



# 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(6) ～平面拘束を利用した特徴点の 3 次元位置修正法～

## A Geometric Registration Mechanism for Mobile Devices Based on Client Server Model (6) - Modifying 3D Position of Natural Feature Points Using Planar Constraint -

宮城 彩佳, 木村 朝子, 柴田 史久

Ayaka Miyagi, Asako Kimura, and Fumihisa Shibata

立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

**概要:** 我々は、モバイル型複合現実感を実現するために、複数の幾何位置合わせの手法を切り替えることで様々な場所で、位置姿勢推定が行える機構の研究を行っている。その中の一つの手法である、ランドマークデータベース法は、特徴点の 3 次元位置を保持したランドマークを事前に登録し、これらを画像中の特徴点と対応付けることで位置合わせを行う。しかし、事前計測するランドマークの 3 次元位置に誤差が生じやすいため、位置姿勢推定結果にも誤差が発生する問題がある。そこで、本稿では同一平面に存在する全てのランドマークに対し、平面拘束の条件を与えることで、その 3 次元位置の修正を行い、カメラトラッキングの精度向上を図る。

**キーワード:** 複合現実感, カメラ位置, トラッキング, トータルステーション

### 1. はじめに

近年、モバイル端末を用いた複合現実感(Mixed Reality; MR)の研究が盛んに行われている。複合現実感では、現実世界と仮想世界を継ぎ目なく融合するため、両者間での正確な幾何学的整合性の実現が重要な課題となっている。

著者の所属する研究グループでは、広域かつ様々な利用環境においてモバイル端末の位置姿勢を推定するために、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[1]。本機構は、事前に準備した複数の位置合わせ手法を切り替えることで様々な環境で幾何位置合わせを実現する。初期位置合わせ時におけるモバイル端末の初期位置姿勢推定は複数の位置姿勢推定手法を用いてサーバで並行に行い、その中から精度の高い位置姿勢推定結果を動的に選択し利用する。初期位置姿勢推定後は、選択された幾何位置合わせ手法に必要な情報をモバイル端末が受信し、実時間のカメラトラッキングを行う。

現在準備している位置合わせ手法の一つとして、環境中に存在する自然特徴点を利用したランドマークデータベース(以下、LMDB)を用いる手法がある[2][3]。LMDBを用いた幾何位置合わせ法は、事前にトラッキング対象となる場所の特徴点の 3 次元位置や特徴量をランドマークとして準備し、これらの情報を用いて位置姿勢を推定する。事前準備の段階において、特徴点の 3 次元位置推定は SfM を用いて行う。そのため、絶対的に正しい特徴点の位置を取得することはできず、結果として、トラッキング時のカ

メラ位置推定結果に誤差が含まれてしまうといった課題がある。この問題を解決するために、構築環境中に存在する特徴点をトータルステーションで全て測距するといった、解決手法があるが、広範囲に存在する無数の点に対して行うのは、現実的ではない。

そこで本研究では、平面上に存在する特徴点の 3 次元位置を、トータルステーションを用いて 3 点計測することで平面の位置を正確に計測し、事前に推定した同一平面上にある全てのランドマークの 3 次元位置を修正することで、短時間で誤差の少ない LMDB を構築する手法を提案する。

### 2. LMDB サーバ

#### 2.1 概要

LMDB サーバは、LMDB を用いてカメラの初期位置姿勢を推定するサーバである。LMDB サーバを用いた幾何位置合わせの手法は、特徴点ベースのカメラ位置姿勢推定手法であり、事前準備として特徴点の 3 次元位置と BRISK 特徴量を記述した LMDB を構築し、それらを用いて幾何位置合わせを行う(図 1)。以下に、LMDB サーバの処理の流れを示す。

- (1) 初期位置姿勢推定に必要な情報の送信(クライアント)  
クライアント(携帯端末)が、センサ情報(方位センサと GPS の値)と撮影した静止画像をサーバに送る。
- (2) 初期位置姿勢推定(サーバ)  
サーバは、クライアントから受信したセンサ情報と静

止画像，サーバで計算した特徴量の情報を用いて，クライアントの初期位置姿勢を推定する．推定後，初期位置姿勢推定とクライアント周辺のランドマークの情報をクライアントに送信する．

(3) カメラトラッキング (クライアント)

