

# 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(5) —位置合わせ手法の動的切替機構の開発—

海津 優介<sup>†</sup>, 中西 恭平<sup>†</sup>, 柴田 史久<sup>†</sup>, 木村 朝子<sup>†</sup>, 田村 秀行<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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

E-mail: kaidu@rm.is.ritsumei.ac.jp

**あらまし** 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。本論文では、提案機構において、動的な位置合わせ手法の切り替えを実現するため、定期的にクライアントがサーバ側と通信を行い、利用可能な位置合わせ手法の中から最適な手法を適宜選択する機構を実装し動作確認を行ったことについて述べる。また、ランドマークやマーカ等の事前知識がない場所でもトラッキングを可能とするために、リアルタイムマッピング処理を導入したことを併せて報告する。

キーワード 複合現実感, トラッキング, クライアントサーバモデル, ランドマーク

## A Geometric Registration Mechanism for Mobile Devices Based on Client Server Model(5) —Dynamic Switching Mechanism of Geometric Registration Methods—

Yusuke kaidu<sup>†</sup> Kyohei Nakanishi<sup>†</sup> Fumihisa Shibata<sup>†</sup> Asako Kimura<sup>†</sup> and Hideyuki Tamura<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1

Nojihigashi, Kusatsu-city, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: kaidu@rm.is.ritsumei.ac.jp

**Abstract** To estimate mobile's pose and position at various places, we have developed a geometric registration mechanism based on client server model. In this paper, we propose dynamic switching mechanism to select a best registration method respond to client's situations by performing periodical communication. In addition, by applying the real-time mapping, we report that our method have made it possible to track even in locations where there is no prior knowledge.

**Keyword** 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る。この課題に対し、Wagnerらは携帯端末上で、人工マーカを利用した位置合わせ実現しており[1], Arthらや, Venturaらは、クライアントサーバモデルを用いて、自然特徴点が多数検出可能な場所での位置合わせを実現している[2][3]。しかし、これらの位置合わせ手法は、利用場所によって得手不得手が存在し、単一の手法であらゆる場所に対して位置合わせを実現することは困難である。そのため、多種多様な場所を対象に位置姿勢検出を実現するためには、利用場所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・実装を進めてきた[4]。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、初期位置姿勢推定後は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。また、クライアントの利用場所に応じて、複数ある位置合わせ手法の中から適宜最適な手法を選択するため、クライアントとサーバ間に位置合わせ手法を選択する機能を持つスイッチャを設けた(図1)。

先行研究[5]では、初期位置姿勢推定時にクライアントで使用される位置合わせ手法を、スイッチャで決定す

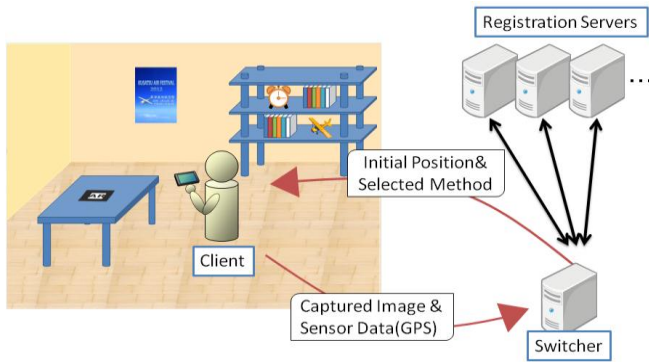


図 1 提案機構の概要

る仕組みを実現した。しかし、クライアントが移動するにつれ、クライアントで使用するべき最適な位置合わせ手法も変化すると想定できる。

そこで本研究では、既に導入しているランドマークデータベース（以下、LMDB）を用いた位置合わせ手法・SFINCS-PM[6]（以下、PM）に加えて、ARToolKit[7]を用いた位置合わせ機構を提案機構に導入し、初期位置姿勢の推定以降もクライアントの状況に応じて最適な位置合わせ手法への切り替えを実現する。

