

優先度情報を付加したランドマークデータベースによる 動画像からのカメラ位置・姿勢推定の高速化とロバスト性の向上

武富 貴史 佐藤 智和 横矢 直和

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

あらまし: カメラの位置及び姿勢を推定する技術は、拡張現実感やロボットナビゲーションなどの分野に応用が可能である。従来提案されているランドマークデータベースを用いたカメラの位置・姿勢の推定手法は、物理的なインフラを用いずにカメラの位置・姿勢を推定できる。しかし、従来手法では全てのランドマークを対等に取り扱っているため、自然特徴点との対応付けに失敗しやすいランドマークを何度も選択するという問題がある。本研究では、過去に同じ場所でユーザによって撮影された入力に対する推定結果を利用して、各ランドマークが利用される頻度を算出しランドマークに優先度を付加する。また、これを用いて推定に有効な優先度の高い少数のランドマークをデータベース中から選択することで、対応付けの計算コストの低減とロバスト性の向上を図る。実験では、仮想物体の実時間合成の結果を示し、提案手法の有効性を確認する。

Fast and robust camera parameter estimation using a feature landmark database with priorities of landmarks

Takafumi TAKETOMI Tomokazu SATO Naokazu YOKOYA

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Abstract: In this report, we propose a fast and robust camera parameter estimation method which is based on using a feature landmark database with priorities of landmarks. Camera parameter estimation technique is applicable to augmented reality and robot navigation. Although we developed a landmark based camera parameter estimation method in which no markers and no positional sensors are needed, its computational cost was expensive and it could not work in real-time. To achieve real-time camera parameter estimation, priorities are added to landmarks by using a previously captured video sequences. By using these priorities, unreliable landmarks are efficiently discarded to realize fast and robust camera parameter estimation. In experiments, we show the validity of the proposed method.

1 はじめに

カメラの位置・姿勢を推定する技術は、拡張現実感 [1, 2] やロボットナビゲーション [3, 4] などの様々な分野に応用できる。従来から、撮影された画像を用いてカメラの位置・姿勢を推定する手法が数多く提案されている [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]。これらの画像からのカメラ位置・姿勢推定手法は、環境の事前知識を用いる手法 [5, 6, 7, 8, 9, 10] と環境の事前知識を用いない手法 [11, 12, 13] に大別できる。

前者には、環境の事前知識として、画像データベースを用いる手法 [5, 6] や環境の三次元モデルを用いる手法 [7, 8]、自然特徴点による三次元点群を用いる手法 [9, 10] などがある。画像データベースを用いる手法

[5, 6] では、事前に環境内を撮影した画像とその撮影位置・姿勢をデータベースへ登録しておき、入力画像とデータベース中の画像を対応付けることでおおよそのカメラの位置・姿勢を推定する。しかし、6自由度で正確なカメラ位置・姿勢を推定することは難しく、拡張現実感への応用は難しい。環境の三次元モデルを用いる手法 [7, 8] では、入力画像中のエッジや自然特徴点などをあらかじめ作成した三次元モデルと対応付けることによって、実時間でのカメラの位置・姿勢推定を実現している。しかし、一般に広域で複雑な屋外環境の三次元モデルを作成することは難しく、データベースの構築に多くの人的コストを必要とするという問題がある。自然特徴点からなる三次元点群を用いる手法 [9, 10] では、自然特徴点の三次元位置と自然特徴点周辺の局所

的な画像情報をランドマークとしてデータベースへ登録しておき、ランドマークと入力画像中の自然特徴点を対応付けることでカメラ位置・姿勢の推定を行う。自然特徴点の三次元位置は structure-from-motion によって自動で推定されるため、データベース構築の人的コストが低く、広域で複雑な屋外環境を対象とした場合にも比較的容易にデータベースを作成することができる。しかし、データベースに登録されている多数のランドマークと画像上の特徴点を正しく対応付けるために多くの処理時間を必要とし、実時間でのカメラ位置・姿勢の推定が困難であるという問題が残されている。