クライアントは，サーバから受信した初期位置姿勢推定結果とランドマークを用いて，カメラトラッキングを行う．

## 2.2 LMDB の構築

LMDB は撮影した環境に存在する特徴点の 3 次元位置と特徴量を保持している．以下に LMDB の構築手順を示す．

(1) シーケンス画像の撮影

トラッキング対象となる周辺環境のシーケンス画像をカメラで撮影する．この時，ユーザが任意の位置にマーカーを 1 つ配置し世界座標を定義する．

(2) SfM による特徴点の 3 次元位置を推定

撮影したシーケンス画像を用いて，カメラの位置姿勢推定と画像から検出された特徴点の 3 次元位置復元を行う．

(3) データベース登録

SfM により計測した値をデータベースに登録する．各ランドマークは，特徴点の 3 次元位置情報，撮影地点ごとの BRISK 特徴量や登録時のカメラ位置姿勢の情報を保持する．ランドマークの構築手順を図 2 に示す．

## 2.3 LMDB サーバにおける課題

LMDB サーバは，屋内外において，広範囲での位置合わせをすることが可能であるが，幾何位置合わせに利用するランドマークの 3 次元位置の値に誤差が存在する場合，カメラ位置推定に誤差がでるため，正確な位置推定結果が得られない．

また，特徴点の 3 次元復元は主に画像ベースで行われているため，遠距離の位置に存在するランドマークには誤差が生じやすい．トータルステーションを用いて特徴点の 3 次元位置を事前計測することもできるが，全ての点に対して計測するのは非常に困難である．そこで本研究では，建物などの人工物では多数の特徴点が同一平面上から抽出されるという性質を利用し，LMDB 構築後にビルや壁などの特徴点をトータルステーションで 3 点測距し，同一平面上に存在するランドマークの 3 次元位置の誤差を自動修正することでカメラ位置推定の精度向上を図る．

## 3. 特徴点の 3 次元位置修正法

### 3.1 処理の流れ

本手法は，LMDB 構築後の事後処理として実行する．以下に提案手法の処理の流れを示す．

- (1) ユーザは LMDB 構築時の画像シーケンスから任意のフレームを選択し，フレーム内に存在する壁などの平面を手動で選択する．
- (2) トータルステーションを用いて(1)で選択した範囲内

にある任意の特徴点 3 点の座標を計測し，それらを用いて 1 つの平面を構成する領域を決定する．

- (3) (1)で選択した，平面領域内のランドマークの 3 次元位置を(2)で構成した平面の上へ移動させる．

### 3.2 特徴点の 3 次元位置修正法

#### 3.2.1 トータルステーションを用いた平面の構成

3.1 節の(2)で平面の領域を決定する際に，平面領域内に存在する特徴点の中から任意の 3 点を指定し，トータルステーションで測距した座標  $\mathbf{p}$  を付与する．トータルステーションの測距法を図 3 に示す．点  $\mathbf{p}(p_x, p_y, p_z)$  を通る平面  $\pi$  は，以下の式(1)で計算する．平面の法線ベクトルは， $\mathbf{n}(a, b, c)$  とする．

