

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(4)

～自然特徴点ランドマークデータベースを用いた位置姿勢推定の性能向上～

A Geometric Registration Mechanism for Mobile Devices Based on Client Server Model (4)

- Improvement in Performance of a Geometric Registration Method Using a Feature Landmark Database-

吉原大貴, 楠井慧, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行

Daiki Yoshihara, Kei Kusui, 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 device in mixed reality (MR), we have examined geometric registration mechanism that combines client-server model using multiple registration methods. We employ a natural feature based method using landmark database as one of the geometric registration methods because it is useful for indoor and outdoor environment. However, it has some problems. One of the problems is geometric initialization has no guaranteed results if the initial position of the camera is away from the camera pass on which the landmark database was built. Another problem is that while loading the landmark data, the client is not able to start tracking. To solve the former, we have expanded the range of the initial pose estimation by recording shooting position of landmarks. In addition, we have implemented the method which narrows the range of landmark data based on the mobile phone's physical sensor, to prevent the processing time from declining. To solve the latter, we divide the landmark database into blocks in advance and execute tracking and downloading landmark in parallel.

Key Words: mixed reality, tracking, camera phone, GPS, direction sensor

1 はじめに

現実世界に計算機を用いて様々な電子情報を付加する複合現実感 (Mixed Reality; MR) では, 現実世界と仮想世界の空間座標を一致させる幾何位置合わせが最も重要な課題となっており, これまでに様々な研究が行われてきた [1]. しかし, どの既存の手法も利用環境や条件等を制限したうえで課題の解決が行われており, あらゆる環境に対応する位置姿勢推定手法の実現は現実的に困難である.

そこで我々は, 広域かつ様々な利用環境において携帯端末の位置姿勢を検出することを目的として, 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 [2]. 本機構では, 複数種類の位置合わせ手法を準備し, 環境にあわせて使用する位置合わせ手法を切り替える仕組みを採用している. また, 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.

現在用意している位置合わせ手法は, 特徴点の 3 次元位置と特徴量を事前に登録したランドマークデータベース (以下, LMDB) を用いることでクライアントの位置姿勢推定を行う手法と, 多様な環境で利用されるポスタを用いて位置姿勢を推定する SFINCS-PM 方式の 2 つである.

このうち, LMDB を用いた手法では, カメラパスから離れて初期位置姿勢推定を行うと, 位置合わせに用いるランドマークを十分に確保できず, 初期位置姿勢推定が失敗しやすくなる. さらに, 位置合わせに用いる特徴点の登録範囲が拡大するにつれて, データ量が増加しクライアントとサーバ間の通信時間が増大することが想定される. 本稿では, これらの課題解決のために, 提案機構に導入した手法と動作確認結果について述べる.

2 自然特徴点ランドマークデータベースサーバ

2.1 本機構の概要

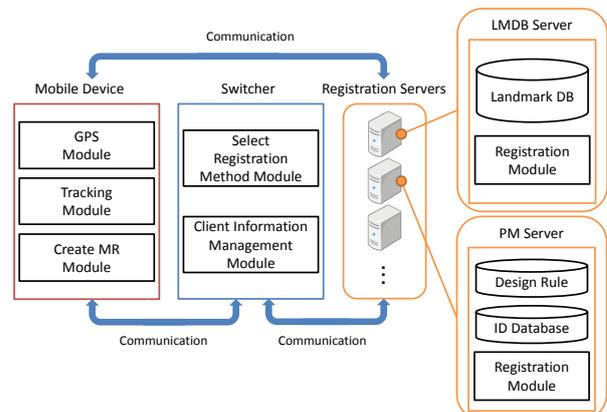


図 1 本機構の概要図

我々は広域かつ様々な場所で利用できる位置合わせ機構の研究・開発に取り組んでおり、これを実現するために、初期位置姿勢推定サーバ、最適となる位置合わせ手法を選択するスイッチャ、実時間でトラッキングを行うクライアントの3つの機器から構成されるシステム・アーキテクチャを設計した(図1)。サーバは、位置合わせ手法ごとに用意し、各位置合わせ手法に必要な情報を管理する。

処理手順としてまず、クライアントは周辺の静止画像とGPS情報をスイッチャへ送信し、スイッチャは受信した情報を各サーバへ送信する。各サーバは受信した静止画像とGPS情報を用いて初期位置姿勢推定を行い、推定結果をスイッチャに返送する。スイッチャは、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し、決定した初期位置姿勢と選択した位置合わせ手法に必要な特徴量をクライアントに送信する。クライアントは受信した情報を用いて自身の位置姿勢を実時間で推定する。

