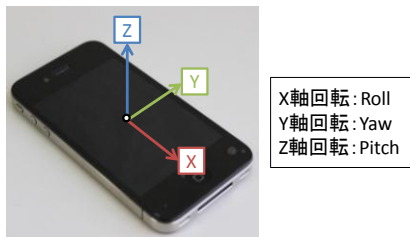


図5 ローカル座標系の回転軸

バ側で管理しているデザインルールと ID Database を用いて静止画像からポスタの検出・同定を行う。その後、検出した SFINCS ポスタの 4 頂点とサーバ側で保持しているポスタの世界座標系を用いてクライアントの初期位置姿勢を推定する。最後にメディアータへ位置姿勢推定結果と位置姿勢推定時に使用したランドマークを送信する。

### 2.4.3 PM サーバ導入時のトラッキング手法

前節で述べた PM サーバを提案機構に追加するにあたり、クライアントに SFINCS-PM 方式で行っているトラッキング手法を追加した[8]。追加したトラッキング手法では、SFINCS ポスタの 4 頂点を追跡することで位置姿勢推定を行う。

## 3 物理センサを併用した自然特徴点トラッキング

### 3.1 自然特徴点トラッキングの問題点

提案機構では初期位置姿勢推定サーバにおける位置合わせ手法の 1 つとして、自然特徴点 LMDB を用いた初期位置姿勢推定を行っている。また、この手法における携帯端末（クライアント）側の処理として前フレームにおける端末の位置姿勢を用いて自然特徴点を追跡する自然特徴点トラッキングを実装している。しかし、この処理では大きな位置姿勢変化が起こった場合、追跡している自然特徴点が探索範囲から外れてしまい、トラッキングが破綻するといった課題があった。

### 3.2 物理センサを併用した自然特徴点トラッキング

前節で述べた課題を解決するため、携帯端末に搭載されている物理センサを併用し、トラッキングの頑健性向上を図る。具体的には、物理センサにより前フレームからの姿勢変化を記録し、現フレームにおける仮の姿勢を推定することでクライアントが大きく移動した際でもトラッキングの破綻を防ぐ事が可能となっている。物理センサを併用

した自然特徴点トラッキングの処理の流れを図 4 に示す。トラッキング処理では、まずサーバから受け取った初期位置姿勢を基にカメラ視野を推定し、使用するランドマークを視野の周辺に存在するものに絞り込む。次に Harris コーナー検出器を用いて、画像中から自然特徴点を検出し、絞り込んだランドマークと検出した特徴点の対応付けを行う。最後に得られた対応関係から、携帯端末の位置姿勢推定を行う。また、初回のトラッキング処理以降は、物理センサを用いて記録した位置姿勢変化から仮の位置姿勢を推定し、ランドマークの絞り込みを行う。物理センサを併用した際に行う処理フローは図 4 の赤枠部分となっており、各処理の詳細は以下の通りとなっている。

- (1) ジャイロセンサを用いて前フレームから現フレームまでの携帯端末の姿勢変化を記録する。ここでの姿勢変化の値とは、図 5 に示す携帯端末のローカル座標系における回転角である。
- (2) 前フレームの携帯端末の世界座標系における位置姿勢と測定された回転角を用いて携帯端末の回転行列を生成する。
- (3) 得られた回転行列を基に携帯端末の位置姿勢を推定。この一連の処理を繰り返し、トラッキングを継続する。

## 4 動作確認

### 4.1 位置合わせ手法切替機構

提案した位置合わせ手法切り替え機構の動作確認を行い、提案機構による位置姿勢推定がより多くの環境で有効である事を確認する。動作確認は、類似する自然特徴点が多くランドマークとの対応付けが困難な図 6 の環境において、初期位置姿勢推定サーバを実装している自然特徴点 LMDB を用いた手法と SFINCS-PM 方式を用いた手法の初期位置姿勢推定とトラッキング処理の精度の比較を行う。クライアントには、表 1 に示す端末を用い、メディアータと各初期位置姿勢推定サーバには表 2 に示す計算機を用いた。

まず、両手法の初期位置姿勢推定にかかる処理時間と精度を検証した。結果は表 3、表 4、表 5 に示す。次に、実験環境で両手法のトラッキングを行い、各々の精度を比較



図6 実験環境 1



図7 実験環境 2

表 1 クライアント性能

端末	iPhone4
CPU	Apple A4 1GHz
RAM	512MB

表 2 メディアータと初期位置姿勢推定サーバ

OS	Microsoft Windows7 Professional
CPU	Intel Core2 Quad 2.66GHz
グラフィックボード	NVIDIA GeForce9800 GT
RAM	4GB



表 3 初期位置姿勢推定処理時間[ms]

SFINCS-PM	自然特徴点
512	1023

表 4 初期位置推定誤差[mm]

座標	SFINCS-PM	自然特徴点
X 座標	135.04	396.83
Y 座標	155.77	226.19
Z 座標	173.20	337.50

表 5 初期姿勢ベクトル推定誤差

姿勢ベクトル	SFINCS-PM	自然特徴点
X 軸ベクトル	0.003	0.679
Y 軸ベクトル	0.266	0.272
Z 軸ベクトル	0.036	0.318