$$ap_x + bp_y + cp_z + d = 0 \quad (1)$$

#### 3.2.2 線分と平面の交点を利用した 3 次元位置修正法

前項で算出した平面  $\pi$  の情報を元に，平面領域内の特徴点の 3 次元位置を修正する．修正方法は，カメラ位置点  $\mathbf{c}$

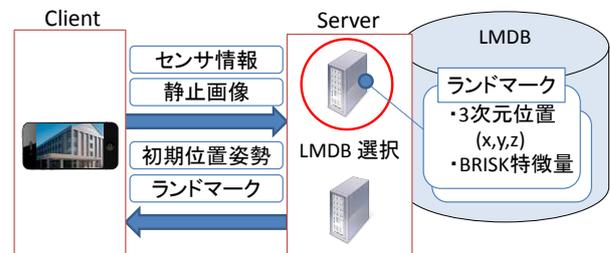


図 1 LMDB サーバ

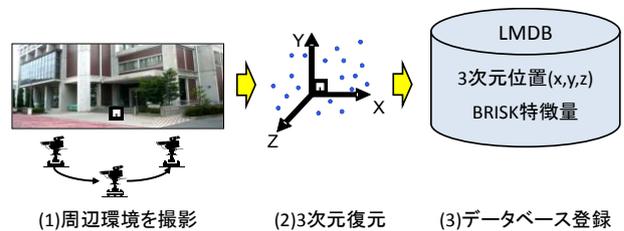


図 2 構築手順

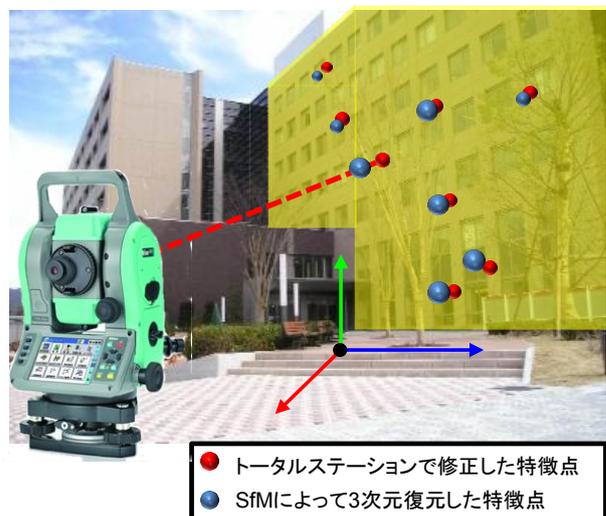


図 3 トータルステーション測距法

と前節で選択した 3 点以外の平面領域内に存在する特徴点  $p$  を結ぶベクトル  $v$  を利用して、平面  $\pi$  との交点を修正後の点  $p'$  とする。線分の方程式は、式(2)で計算する。式(2)の値を式(1)に代入することによって、式(3)を得る。交点  $p'$  は、 $c$ 、 $v$ 、及び任意の実数  $k$  で表される。式(4)より得られた  $k$  を式(2)に代入することで、修正点  $p'$  が求まる (図 4)。

$$p' = (p_x, p_y, p_z)^T = \begin{pmatrix} c_x + kv_x \\ c_y + kv_y \\ c_z + kv_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$a(c_x + kv_x) + b(c_y + kv_y) + c(c_z + kv_z) + d = 0 \quad (3)$$

$$k = -\frac{ac_x + bc_y + cc_z + d}{av_x + bv_y + cv_z} \quad (4)$$

#### 4. 実験

従来手法で構築した LMDB と提案手法で修正した LMDB でそれぞれカメラ位置推定を行い、推定したカメラ位置を真値と比較することにより、提案手法の有用性を確認する。実験に使用した機器は、表 1 に示す。

##### 【実験方法】

屋内の実験環境 A (図 5) と屋外の実験環境 B (図 6) にて、LMDB を構築する。構築後に平面拘束を利用した特徴点の 3 次元位置の修正を行う。3 次元位置の修正を行った際に使用した平面と特徴点を図 5 と図 6 に示す。

従来の LMDB のランドマークと提案手法のランドマークを用いて、それぞれのカメラ位置推定を計算する。これを、トータルステーションで測距したカメラ位置と比較する。なお、トータルステーションで測距したカメラ位置は、カメラパスの始点と終点をトータルステーションで測距し、その値と始点と終点のフレーム数から推定した値となっている。

##### 【結果】

実験環境 A でのトラッキング結果を図 7 に示し、実験環境 B でのトラッキング結果を図 8 に示す。また、実験環境 A でのカメラ位置の結果を図 9 から図 11 に示し、実験環境 B でのカメラ位置の結果を図 12 から図 14 に示す。

##### 【考察】

実験環境 A での、従来手法のカメラ位置の平均誤差は、x 軸 312[mm], y 軸 374[mm], z 軸 399[mm]であったが、

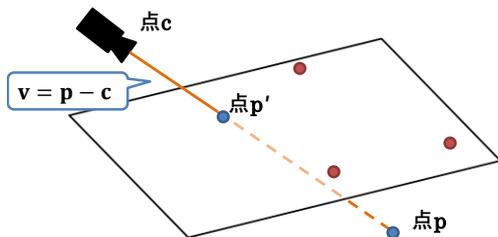


図 4 3次元修正法

表 1 実験に使用した機器

分類	端末	プロセッサ	RAM
サーバ	ノート PC	Core (TM)i7 2.80GHz	8GB
クライアント	iPad4	Apple A6X 1.4GHz	1GB