現在、本機構には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。また、自然特徴点が多数検出できない等の自然特徴点LMDBの構築が困難な環境での位置合わせを可能とするため、多様な環境で利用されているポスタを用いて位置合わせを行うSFINCS-PMを採用した、PMサーバを提案機構に導入している。

2.2 LMDBサーバにおける課題

現在、フレームごとのランドマークを独立して対応付けをおこなっているためフレームをまたいでランドマークを使うことができず、必要な数のランドマークを得られず初期位置姿勢推定に失敗するといった課題がある。また、初期位置姿勢終了後LMDBを一括で受信してからトラッキングを行うため、LMDBの容量が大きいほどトラッキング開始までの待機時間が増大する課題がある。

そこで前者の課題に対し、ランドマークの撮影位置情報を用いた初期位置姿勢推定[4]を行うことで問題の解決を図り、また携帯端末の方位センサ、GPSセンサを用いて使用するランドマークの絞り込みを行うことで処理時間の増加を防ぐ。後者の課題に対してはLMDBを事前にブロック分割し、実行時にトラッキングと並行してブロックを逐次的に受信するプログレッシブダウンロード機構を導入することで待機時間の削減を図る。

3 センサを用いたランドマーク絞り込み

携帯端末に搭載されたGPSと方位センサを用い、クライアントのおおよその位置姿勢を推定し、その地点から観測しうるランドマークのみを選択する処理を行う。

3.1 方位センサとGPS情報を用いたランドマーク絞り込み

携帯端末に付随する方位センサおよびGPS情報を用い、LMDB座標系においてクライアントのおおよその位置を決定し、初期位置姿勢推定に使用するランドマークを絞り込む。本手法の概要図を図2に示す。図2における点Oは

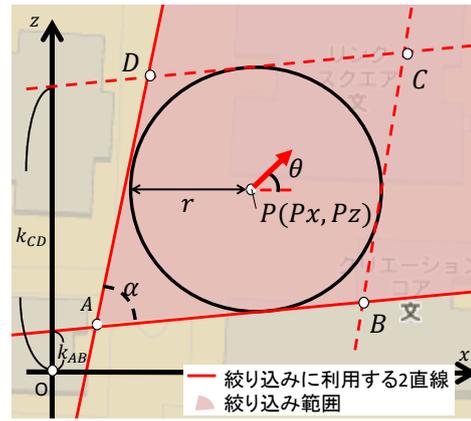


図2 位置情報誤差を考慮した絞り込み

LMDB座標の原点、点 $P(p_x, p_z)$ は予想されたクライアント位置、 r はGPS誤差範囲、弧 α はカメラ画角、 θ は方位センサの示す向きとLMDB座標系の x 軸とのなす角、直線 AB, BC, CD, DA は絞り込みを行う境界線の候補、 $k_{AB}, k_{BC}, k_{CD}, k_{DA}$ はそれぞれの4本の直線の切片を示し、まとめて k_l で表す。

処理の流れはまず、直線 AB, BC, CD, DA の式を点と直線の式を用いて求める。LMDB座標系においてそれぞれの直線式は以下の一般式で示される。

$$z = a * x + k_l \quad (1)$$

この時 a は、方位センサから得られるクライアントの向き θ カメラ画角 α を用いて以下の式で示される。

$$a = \tan(\theta \pm \frac{\alpha}{2}) \quad (2)$$

k_l は以下の式を用いて求める。

$$k_l = \pm \sqrt{a^2 + 1} * P_x \mp P_z \quad (3)$$

その後、求めた4直線の交点 A, B, C, D を求め、方位センサと交点の位置関係から、絞り込みを行うための2本の直線式を A, B, C, D の中から選択する。そして選択されたそれぞれの直線について、点 P が存在する領域側のランドマークを残すことにより、ランドマークを絞り込む。

3.2 撮影位置情報を用いた初期位置姿勢推定

3.1節で絞り込んだ特徴点を用いて携帯端末からの入力画像の特徴点とランドマークの対応付けを行う。まず、入力画像中の特徴点と類似したランドマークをLMDBから全て選択する。ここで、選択したランドマークは特徴点と類似したランドマークをLMDBから複数選択するため誤対応したランドマークも存在する。そこで、これを各ランドマークが持つLMDB構築時の撮影位置情報を用いて排除する。処理手順は以下となる。

- (1) LMDBの座標空間を一定間隔で格子状に分割。
- (2) 選択したランドマークの持つ撮影位置座標を格子点の中から選択。
- (3) (2)の処理を行った結果、最も多く選択された撮影位置座標を選択したランドマークのみを用いて位置姿勢推定を実行。

位置姿勢推定が成功した場合、位置姿勢の推定に用いた特徴点を含むランドマークのダウンロードが行われ、トラ

ッキングが開始される。

4 プログレッシブダウンロード

事前準備時に LMDB をブロック単位に分割（以下、ランドマークデータブロック）し、クライアントの位置と移動方向に応じて優先順位をつけた上でダウンロード対象のブロックを決定する。