環境の事前知識を用いない手法 [11, 12, 13] では、一般に入力画像中の自然特徴点を追跡することにより、カメラ位置・姿勢の推定と環境のモデル化を同時に行う SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれるアプローチが用いられる。これらの手法では、事前にデータベースを構築する必要がなく、手軽に拡張現実感環境を構築できるといった特長があるが、広域な環境を対象としたカメラの位置・姿勢推定では、カメラ位置・姿勢の推定誤差が蓄積するという問題があり、利用できる範囲が限定される。

また、カメラ位置・姿勢推定の処理速度やロバスト性を向上させるため、GPS やジャイロなどのセンサとカメラ画像を併用したハイブリッド手法 [14, 15, 16] が提案されている。これらの多くは、絶対指標として GPS やコンパス、赤外線ビーコンなどのセンサの計測結果を用い、画像を補助的に利用する手法 [14] と、画像を用いたカメラ位置・姿勢推定手法を絶対指標とし、相対位置・姿勢を計測する加速度センサやジャイロなどのセンサと組み合わせる手法 [15, 16] に大別できる。前者は、比較的ロバスト性の高い位置・姿勢推定を実現できるが、センサによって利用可能な環境に制約があり、様々な環境で用いるためには多数のセンサを組み合わせることが必要となる。後者は前者に比べ、実世界と仮想世界の位置合わせの精度を高めやすいという利点があるが、前述したように、現在のところ画像からの絶対位置・姿勢の取得には、データベースの構築コストやカメラ位置・姿勢推定の処理コストの問題が残されている。

本研究では、画像からの位置・姿勢推定の問題に対して、ランドマークデータベースを用いる手法 [10] を基礎とし、以下の 2 つの改良を加えることで高速化とロバスト性の向上を図り、屋内外の広域環境において蓄積誤差を含まない実時間でのカメラ位置・姿勢推定を実現する。

- (1) 連続フレーム間で自然特徴点を追跡し暫定的なカメラの位置・姿勢を推定することで対応点探索範囲を限定

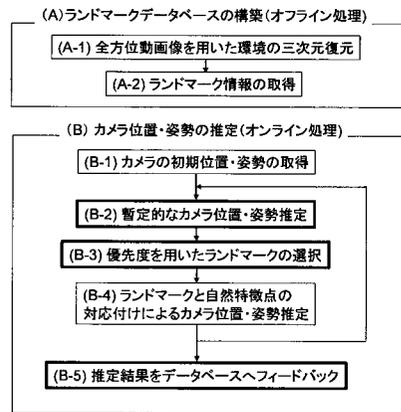


図 1: 全体の処理の流れ

- (2) 過去に同一環境で撮影された入力データに対する推定結果を用いてランドマークに優先度を付加することで効率的にランドマークを選択

提案手法の処理の流れを図 1 に示す。図中の太枠は、本研究で追加または改良した処理を表す。ランドマークデータベースを用いたカメラ位置・姿勢推定は、オフラインでのデータベースの構築処理 (A) とオンラインでのカメラ位置・姿勢の推定処理 (B) からなる。以下、2 節では、オフラインでのランドマークデータベース構築の処理について述べ、3 節では、オンラインでのカメラ位置・姿勢推定処理について述べる。4 節では実験によりロバスト性向上効果と処理速度向上効果を検証し、最後に、5 節でまとめと今後の課題について述べる。

2 ランドマークデータベースの構築

本節では、オフラインでのランドマークデータベース構築処理 (A) について述べる。本研究では、3 節で述べるオンラインでのカメラ位置・姿勢の推定において、推定に有効なランドマークを効率的に選択するために、従来手法 [10] で用いられているデータベースに優先度情報を付加した新たなランドマークデータベースを用いる。ここでは、ランドマークデータベースを構築するために、まず、全方位画像を用いた環境の三次元復元を行う (A-1)。次に、環境の三次元復元結果を用いてランドマーク情報を取得する (A-2)。以下では、各処理について詳しく述べる。

2.1 全方位画像を用いた環境の三次元復元

本研究では、まず、対象となる環境を移動しながら全方位カメラを用いて撮影する (A-1)。次に、Harris オペレータ [17] によって検出された動画像中の自然特

