



## 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(7)

### ～照明変化による特徴点の誤対応への対策～

#### A Geometric Registration Mechanism for Mobile Devices Based on Client Server Model (7) - Improvement of Feature Point Matching Against Illumination Changes -

天見 高之, 木村 朝子, 柴田 史久  
Takayuki Amami, 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、モバイル型の複合現実感システムにおいて、あらゆる場所で幾何位置合わせを実現することを目標に、複数の手法を切り替える幾何位置合わせ切替機構を研究している。この切替機構に導入されているランドマークデータベース法は、特徴点の 3 次元位置と特徴量を事前にランドマークとして登録し、これらと画像中の特徴点の対応関係から位置姿勢を推定する。しかし、登録時と照明条件が変化した場合、ランドマークと画像中の特徴点が正しくマッチングせず、位置姿勢推定に失敗することがある。そこで、本稿ではランドマークに照明条件の異なる複数の特徴量を追加することによって、照明変化時におけるマッチング率の向上を試みた結果について述べる。

**キーワード:** 複合現実感, カメラ位置, 照明変化, 特徴点マッチング

### 1. はじめに

近年、携帯端末の処理能力の向上に伴い、モバイル型複合現実感 (Mixed Reality; MR) システムの研究が盛んに行われている。MR における最重要課題の 1 つとして、仮想物体を現実世界の意図した位置に正確に重ね合わせるための「幾何位置合わせ」が挙げられる。モバイル型 MR システムでは、携帯端末に搭載されているセンサやカメラから得られる画像などを利用することで、幾何位置合わせを実現している。中でも、画像を利用した幾何位置合わせは、マーカを利用する手法[1]と特徴点を利用する手法[2]に大別され、様々な手法が提案されてきた。しかし、大半の手法は何らかの前提条件を設定する必要があり、屋内外を問わず様々な場所での幾何位置合わせを実現する万能な手法は未だ存在しない。

そこで我々は、広域かつ様々な利用環境における幾何位置合わせの実現方法として、クライアントサーバモデルを採用した幾何位置合わせ切替機構について設計・開発を行なっている[3][4]。本機構では、複数の位置合わせ手法を用意し、利用環境などからその場に応じた位置合わせ手法を動的に切り替えることによって、様々な場所での幾何位置合わせを実現している。

本機構で現在用意している幾何位置合わせ手法の 1 つに、現実世界に存在する特徴点を利用したランドマークデータベース (以下、LMDB) を用いた手法がある[5]。LMDB 法では、事前に位置合わせ対象となる場所の特徴

点を 3 次元復元し、その特徴点の 3 次元位置と特徴量をランドマークとして登録する。位置合わせ実行時に、登録されたランドマークとカメラ画像中の特徴点をマッチングすることで、カメラの位置姿勢が推定できる。しかし、LMDB の構築時と位置合わせ実行時の照明条件が異なる場合、ランドマークとカメラ画像中の特徴点が正しくマッチングできなくなることがある。

そこで本稿では、ランドマークに照明条件の異なる複数の特徴量を追加することによって、登録時と照明条件が変化した場合におけるランドマークと特徴点のマッチング精度を向上し、カメラ位置姿勢の推定結果を安定化する手法について述べる。

### 2. LMDB 法

#### 2.1 概要

我々の切り替え機構に導入されている LMDB 法は、特徴点ベースのカメラ位置姿勢推定手法であり、事前に特徴点の 3 次元位置とその特徴量をランドマークとして登録した LMDB を利用する手法である。LMDB の管理と初期位置合わせをサーバで行い、実時間での幾何位置合わせはクライアントである携帯端末で行う。

#### 2.2 LMDB 法における課題

LMDB 法は、広範囲での位置合わせを可能とし、マーカなどにより美観を損ねないことから、屋内外を問わず様々な場所での利用が想定される。しかし、幾何位置合

わせ実行時の日照条件や照明条件がランドマークの登録時と異なる場合、登録時と異なる特徴量が得られることになるため、特徴点とランドマークが正しくマッチングできなくなる。すなわち、照明変化は正確なカメラ位置姿勢の推定を困難とする要因といえる。