4.1 LMDB の分割処理

LMDB の分割処理は、各ランドマークデータブロックの情報量を、サーバからクライアントに短時間で送信可能な大きさに抑えつつ、ブロック総数を最低限に抑える必要がある。そこで、提案機構では各ランドマークについて位置的に近いものを集めたブロックに分け、かつ各ブロックに含まれる情報量を一定以下に抑えるため、クラスタリング手法によって分割する。クラスタリング手法にはランドマークデータブロックの境界線が明確かつデータの入力順序に依存しない k-means のアルゴリズムを利用する。

4.2 ランドマークデータブロックの優先順位づけ

分割したランドマークデータブロックを受信する優先度は、クライアントがリアルタイムに順位付ける。本処理ではまず、初期位置合わせ時に PnP 問題を解くために利用したランドマーク群の情報を最初にダウンロードし、トラッキングを開始する。次にトラッキングを継続するために全てのランドマークデータブロックの重要度をリアルタイムに算出し、その重要度が最も高いランドマークデータブロックを選択し、逐次的にダウンロードする。各ブロックの重要度は、カメラの光軸方向かつ PnP 問題を解いたランドマーク付近に位置するランドマークデータブロックの重要度が高いと考える。例えば、x 軸方向については、以下の評価関数から算出する。

$$f(x) = \frac{1}{1+i*(x-x')^2} (x > x') \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{1+j*(x-x')^2} (x < x') \quad (5)$$

y 軸方向および z 軸方向についても上記の式と同様に算出する。すなわち、 $g(y), h(z)$ は、式(4)および(5)の x をそれぞれ y, z に置き換えた式で表される。なお、 (x', y', z') は、PnP 問題を解いたランドマーク群の重心からカメラの光軸に対して垂線を引いた際の交点座標である（図 3）。この交点座標とランドマークデータブロックの世界座標 (x, y, z) を各座標系の評価関数 $f(x), g(y), h(z)$ にそれぞれ代入すると、交点に近いランドマークデータブロックほど重要度が高く算出される（図 4）。各座標系の評価関数ではクライアントの移動により i と j が動的に変化する。例えば x 軸の評価関数 $f(x)$ では、クライアントが右方向に移動した場合、式中の i の値を j よりも小さくすることで、右方向に存在するランドマークデータブロックの重要度が高くなる関数へと変化させる。これにより、クライアントが次に向くと予想される方向に存在するデータブロックの重要度が高くなるため、クライアントの移動に対応することができる。

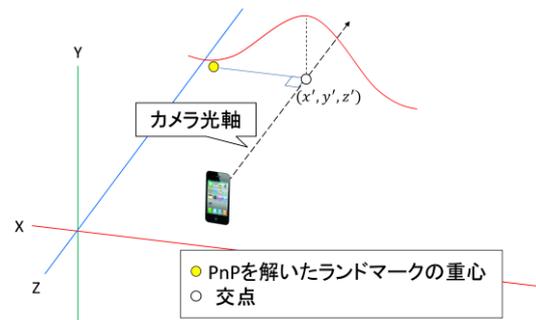


図 3 交点座標の算出

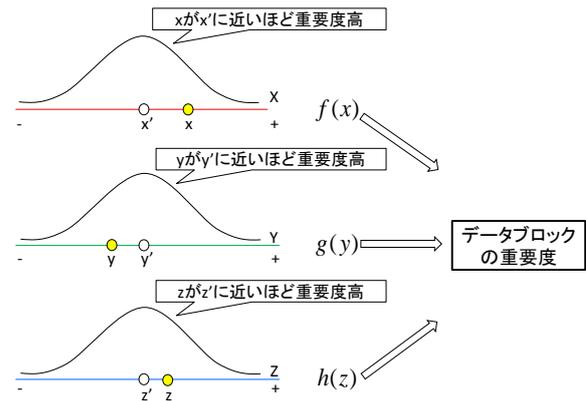


図 4 重要度の算出

5 動作確認

提案した初期位置姿勢推定手法、トラッキングの有効性を確認する。屋外の建物周辺直径 30メートルで LMDB を構築した。動作確認環境を図 5 に、使用する機器を表 1 に示す。

5.1 初期位置姿勢推定可能範囲と初期位置姿勢推定時間の計測

【目的・実験方法】

初期位置姿勢推定可能範囲が従来手法と比較し拡大したことで、初期位置姿勢推定時間がランドマークの絞り込み手法により短縮されたことを確認する。また、既存手法との精度を比較し本手法の有用性を確認する。