また、導入した手法は、ランドマークやマーカ等の事前知識が準備されている範囲から外れるとトラッキングが破綻する課題がある。この課題に対し、各手法でのトラッキング時に、並行して周辺の自然特徴点の3次元位置を復元し、これらを追跡することで事前知識のない場所でもトラッキング継続を可能とする処理を導入し、動作確認したことについて併せて報告する。

## 2. 位置合わせ手法切替機構

### 2.1. 概要

我々は、複数の位置合わせ手法を使い分けることで、広範囲かつ様々な利用環境において、携帯端末の位置姿勢を実時間で推定する機構の開発を進めている。提案機構では、初期位置姿勢推定等の負荷の高い処理をサーバで行い、カメラトラッキングはクライアント側で実行することで、リアルタイム性を確保している。また、複数手法の初期位置姿勢推定を1つのサーバで実行すると、手法数が増加するにつれサーバへの負荷が高くなる。そこで、位置合わせ手法ごとに、サーバを設けて負荷を分散し、各サーバでの処理結果をスイッチャで集約・分析することで、導入する位置合わせ手法数にシステム全体のスループットが依存しない機構を提案している。

### 2.2. システムアーキテクチャ

提案機構のシステムは、サーバ、スイッチャ、クライアントの3つの機構から構成される(図2)。以下に各機構の詳細を説明する。

#### 【サーバ】

本サーバは、位置合わせ手法ごとに用意しており、

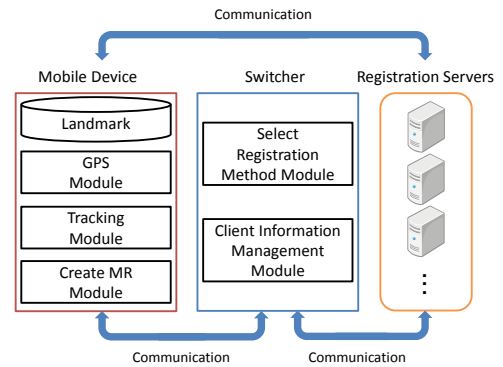


図 2 システムアーキテクチャ

クライアントの位置姿勢を推定する。各サーバでは、まずクライアント側で取得する物理センサ情報、GPS情報、静止画像等をスイッチャ経由で受信する。そして、受信した情報をもとに、各サーバで用意されている位置合わせ手法を用いてクライアントの位置姿勢推定を行い、その結果をスイッチャへ送信する。

#### 【スイッチャ】

スイッチャは、クライアント側でトラッキング時に用いる位置合わせ手法の選択を行う。まず、クライアントから受信するデータを各サーバへ送信する。また、サーバで推定したクライアントの位置姿勢推定結果を基に、現在のクライアントで最適な位置合わせ手法を選択する処理を行う。

#### 【クライアント】

クライアントでは、カメラトラッキングを行うことで、実時間での位置合わせを実現する。まず、初期位置姿勢を決定するために、携帯端末が搭載する物理センサの情報、GPS情報、静止画像等をスイッチャへ送信する。その後、スイッチャから初期位置姿勢推定結果と、カメラトラッキングで利用すべき最適な位置合わせ手法の情報を受信する。そして、マーカ情報やランドマーク等のトラッキングに必要な情報を、スイッチャを介さずサーバから直接受信し、実時間での位置合わせを行う。また、トラッキング開始以降も、定期的にスイッチャと通信を行い、スイッチャから位置合わせ手法を変更する指示が来た際に、適宜位置合わせ手法を切り替える。

### 2.3. 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、スイッチャへ送信する。

#### (2) 位置姿勢推定の要求（スイッチャ）

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) 位置姿勢推定 (サーバ)

スイッチャ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、クライアントの位置姿勢を推定する。

### (4) 位置姿勢の返送 (サーバ)

(3)の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となる特微量等をスイッチャへ送信する。

### (5) 位置合わせ手法選択 (スイッチャ)

各サーバから受信した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、次章で述べるルールに基づいて、優先度の高い手法を選択する。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) 位置姿勢の送信 (スイッチャ)