一般的には、特徴量は季節や天候などによっても変化するため、全ての条件に対して有効な LMDB を構築することは困難である。そこで本研究では、複数の異なる照明条件下で撮影した画像群から抽出した特徴量をランドマークに統合した上で、位置姿勢推定に用いる特徴量を絞り込むことで、特徴点とランドマークの誤対応軽減を目指す。

### 3. ランドマークの特徴量追加手法

#### 3.1 処理の流れ

具体的な処理の流れについて述べる。最初に適当な照明条件下で LMDB に最初のランドマークを登録する。次に、最初のランドマークの登録時と異なる照明条件下で、構築時と同一のトラッキング対象について、画像群を複数撮影する。撮影した全ての画像群について、各画像の特徴点を検出し、特徴量を抽出する。次に、照明条件の異なる画像群間でそれぞれ最も類似度の高い画像を選択する。そして、選択された画像間で特徴点マッチングを行い、ランドマークとマッチングした特徴量を LMDB に追加する候補とする。最後に、それらの候補の中から、クラスタリングを用いて代表的な特徴量を選別し、LMDB へ特徴量を追加登録する。

#### 3.2 特徴量の追加候補の選定方法

特徴量の追加に使用する全ての画像間で特徴点マッチングを行う場合、莫大な処理時間を要する。また、同一の対応関係が求まり、重複が発生することが予測される。そこで不必要な計算を省くために、各画像間で最も類似する画像を選択し、選択された画像間で特徴点をマッチングするという方針をとる。画像間の類似度は、各画像間の特徴点のマッチング数を指標とし、特徴点のマッチング数が最も多かった画像を選択する。

次に、それぞれの画像群から選択された画像を用いて、LMDB に追加する特徴量の候補を選定する (図 1)。画像から検出された特徴点とランドマークのマッチングを行い、ランドマークとマッチングした特徴量を LMDB に追加する候補とする。さらに、それらの候補とそれぞれの画像から選択された画像中の特徴量のマッチングを行い、マッチングした特徴量も LMDB に追加する候補とする。

#### 3.3 特徴量の絞り込み手法

候補として選定された特徴量を全て LMDB に追加する場合、照明条件の異なる画像を追加するたびに特徴量が追加される。このとき、照明条件が異なってもあまり変化のない特徴量も追加されることが想定される。しかし、これら全ての特徴量に対してマッチングを行うと処理時間が増加することが考えられる。そこで、LMDB に追加する

候補として選定した特徴量から追加する特徴量を絞り込むことで、この問題の解決を図る。特徴量を絞り込む条件には相違度の高い特徴量を採用し、これを実現する手法として、k-means++アルゴリズムを利用したクラスタリングを用いる。クラスタリングによって似通った特徴量をまとめた上で、各クラスタの中心を代表的な特徴量として選別する (図 2)。最後に、絞り込んだ特徴量を追加特徴量として LMDB に登録する。

## 4. 実験

### 4.1 位置推定精度の比較

#### 【目的・方法】

従来手法を用いて推定したカメラの位置と提案手法との比較を行い、提案手法の有用性を示すことを目的とする。

実験では、1/12 スケールのミニチュアセット (以下、実験環境 A) と屋内の実寸大セット (以下、実験環境 B) にて、LMDB を構築する。次に、キー照明と複数台のアンビエント照明を用いて照明条件を変更し、複数のシーケンスを撮影する。撮影したシーケンスを用いて、ランドマークに特徴量を追加する。構築および特徴量の追加に利用したシーケンスの一部を図 3、図 4 に示す。

実験に用いる PC の仕様は、OS: Windows 7, CPU: Core i7 2600 3.4GHz, メモリ: 8GB である。トラッキングには、Apple iPad4 を使用した。

従来手法で構築した LMDB と提案手法によって特徴量を追加した LMDB を用いて、構築時と異なる照明条件下で、それぞれのカメラ位置を推定する。これらのカメラ位置推定結果と構築時に用いた ARToolKitPlus マーカによって推定したカメラ位置を比較する。