図 5 中の A,B,C のそれぞれ 3 か所でカメラパスから 3m,5m 離れた位置で位置姿勢推定を行い、既存手法との撮影可能範囲の比較を行う。また、ランドマークの絞り込みによる処理時間の比較を行う。

【結果】

GPS 誤差情報が 10m の時において、本手法では 5m 離れた場所でも初期位置姿勢推定を行うことができ、ランドマークの絞り込みにより処理時間の短縮が行われた。撮影可能範囲の比較の結果を表 2 に示す。

【考察】

初期位置姿勢推定範囲の拡大が確認できた。処理時間に関してもランドマーク絞り込みの有効性が確認できた。LMDB の規模が大きくなれば本手法を用いることで効果的に処理時間を削減できると考えられる。



図 5 実験環境

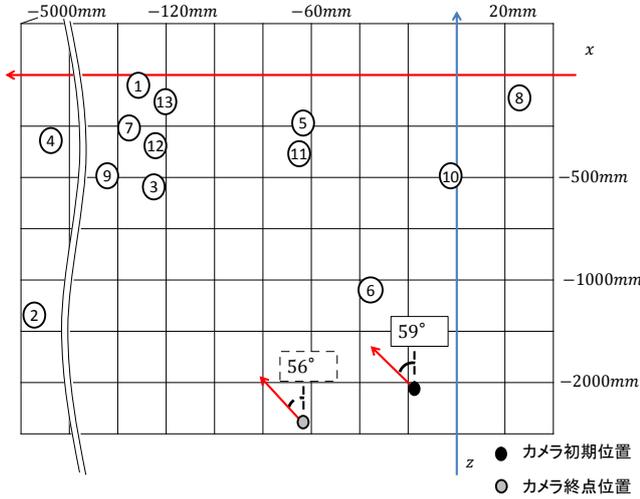


図 6 データブロック受信順

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	8192MB
クライアント	iPhone4	Apple A4 1024MHz	512MB

表 2 3カ所の初期位置姿勢推定結果と誤差

場所	A			B			C		
	離れた距離	成功	失敗	離れた距離	成功	失敗	離れた距離	成功	失敗
離れた距離	300cm			500cm					
既存手法	成功	成功	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗
本手法	成功	成功	成功	失敗	成功	成功	成功	成功	成功

表 3 処理時間

実験環境	A	B	C
総ランドマーク数	1049		
絞り込み無しの処理時間	8.3s	8.3s	8.3s
絞り込んだ LM 数	389	356	337
処理時間	4.5s	5.5s	5.5s

表 4 プログレッシブダウンロードの実験

総ランドマーク数	1049	
容量	21.5MB	
データブロック数	96	
待機時間	従来機構	提案機構
		1028.5s

5.2 プログレッシブダウンロード利用時の待機時間の計測と精度の計測

【目的・実験方法】

導入したプログレッシブダウンロードの有用性を確認するため表 1 の端末を用いて、図 5 の実験環境の D 地点でトラッキングを行い、待機時間を計測する。なお、サーバ・クライアント間の通信には、無線 LAN (IEEE 802.11g) を用いた。

【結果】

従来機構と提案機構のトラッキング待機時間を比較すると 1028.5s から 25.8s に短縮できた (表 4)。表中の待機時間は初期位置姿勢推定にかかった時間と最初のランドマーク群のダウンロード時間の合計であり、内訳はそれぞれ 3.2s と 22.6s である。図 6 はカメラ初期位置からカメラ終点位置までのトラッキング時に受信したランドマークデータブロックの順番を示す。また、トラッキング時のカメラの向きを赤矢印で示す。図 6 よりクライアントの向く方向を中心にランドマークを受信できていることが確認できた。また、問題なくトラッキングを維持することができていることを確認した。

【考察】

提案処理により待機時間の大幅な短縮に成功した。しかし、図 6 中の 2,4 番のように大きく離れた位置のデータを受信することがあった。今後はより高精度なカメラの移動に対応したランドマークデータブロック選択処理を行うために、評価関数の見直しが必要である。また、今回トラッキングの破綻は考慮しておらず、トラッキングが破綻した場合クライアントの移動方向が予測できず、正確なデータブロックが選択できない。そのため、位置姿勢情報以外でクライアントの移動方向を予測するアルゴリズムが今後必要と考えられる。

6 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、位置合わせ手法の 1 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。今後は、屋外でのトラッキング精度の向上を目指す。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 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
- [3] 吉田他: "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)", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 106, No. 470, PRMU2006-195, pp. 7-12, 2007.
- [4] 中川他: "ランドマークデータベースを用いた投票による静止画像からのカメラ位置・姿勢推定", 情報処理学会研究報告 CVIM コンピュータビジョンとイメージメディア 2006(5), 93-100, 2006