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、スイッチャ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。また、トラッキング開始以降も定期的にスイッチャへ画像や位置姿勢、GPS 情報等を送信し、(1)から(6)までの一連の処理を繰り返すことで、逐次クライアントで利用する位置合わせ手法を最適なものに切り替える。

## 3. 動的な位置合わせ手法の切替

本節では、現在の提案機構において導入されている、マーカベースの位置合わせ手法と自然特徴点ベースの位置合わせ手法に関して、実時間での切り替えの方法について述べる。

クライアント側でトラッキングを継続している際に、位置合わせ手法を切り替える必要が生じるのは以下の状況であると考えられる。

- ・トラッキングが破綻した場合
- ・より高精度な位置合わせ手法が利用可能な場合

提案機構では、クライアントはスイッチャと定期通信を行っており、上記の状況においてスイッチャ側で常に最適な位置合わせ手法の再選択を行うことで、クライアント側で実時間での位置合わせ手法切り替えを実現する。また、ここでの最適な位置合わせ手法とは、その時点において最も位置合わせ精度が高い手法とする。そのため、位置合わせ手法の切り替えには、常に各位置合わせ手法の精度を監視する必要がある。

そこで、各位置合わせ手法において、位置姿勢推定に利用したマーカ頂点、または自然特徴点を、推定した位置姿勢を用いてスクリーン座標上に再投影した際に生じる、位置誤差(再投影誤差)を常に監視し、それを判断基準として用いる。しかし、マーカベースの手法と自然特徴点ベースの手法が同時に使用可能であると判定した場合、一般にマーカベースの手法が比較的頑健で安定したカメラトラッキングが実現可能なため、再投影誤差に関わらず、マーカベース手法を優先して用いることとする。

これらを踏まえて、複数の位置合わせ手法の切り替えを以下のルールに基づいて行う。

- 自然特徴点ベースからマーカベースへの切り替え  
前述したように、一般にマーカベースは自然特徴点ベースと比較して安定して精度の高いトラッキングが可能である。そのため、マーカがクライアントのカメラ画像内に存在し、位置合わせ可能と判定した際に切り替える。
- マーカベースから自然特徴点ベースへの切り替え  
マーカでの位置姿勢推定が破綻した場合に、自然特徴点の手法が利用可能であれば切り替える。この時、複数の自然特徴点ベースの手法が利用可能ならば、位置姿勢推定時の再投影誤差が最も小さいものを選択する。
- マーカベース同士の切り替え  
複数のマーカが観測可能な場合は、再投影誤差の小さい手法を選択し、手法を切り替える。
- 自然特徴点ベース同士の切り替え  
複数の自然特徴点ベースの手法が利用可能な場合は、再投影誤差の小さい手法を選択し、手法を切り替える。

また、これらの判断基準を基に、スイッチャで位置合わせ手法を決定する処理の流れを図3に示す。スイッチャでは、マーカベースの手法から評価を行う。この時、マーカベースの手法が利用可能と判断した場合、先に述べたルールから、優先的にマーカを利用するため、以降の自然特徴点ベースの手法の評価を行う前に、

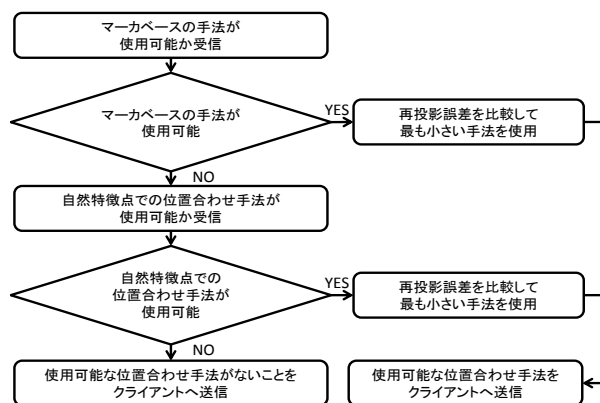


図3 スイッチャの処理フロー

クライアントへ使用する位置合わせ情報を送信する。マーカベースの手法が使用不可能な場合のみ、自然特徴点の手法を評価し、その中から最適な位置合わせ手法を決定する。また、マーカベースと自然特徴点ベースの手法のいずれも使用不可な場合、その事をクライアント側へ送信する。