#### 【結果】

実験環境 A での従来手法によるトラッキングの結果を

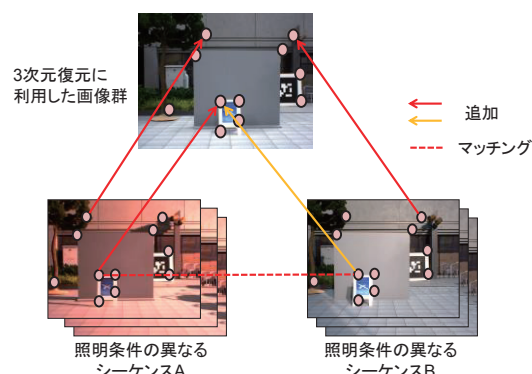


図1 特徴量追加候補の選定

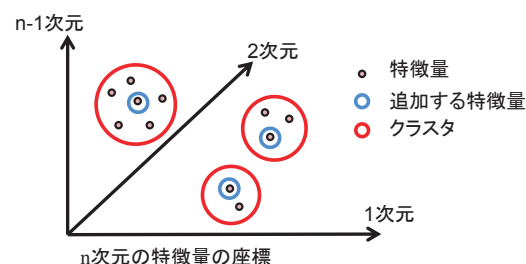


図2 特徴量の絞り込み

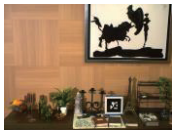


(a) 構築に使用

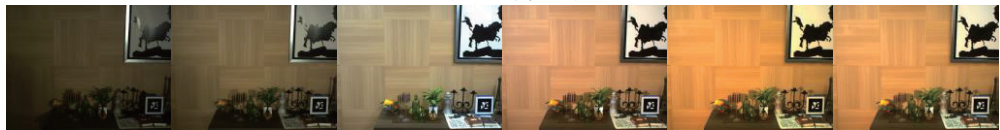


(b) 特徴量の追加に使用した画像の例. 異なる照明条件のもとで複数の画像を準備.

図3 ミニチュアセット (実験環境 A)



(a) 構築に使用



(b) 特徴量の追加に使用した画像の例. 異なる照明条件のもとで複数の画像を準備.

図4 実寸大セット (実験環境 B)

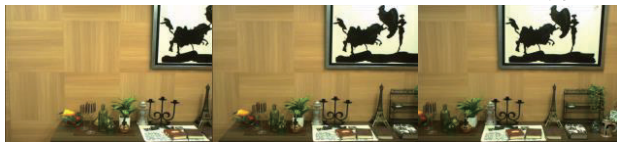


0 80 160  
(a) 従来手法

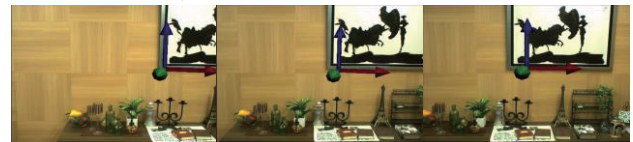


0 80 160  
(b) 提案手法

図5 実験環境 A のトラッキング結果



0 80 160  
(a) 従来手法



0 80 160  
(b) 提案手法

図6 実験環境 B のトラッキング結果

図 5 (a)に, 提案手法によるトラッキングの結果を図 5 (b)に示す. また, 実験環境 B での従来手法によるトラッキングの結果を図 6 (a)に示し, 提案手法によるトラッキングの結果を図 6 (b)に示す. また, 実験環境 A で推定したカメラ位置のフレームごとの推移を図 7に, 実験環境 B で推定したカメラ位置のフレームごとの推移を図 8に示す.

#### 【考察】

実験環境 A において, 従来手法で推定したカメラ位置の平均誤差は, x 軸 309[mm], y 軸 120[mm], z 軸 295[mm]であったが, 提案手法では, x 軸 209[mm], y 軸 99[mm], z 軸 149[mm]と, 従来手法に比べて推定結果が改善されている.

実験環境 B では, 従来手法で推定したカメラ位置の平均誤差が x 軸 354[mm], y 軸 251[mm], z 軸 1408[mm]であるのに対し, 提案手法では, x 軸 50[mm], y 軸 138[mm], z 軸 901[mm]となっていることから, 実験環境 B においても同様に改善されていることがわかる.