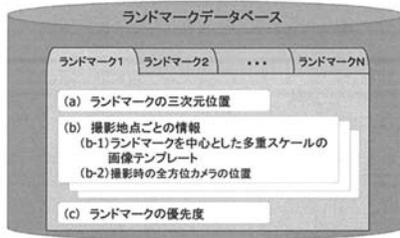


図 2: ランドマークデータベースの構成要素

徴点を自動追跡することで、structure-from-motionによって自然特徴点の3次元位置と画像上の座標、および全方位カメラのカメラパラメータを推定する(A-2)。ここで、復元される三次元情報と実世界との座標系の対応付けは、三次元位置が既知の少数の基準点を用いる手法[18]、またはGPSと全方位カメラを併用する手法[19]によって行う。

2.2 ランドマーク情報の取得

本研究で用いるランドマークデータベースには図2に示すように、(a)自然特徴点の三次元位置、(b)撮影地点ごとの情報、(c)ランドマークの優先度の情報が保持される。撮影地点ごとの情報は、(b-1)多重スケールの画像テンプレートと(b-2)ランドマーク撮影時の全方位カメラの位置から成る。以下ではそれぞれの情報の取得方法について述べる。

(a) ランドマークの三次元位置: 3節で述べるオンラインでのカメラ位置・姿勢推定では、ランドマークの三次元位置と画像上の二次元座標を対応付けることによりカメラの位置・姿勢を推定するため、ランドマークの三次元位置情報が必要となる。ランドマークの三次元位置は2.1項で述べた処理によって得られるものであり、環境に固定された世界座標系で保持されている。

(b) 撮影地点ごとの情報の取得: 撮影地点によるランドマークの見え方の違いに対応するため、撮影地点ごとに多重スケールの画像テンプレートを作成し、データベースへ登録する。ここでは、従来手法[10]と同様に、世界座標系において、カメラの投影中心とランドマークの三次元位置を結ぶ直線に対して垂直な面に画像上での自然特徴点周辺のパターンを投影することで、カメラの撮影姿勢に依存しない画像テンプレートを作成し登録する。また、オンラインでのカメラ位置・姿勢推定において、データベース中から推定に用いるランドマークを選択するために、ランドマーク撮影時の全方位カメラの位置をデータベースへ登録する。

(c) ランドマークへの優先度の付加: 3節で述べるオンラインでのカメラ位置・姿勢の推定において、推定に有効なランドマークをデータベース中から効率的に選択するために、ランドマークに優先度を付加する。優

先度は、過去に同じ場所でユーザによって撮影された入力に対する推定結果を利用して、各ランドマークがカメラ位置・姿勢推定に利用される確率を算出することで決定する。ランドマーク i ($i = 1, 2, \dots, N$)の優先度 P_i は、データベースから選択された回数 S_i とカメラ位置・姿勢の推定に用いられた回数 E_i を用いて、以下の式で定義する。

$$P_i = E_i / S_i \quad (1)$$

本研究では、後段のオンライン処理の完了時に、上記の S_i と E_i をデータベースにフィードバックし、ランドマーク i の優先度 P_i を更新する。ただし、本研究では P_i の初期値として全てのランドマークに同じ優先度を設定しておく。この優先度の更新処理については3節で詳しく述べる。

3 カメラ位置・姿勢の推定

本節ではオンラインでのカメラ位置・姿勢推定処理(B)について述べる。本研究では、図1に示したように、まず初期フレームでのカメラ位置・姿勢を何らかの手法により取得し(B-1)、続いて逐次的なカメラ位置・姿勢推定処理(B-2)~(B-4)を繰り返す。逐次推定では、まずカメラ位置・姿勢推定の高速度とロバスト性の向上のため、連続フレーム間で自然特徴点を対応付け、暫定的なカメラの位置・姿勢を推定することで、ランドマークの対応点探索範囲を限定する(B-2)。次に、優先度に基づいてランドマークを選択することで、推定に有効なランドマークを効率的にデータベース中から取り出す(B-3)。最後に、選択したランドマークと入力画像中の自然特徴点を対応付け、現フレームのカメラ位置・姿勢を推定する(B-4)。逐次推定の完了後に推定結果をデータベースへフィードバックすることで、データベース中の優先度を更新する(B-5)。以下では、処理(B-2)~(B-5)について詳しく述べる。