#### 4. 実時間での特徴点マッピング処理の導入

提案機構では利用場所に応じて位置合わせ手法を動的に切り替えることが出来るが、現在実装されている位置合わせ手法のみでは移動範囲やカメラパスが限定されるといった課題がある。例えばマーカベースの手法では、位置姿勢を推定するためにマーカ全体を常にカメラ画像上に捉える必要があり、広範囲での利用には多数の多数のマーカを貼付するなど工夫が必要である。また、自然特徴点ベースの手法である LMDB 方式では、カメラ画像上の特徴点が LMDB に登録されていない場合や、ランドマークの見え方が構築時と異なることで対応付けが出来なかった場合は位置姿勢が推定できないため、携帯端末の動きが LMDB 構築時のカメラパスにほぼ制限される。

そこで、トラッキングと並行してカメラ画像中の特徴点の3次元位置を実時間推定するマッピング処理を導入する。その上で、実時間で推定した点を追跡することでトラッキングを継続する手法を実装し、課題の解決を図る。現在提案機構には、マーカベースの手法である PM と ARToolKit, 自然特徴点ベースの手法である LMDB 方式が実装されているため、各手法に適したマッピング処理を設計し、導入する。

##### 4.1. マーカベースの手法に導入するマッピング処理

マーカベースの手法である PM と ARToolKit を用いた位置合わせ手法においては、マーカの周辺の特徴点の3次元位置を推定し、追跡することで、カメラがマーカから離れても端末の位置姿勢推定を継続する。マーカベースの手法におけるマッピング処理の手法として、Klein らが提案した PTAM[8]を用いる。PTAM は、位置姿勢推定の処理と環境モデルの更新処理を非同期で並列処理することで高速に大量の特徴点をマッピングし、安定した処理を実現している。マーカベースの手法でトラッキングを行う際に、この PTAM を並列に実行することで周囲の特徴点の3次元位置を推定する。PTAM でのトラッキングは検出した特徴点数に位置姿勢推定精度が依存するため、基本的にはマーカベースの手法でトラッキングを行い、カメラがマーカから離れた時点で PTAM でのトラッキングに切り替える。

##### 4.2. LMDB 方式に導入するマッピング処理

LMDB 方式においても、マッピング処理を並列実行することで携帯端末の動きの制限を緩和する。しかし、PTAM を併用したマッピングは、マッピングの精度が

スケール変換・座標系変換時の精度に大きく依存することから利用範囲が広域になるほど誤差が蓄積するという問題があり、広域環境での利用を想定した LMDB 方式と組み合わせることは適していないと考えられる。

そこで、LMDB 方式で推定したカメラ位置姿勢を用いて周囲の特徴点の3次元位置を復元し、LMDB をリアルタイムに拡張する新たなマッピング手法を提案する。この手法の特徴は、事前登録したランドマークは新たに追加したランドマークよりも高精度であるという前提のもとで、事前登録したランドマークを優先的に位置姿勢推定に用いるようにすることである。これにより、利用範囲が広域になっても誤差の蓄積を軽減できると考えられる。

また、PTAM のように、2つのフレームで三角測量を行い特徴点の3次元位置を推定する手法は個々の特徴点の推定誤差が大きい。PTAM では大量の点をマッピングし最適化を繰り返すことで誤差を軽減しているが、LMDB 方式のトラッキングにおいては、三角測量で3次元位置推定した特徴点と事前登録したランドマークを同時にトラッキングすると推定が破綻することが分かっている。そこで、特徴点の3次元位置を復元する手法として、3つ以上の複数フレームにおけるカメラ位置姿勢と、特徴点の2次元座標の組から特徴点の3次元位置を推定する手法[9]を用いる。この手法では、3次元位置の推定に複数のフレームを用いるため、PTAM と比べて高精度に推定できるといった特徴があるが、各特徴点が複数フレーム間においてどこに検出されたかを対応付ける必要がある。そこで、高速に特徴点を追跡する基本的アルゴリズムである Lucas-Kanade 法[10]を用いて複数フレーム間の特徴点の対応付けを行う。