図 5 実験環境 A



図 6 実験環境 B



図 7 実験環境 A トラッキング結果



図 8 実験環境 B トラッキング結果

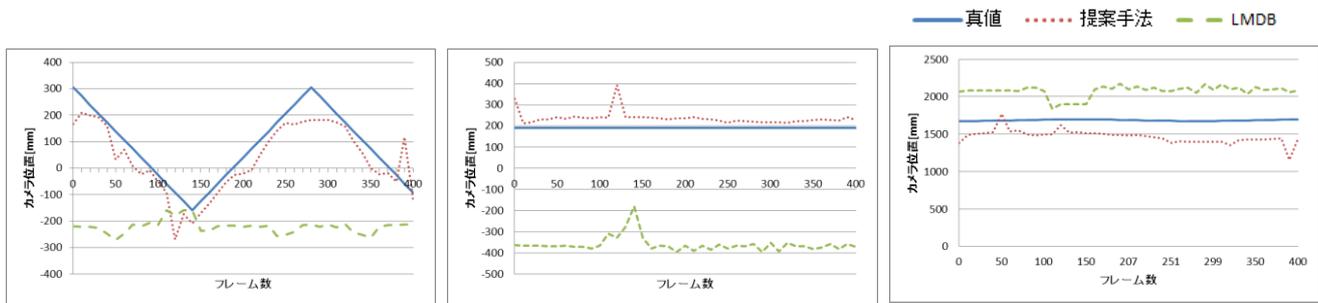


図9 実験環境 A x 軸

図10 実験環境 A y 軸

図11 実験環境 A z 軸

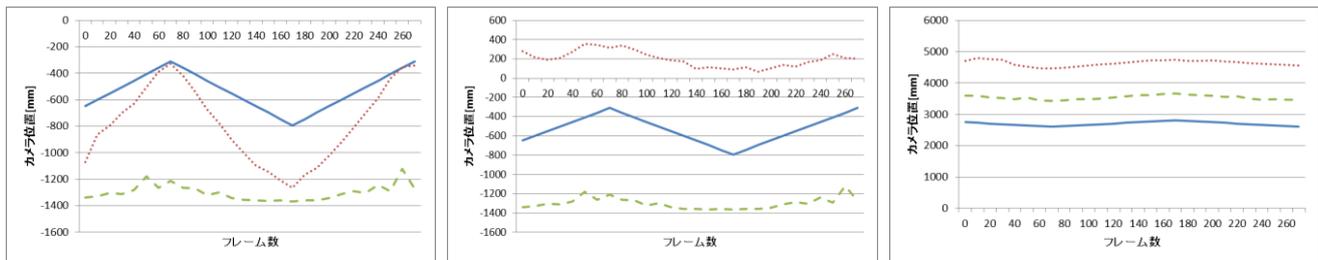


図12 実験環境 B x 軸

図13 実験環境 B y 軸

図14 実験環境 B z 軸

提案手法では、平均 x 軸 49[mm], y 軸 238[mm], z 軸 224[mm]と従来手法に比べ、改善されていることがわかる。

実験環境 B での、従来手法のカメラ位置の平均誤差は、x 軸 798[mm], y 軸 390[mm], z 軸 871[mm]であったが、提案手法では、平均 x 軸 255[mm], y 軸 23[mm], z 軸 2013[mm]と x 軸と y 軸に関しては、従来手法に比べ、改善していることがわかる。

また、実験環境 A, B 共に従来手法の LMDB の x 軸のカメラ位置推定を行ったときは、左右の動作が推定されていないが、提案手法適応後では、カメラ位置が左右に動いていることがわかる。

しかし、実験環境 B は、実験環境 A に比べ、提案手法を適応した後も、カメラ位置の精度が悪い。これは、実験環境 B の修正するランドマークの割合が実験環境 A に比べ少ないためであると思われる。

実験環境 A では、ランドマークの合計が 510 点あり、そのうちの 320 点のランドマークを選択しているが、これは全体の 63%のランドマークを修正していることになる。それに比べ、実験環境 B では、ランドマークの合計が 1080 点あり、そのうちの 394 点を選択しているため、全体の 38%しか修正されていないことがわかる。このため、実験環境 B では、実験環境 A に比べ、修正されなかったランドマークを多く使用したため、カメラ位置推定の精度の改善があまり行われなかったと考えられる。

そのため、カメラ位置の精度を向上させるためには、更に多くの修正すべきランドマークを選択する必要がある。

## 5. むすび

本稿では、クライアントサーバモデルを利用した位置合わせ手法を切り替え可能な位置姿勢推定機構について

述べ、幾何位置合わせ手法の一つである LMDB サーバの問題点を指摘し、その改善案の提案と実装を行った。提案手法では、トータルステーションでの 3 点の測距値から 3 点を含む平面の領域を構成し、ランドマークの 3 次元位置をカメラ位置と修正するランドマークを結んだ線分と平面の交点の値に修正した。

また、屋内外で LMDB を構築し、修正前後の LMDB によるカメラ位置の精度をトータルステーションで測距した真値と比較することで、従来手法よりもカメラ位置推定が向上したことを確認した。

現在の課題として、提案手法ではランドマークの選択数に依存するといった問題点があったため、今後は提案手法の修正結果のみを使用してカメラ位置を求める方法が考えられる。

また、これらの修正したランドマークを利用してホモグラフィを用いた平面トラッキングを行うことで更なるトラッキングの精度向上を目指す。

## 参考文献

- [1] 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(5)～位置合わせ手法の動的切替機構の開発～”，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, Vol. 112, No. 385, PRMU2012-123, pp. 335 - 340, 2012.
- [2] 大江他：“幾何学的位置合わせのための自然特徴点ランドマークデータベースを用いたカメラ位置・姿勢推定”，日本パッチャリリアリティ学会論文誌, Vol 10, No 3, pp. 285 - 294, 2005.
- [3] 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.