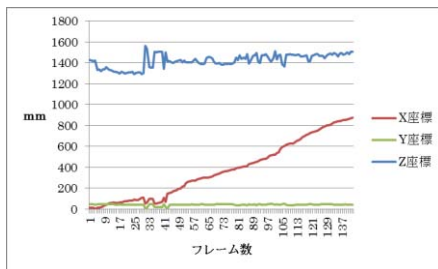


図 8 SFINCS-PM 方式

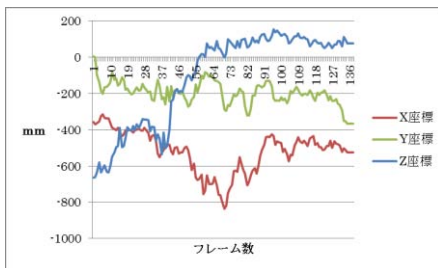


図 9 自然特徴点

表 6 トラッキング時の姿勢ベクトルの推定誤差

姿勢ベクトル	SFINCS-PM	自然特徴点
X 軸ベクトル	0.169	0.868
Y 軸ベクトル	0.184	0.154
Z 軸ベクトル	0.061	0.643

表 7 物理センサを用いたトラッキング処理

	従来手法	新手法
平均処理時間[ms]	173	164
破たん回数	4	1
ランドマーク数	11.68	16.36

した。実験では、原点から z 軸方向に 1m 離れ、x 軸方向に 1m 平行移動しながらトラッキングを行った。PM 方式における位置推定結果は図 8 となり、自然特徴点トラッキングにおける位置推定結果は図 9 となった。また両手法の姿勢ベクトル推定誤差の結果は表 6 となった。

以上の結果から、自然特徴点による位置姿勢推定が困難な場所においても、SFINCS-PM 方式を用いることで頑健な位置姿勢推定可能であることを確認した。このことから提案機構による位置姿勢推定がより多くの環境で有効であると言える。しかし、人工マーカを用いた手法は、利用がカメラ画像中に撮影出来る範囲に限定されるため、トラッキ

ング継続中においては、クライアントの移動可能範囲が大きく制限される。そこで、今後はトラッキング継続中に位置姿勢推定処理を切り替える処理の実装が必要であると考える。

#### 4.2 物理センサを併用した自然特徴点トラッキング

自然特徴点トラッキング処理に物理センサを併用した新手法と、従来のトラッキング処理との処理時間及び位置姿勢推定の頑健性の比較を行う。実験は、自然特徴点を多数観測可能で、自然特徴点 LMDB の構築が可能である図 7 に示す環境で行った。

表 1 に示す端末を用いて、100 フレーム分のトラッキングを行い、1 フレーム当たりの平均処理時間、破綻回数、対応付けに成功したランドマーク数の計測を行った。結果は、表 7 のようになっており物理センサを併用することで頑健性が向上したことを確認できた。

### 5 むすび

本稿では、クライアントサーバモデルを用いた位置姿勢推定機構について述べ、その第 2 段階として位置合わせ手法を切り替える機構を提案した。今回は初期位置姿勢推定の選択部分の設計と実装を行い、自然特徴点 LMDB を用いた手法に加えて人工マーカを用いた手法の 1 つである SFINCS-PM 方式を導入した事で汎用性の向上に取り組んだ結果についても報告した。また、自然特徴点 LMDB を用いた手法におけるクライアント側の処理である自然特徴点トラッキングに物理センサを併用する事でトラッキングの頑健性向上に取り組んだ結果についても報告した。今後は、クライアント側で使用するトラッキング手法を周辺環境に応じて切り替える機構を導入することで、提案機構の汎用性向上を目指す。

#### 参考文献

- [1] 加藤：AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状－人工マーカを使った手法の研究動向と課題，日本 VR 学会第 14 回大会論文集，3C2-1 (2009)
- [2] 佐藤他：AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状－自然特徴を使った手法の研究動向と課題，日本 VR 学会第 14 回大会論文集，3C2-2 (2009)
- [3] 武富他：拡張現実感のための優先度情報を付加した自然特徴点ランドマークデータベースを用いた実時間カメラ位置・姿勢推定，電子情報通信学会論文誌(D)，Vol.J92-D，No.8，pp.1440-1451，2009
- [4] 海津他：クライアントサーバモデルに基づく携帯端末の位置姿勢推定機構(1)～ランドマークデータベースを用いた位置姿勢推定機構の設計と実装～，電子情報通信学会総合大会講演論文集，A-16-12 (2011)
- [5] 中西他：クライアントサーバモデルに基づく携帯端末の位置姿勢推定機構(2)～携帯端末における自然特徴点追跡手法～，電子情報通信学会総合大会講演論文集，A-16-13 (2011)
- [6] 樋下他：ランドマークデータベースに基づくカメラトラッキング法の高速化と安定化，電子情報通信学会，信学技報，Vol 109，No 373，PRMU2009-192，pp.255-260，2010
- [7] 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
- [8] 小紫他：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 12 報)～SFINCS-PM システムのスマートフォンでの実現～，本大会，2011