従来の LMDB を用いたトラッキングにマッピング処理を導入した際の処理の流れを図4に示す。マッピ

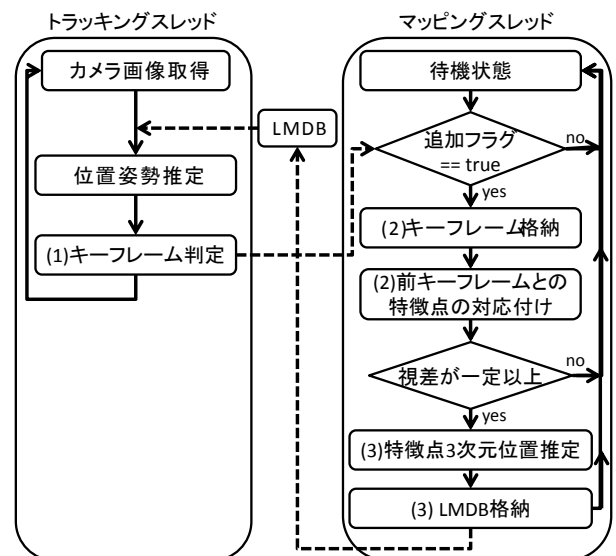


図4 マッピング導入時の処理フロー

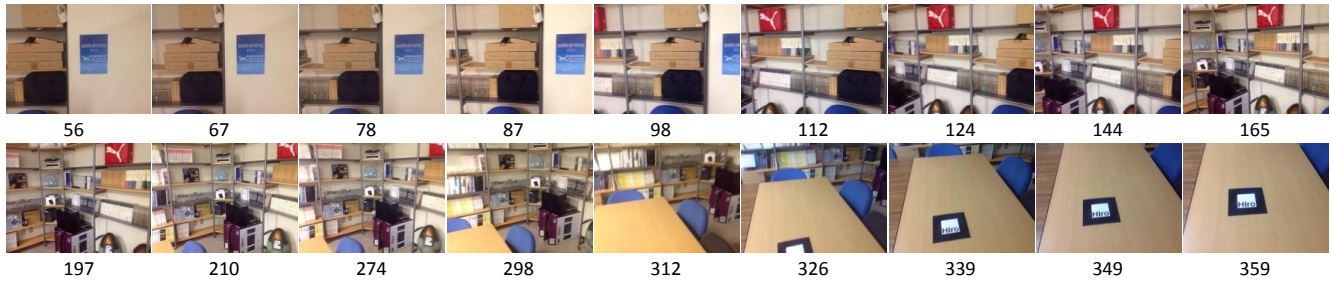


図5 動作確認のシーケンス

表1 スイッチャでの切替判定

フレーム番号	56	67	78	87	98	112	124	144	165	197	210	274	298	312	326	339	349	359
PM サーバ	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
AR サーバ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
LM サーバ	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
ARToolKit 再投影誤差	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.2	0.3	0.4
PM 再投影誤差	1.1	0.9	2.2	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
選択結果	PM	PM	PM	PM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	-	AR	AR	AR

ング処理を行うスレッドを，トラッキング処理を行うスレッドと並行して実行することでトラッキング処理のフレームレート低下を軽減している．マッピング処理に関する処理を以下に詳述する．

- (1) 現フレームを3次元位置推定に用いるかの判定  
全フレームを3次元位置推定に用いずに，推定に用いるフレーム（以下，キーフレーム）を以下の条件が当てはまるものに限定することで高速かつ高精度のマッピングを実現する．
  - ・特徴点を多くトラッキングできている
  - ・再投影誤差が小さい
  - ・前キーフレームから一定以上の視差がある
 トラッキングスレッドでは，毎フレーム位置姿勢推定後にキーフレームの条件を満たすか確認する．