どちらの実験環境においても, 従来手法では, 位置姿勢の推定が破綻しているフレーム数が多いのに対し, 提案手法では初期の数フレームに破綻フレームは存在するが, 比較的安定してトラッキングが継続できていることがわかる. このことから, 照明条件が変化した場合のカメラ位置姿勢推定には提案手法が有用であると考えられる.

## 4.2 特徴点とランドマークのマッチング率

### 【目的・方法】

提案手法により, 従来手法と比較して照明条件が変化した場合の特徴点マッチングにおいて, 誤対応が削減できていることを確認し, 有用性を示すことを目的とする.

実験は 4.1 節と同様の実験方法で行なった. RANSAC 法によって求められたインライアを正しいマッチングと仮定する. 特徴点とランドマークのマッチング数に対するインライア数をインライア率と定義し, 従来手法と提案手法でインライア率の比較を行なった.

### 【結果】

実験環境 A における, 従来手法と提案手法のインライア率のフレームごとの推移について図 9 に示す. また, 実験環境 B におけるそれぞれのインライア率のフレームごとの推移について図 10 に示す. また, 一部のフレームについて, 正しいマッチングを目視によって判断し, マッチング数を求め, 比較を行なった. 結果を表 1 に示す. なお, フレーム番号 0 は初期位置を表す.

### 【考察】

実験環境 A では, 従来手法の平均インライア率は 30.3%, 提案手法における平均インライア率は 50.1%であることから, 平均インライア率は約 20%上がっており, 本手法の有用性が確認できる.

実験環境 B では, 従来手法の平均インライア率 35.0% に対し, 提案手法では平均インライア率が 72.6%と約 37%

表1 マッチング数の比較

| フレーム番号 | 従来手法 | 提案手法 |
|--------|------|------|
| 0      | 36   | 37   |
| 40     | 43   | 57   |
| 80     | 31   | 42   |
| 120    | 30   | 35   |
| 160    | 20   | 25   |
| 200    | 18   | 26   |
| 240    | 15   | 22   |



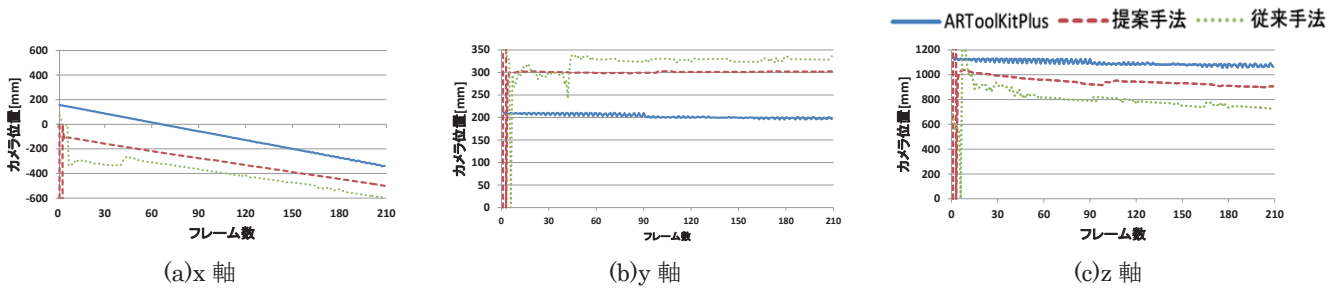


図7 カメラ位置推定結果の推移 (実験環境 A)

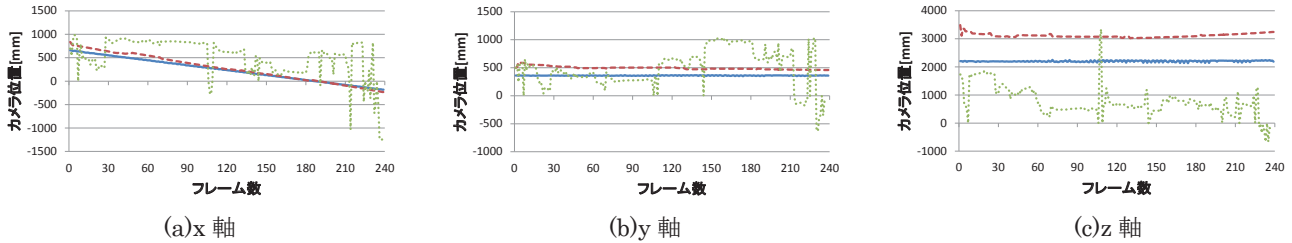


図8 カメラ位置推定結果の推移 (実験環境 B)