3.1 暫定的なカメラ位置・姿勢の推定

本研究では、連続フレーム間で自然特徴点を追跡することにより、現フレームの暫定的なカメラ位置・姿勢を推定する(B-2)。暫定的なカメラ位置・姿勢の推定では、まず、前のフレームでランドマークと対応付けられ、カメラ位置・姿勢の推定に用いられた自然特徴点を選択し、現フレームにおける対応点を探索する。対応点の探索では、前フレームにおける自然特徴点を中心とする $T \times T$ 画素の画像をテンプレートとして用い、自然特徴点の前フレームの画像上の位置を中心とする一定のウィンドウ W_1 内でSSD(Sum of Squared Differences)を評価尺度としたテンプレートマッチングにより対応付けを行う。ただし、自然特徴点の対応

付け処理はウィンドウ W_1 内で Harris オペレータによって検出された自然特徴点のみを対象として行う。

次に、追跡した自然特徴点を用いて現フレームの暫定的なカメラ位置・姿勢を推定する。カメラ位置・姿勢の推定では、まず、RANSAC[20]によって誤対応を排除する。次に、正しい対応関係を用いて、カメラ位置・姿勢の推定を行い、再投影誤差を最小化することによって現フレームの暫定的なカメラパラメータ \hat{M} を推定する。

3.2 優先度を用いたランドマークの選択

ランドマークの選択処理 (B-3) では、まず処理 (B-2) で推定された暫定的なカメラ位置・姿勢とランドマークが撮影された全方位カメラの位置を用いて、以下の幾何学的な条件を満たす画像テンプレートをデータベース中より選択する。

- ランドマークが入力画像の画角内に存在する
- ランドマーク撮影時のカメラ位置とランドマークを結ぶ直線と、暫定的なカメラ位置とランドマークを結ぶ直線の成す角が閾値以下
- ランドマーク撮影時のカメラ位置と現フレームの暫定的なカメラ位置の間の距離が閾値以下

次に、選択されたランドマークの候補から優先度 P_i の高い順にランドマークを R 個選択する。ただし、 R は最大 R_{max} 個とし、 $R = R_{max} - L_{track}$ とする。ここで、 L_{track} は暫定的なカメラ位置・姿勢の推定に用いた自然特徴点数である。

3.3 ランドマークと自然特徴点の対応付けによるカメラ位置・姿勢推定

ここでは、処理 (B-3) で選択した優先度の高いランドマークと入力画像中の自然特徴点を対応付け、カメラ位置・姿勢の推定を行う。ランドマークと自然特徴点の対応付け処理では、まず処理 (B-2) で推定した暫定的なカメラパラメータ \hat{M} を用いて、処理 (B-3) で選択されたランドマーク $j(j = 1, 2, \dots, R)$ を以下の式により入力画像上へ投影する。

$$\begin{bmatrix} a_j u_j & a_j v_j & a_j \end{bmatrix}^T = \hat{M} \begin{bmatrix} x_j & y_j & z_j & 1 \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

ただし、 (x_j, y_j, z_j) はランドマーク j の世界座標系での三次元位置、 (u_j, v_j) はランドマーク j の画像上への投影位置、 a_j はカメラ座標系でのランドマーク j の奥行きを表す。次に、投影したランドマーク j の画像上の位置 (u_j, v_j) を中心とする一定ウィンドウ W_2 内の自然特徴点を検出する。ただし、ここではウィンドウ W_2 のサイズをウィンドウ W_1 のサイズよりも小さく設定することでランドマークの画像上での探索範囲を小領域に限定する。最後にウィンドウ内で検出された

全ての自然特徴点について、データベース構築時と同様に、カメラの撮影姿勢に依存しない画像テンプレートを作成し、作成した画像テンプレートとランドマークの画像テンプレートを正規化相互相関法によって照合する。本手法では相関値が最大となる自然特徴点をランドマークと対応付ける。