- (2) キーフレームの追加と対応付け  
マッピングスレッドでは，条件を満たすフレームをキーフレームとして追加する．この時，Lucas-Kanade法を用いて前回追加したキーフレームの特徴点を対応付けておく．

- (3) 特徴点の3次元位置推定と特徴量記述  
一定以上の視差が得られた際，格納した複数のキーフレームを用いて特徴点の3次元位置推定・特徴量記述を行い，新しいランドマークとしてLMDBに格納する．このとき，3次元位置推定を行った特徴点の中に，推定精度が悪い特徴点が存在するため，再投影誤差を用いてそれらを除外する．具体的には，3次元位置推定に用いた全フレームに対して再投影を行い，各フレームの再投影誤差の平均が閾値以上の特徴点を除外する．

## 5. 動作確認

### 5.1. 動的な位置合わせ手法切替の動作確認

実装した提案機構において，スイッチャがルールに基づいて，動的に使用する位置合わせ手法を変更できるか動作確認を行った．ここでは，導入している各位置合わせ手法が利用できる環境において，各サーバでの位置合わせの正否と，サーバからの返答を受け取ったスイッチャで，クライアントで使用する位置合わせ手法を動的に変更しているかを確認する．動作確認時に，クライアントからスイッチャへ200ms間隔の定期通信で送信した画像シーケンスの一部とそのフレーム番号を図5に示す．今回サーバには，PMで位置合わせを行うPMサーバ，LMDBを用いて位置合わせを行うLMサーバに加えてARToolKitで位置合わせを行うARサーバを使用した．また，実験環境のうち特徴点が多数検出可能な一部領域に対して予めLMDBを構築している．この領域は，図5の112フレームから298フレーム目に該当する．使用機器は，クライアントに第4世代iPad（プロセッサ：Apple A6X 1.4GHz，メモリ：1GB）を使用し，サーバには，ノートパソコン（プロセッサ：Intel core i7 2.3GHz，メモリ：8GB，グラフィックスカード：Quadro FX 3800M）を使用した．

結果を表1に示す．シーケンスの56フレームから87フレームまではPMポスタが観測でき，スイッチャではPMを使用すると判定した．87フレームでは，同時にLMDB方式も使用できると判定しているが，3章で述べたルールに基づきPMで位置合わせするよう判定した．また，87フレームから274フレームではランドマークが観測可能であることからLMDB方式で位置合わせするよう判定した．339フレームから359フ

レームでは、ARToolKit が観測可能であることから ARToolKit を使用するよう判定した。この結果から、クライアントで使用すべき最適な位置合わせ手法をスイッチャで動的に判定していることを確認した。

### 5.2. マッピング処理の動作確認

PM, LMDB 方式に提案したマッピング処理を実装・導入し、動作確認を行った。

#### ● PM に導入したマッピング処理の動作確認

PM ポスタを貼った環境において、カメラをポスタに対して z 軸に 1000mm 離れた時点から、途中でポスタが画面内から消えるよう携帯端末を x 軸に 800mm 平行移動させる。この時の推定したカメラ位置を計測し、PTAM に処理が切り替わった以降も PM の世界座標系でカメラトラッキングが継続できているかを確認する。

結果を図 6 に示す。ポスタが画面外に消えて PTAM に切り替えてからもトラッキングを継続し、カメラ座標が x 軸に約 800mm 変化していることから、正しくスケール変換・座標変換を行えていることが分かる。

#### ● LMDB 方式に導入したマッピング処理の動作確認

動作確認の方法として、まず図 7 の環境において LMDB を構築する。そして、最初は構築時のカメラパス通りに動かし、途中から構築範囲を超えて端末を移動させるようなシーケンスを撮影する。撮影したシーケンスに対して、マッピング処理を導入していない場合と導入している場合に分けてカメラトラッキングを行い、それぞれのカメラ位置を計測・比較する。