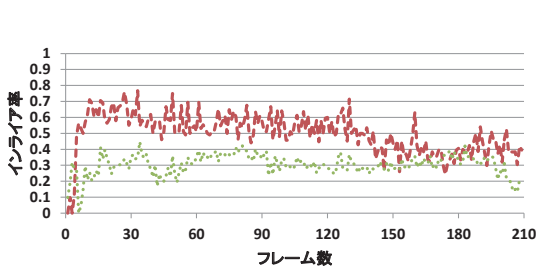


図9 インライア率の推移 (実験環境 A)

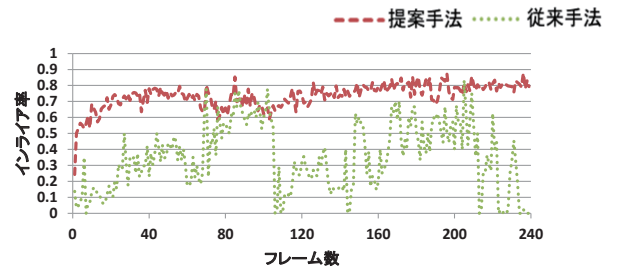


図10 インライア率の推移 (実験環境 B)

上がっていることから照明条件が変化した場合でも特徴点が正しくマッチングしていることがわかる。また、どちらの実験環境においても、目視で確認した正しいマッチング数についても、提案手法が従来手法に比べて、増えていることが確認できた。これらの結果から、提案手法によって照明条件が変化した場合でも、特徴点マッチングを可能とし、カメラ位置姿勢推定に有効であることがわかる。

## 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幾何位置合わせ切替機構について述べ、切替機構に導入している幾何位置合わせ手法の1つである LMDB を用いた手法について述べた。そして、LMDB の問題点として構築時と位置合わせ実行時の照明条件が異なる場合に起こるランドマークの誤対応について指摘し、この問題の解決策を提案し、実験によって有用性を示した。提案手法では、照明条件の異なる画像を用いて、ランドマークに追加する特徴量の候補を選定し、クラスタリングを行い、追加候補から代表的な特徴量を選択して追加した。

ミニチュアセットと実寸大セットにおいて照明条件の異なる特徴量を追加した LMDB を構築し、従来手法と提案手法によってカメラ位置を推定した。そして、各カメラ位置と構築時に使用した ARToolKitPlus によって推定したカメラ位置と比較することで、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。また、RANSAC 法によって求められたインライアを正しいマッチングと仮定し、特徴点とランドマークのマッチングインライア数を比較し、従来手法よりマッチングに占めるインライアの割合

が多くなったことから、提案手法の有用性を確認した。

今後の課題として抽出した特徴量のさらなる活用が考えられる。現在は追加する特徴量の候補となったものを、クラスタリング後に全て破棄しているが、計算資源に余裕のあるサーバ側で追加する特徴量を管理することによって、次のトラッキングに活用することが考えられる。また、照明条件によってトラッキングが安定していない場合は、その照明条件下で検出した特徴量を追加することによって、トラッキングが安定することが考えられる。

**謝辞** 本研究の開発作業に携わった吉原大貴氏に感謝の意を表す。

## 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] A. Miyagi, *et al.*: “Mobile augmentation based on switching multiple tracking method,” Proc. HCII 2014, pp. 385 – 395, 2014.
- [4] 宮城他：“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(6)～平面拘束を利用した特徴点の 3 次元位置修正法～”，日本 VR 学会大会論文集，第 18 回日本 VR 学会大会論文集，31D-2, pp. 450 – 453, 2013.
- [5] 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”，信学技報，Vol. 109, No. 373, PRMU2009-192, pp. 255 – 260, 2010.