マッピング処理を導入していない場合のカメラ位置の変化を図 8 に、導入している場合のカメラ位置の変化を図 9 に示す。マッピング処理を導入していない場合では、約 150 フレーム目から LMDB の構築範囲を

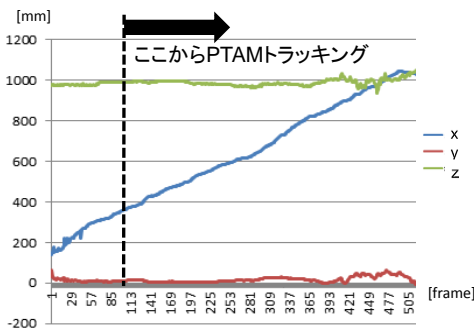


図 6 PM マッピング処理動作確認結果



図 7 実験環境

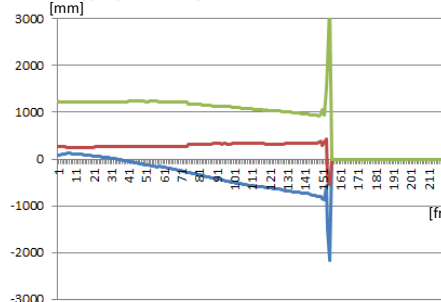


図 8 マッピング処理未導入

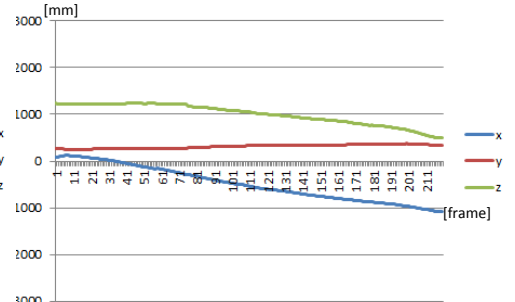


図 9 マッピング処理導入

端末が越えるため、カメラトラッキングが破綻していることが分かる。一方、マッピング処理を導入している場合には、150 フレーム目以降も安定してカメラトラッキングを行えていることが分かる。

### 6. むすび

本稿では、提案機構において、動的に位置合わせ手法を切り替える機構を導入し、各位置合わせ手法に合わせたマッピング処理を取り入れたことを報告した。

今後は、現在導入している位置合わせ手法において、位置合わせ困難な環境を調査し、対象環境において新たな手法の提案と本機構への導入を検討する。

### 文 献

- [1] D. Wagner, et. al.: "First Steps Towards Handheld Augmented Reality," Proc. ISWC'03, pp.127 - 137, 2003.
- [2] C. Arth, et. al.: "Real-Time Self-Localization from Panoramic Images on Mobile Devices," Proc. ISMAR 2011, pp. 37 - 46, 2011.
- [3] J. Ventura, et. al.: "Wide-Area Scene Mapping for Mobile Visual Tracking" Proc. ISMAR 2012, pp. 3 - 12, 2012
- [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 2011 年総合大会, A-16-12, 2011
- [5] 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(3)" ~位置合わせ手法切替機構の設計と実装~, 第16回日本VR学会大会論文集, 13D-3, pp. 237 - 240 2011.
- [6] 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~, 同上, 13D-2, pp. 233 - 236 2011.
- [7] 加藤他: "マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション", 日本VR学会論文集, Vol. 4, No. 4, pp.607 - 616, 1999.
- [8] G. Klein, et. al.: "Parallel Tracking and Mapping on a Camera Phone," Proc. ISMAR 2009, pp. 83 - 86, 2009.
- [9] 佐藤他: "複数の動画像系列を用いたマルチベースライオンステレオによる屋外環境の3次元復元", FIT 情報技術レターズ 2002, LI-14, pp.151-152, 2002.
- [10] B. D. Lucas, et. al.: "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," Proc. IJCAI 1981, pp.674 - 679, 1981.