次に、ランドマークと対応付けられた自然特徴点と処理 (B-2) で暫定的なカメラ位置・姿勢の推定に用いた自然特徴点を用いて、現フレームのカメラの位置・姿勢を推定する。現フレームのカメラの位置・姿勢は処理 (B-2) と同様に、RANSAC[20]による誤対応の排除後に、再投影誤差を最小化することによって推定する (B-4)。

3.4 推定結果のフィードバックによる優先度の更新

カメラの位置・姿勢推定完了後、ランドマークが利用された頻度の情報をデータベースへフィードバックすることで、データベース中の優先度を更新する (B-5)。頻度の情報として、ランドマーク i が処理 (B-3) でデータベース中から選択された回数 S_{inew} と処理 (B-4) において誤対応として排除されずにカメラ位置・姿勢の推定に用いられた回数 E_{inew} をデータベースへフィードバックする。フィードバックされた情報と、過去の推定結果の情報を用いて優先度 P_i を次式で更新する。

$$P_i = (E_{iold} + E_{inew}) / (S_{iold} + S_{inew}) \quad (3)$$

ここで、 S_{iold} 、 E_{iold} は、それぞれランドマーク i が過去にデータベース中から選択された回数、過去に誤対応として排除されずにカメラ位置・姿勢の推定に用いられた回数を表す。

4 実験

提案手法の有効性を示すために、大江らの従来手法 [10] との比較によりロバスト性向上効果と処理速度向上効果を検証した。データベースの構築には、全方位マルチカメラシステム (Point Grey Research 社 Ladybug) で屋外環境 (約 75m) を歩きながら撮影した全方位動画画像を用いた。データベースに登録されたランドマーク数は約 12400 個であり、一つのランドマークにつき平均 8ヶ所の異なる地点で撮影された画像テンプレートが登録された。本実験ではビデオカメラ (SONY DSR-DP-150) を用いて撮影した 4本の動画画像 (解像度 720×480 画素, プログレッシブスキャン, 15fps) に対してカメラの位置・姿勢推定を行った。そのうち、3本の動画画像の推定結果を優先度設定のために用い、残りの 1本の動画画像 (1000 フレーム) を評価用として用いた。カメラ位置・姿勢推定に用いた各パラメータを表 1 に示

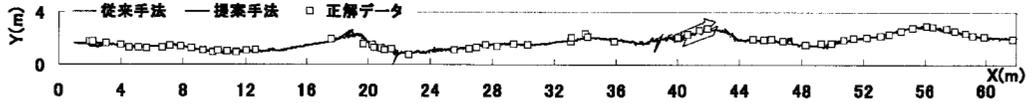


図 3: 推定されたカメラパスと正解データ

す。本実験では、提案手法、従来手法ともにカメラの内部パラメータは既知とし、初期フレームのカメラ位置・姿勢は手動で与えた。また、世界座標系は X 軸、Y 軸が実環境における地面に対して水平、Z 軸が地面に対して垂直な座標系とした。

定量的な評価に用いるカメラ位置及び姿勢の正解データは、環境内の特徴点の三次元位置をトータルステーションを用いて測定し、10 フレームおきに各フレームの画像上でそれらの特徴点を手動で対応付けることで算出した。ただし、再投影誤差が 1.5 画素以上であるフレームは評価対象にしなかった。

4.1 ロバスト性向上効果の確認

ロバスト性向上効果の確認のため、推定されたカメラ位置・姿勢の推定精度について従来手法 [10] との比較を行った。図 3 に初期フレームから 1000 フレーム目までのカメラ位置の推定結果と真値を示す。本実験では、まず、従来手法で幾何学的な条件のみにより選択するランドマーク数 $L_{max} = 100$ 、提案手法で優先度を用いて選択するランドマークの最大数 $R_{max} = 100$ とし、カメラ位置・姿勢の推定精度の比較を行った。

提案手法で推定されたカメラの平均位置推定誤差、およびカメラの光軸向きの平均推定誤差はそれぞれ 226mm、0.41 度であり、従来手法 [10] の結果である 220mm、0.37 度とほぼ同等の精度であった。ただし、自然物が多く映りこんでいるようなシーンに対する推定結果 (図 3, X=36~44m 付近) については、従来手法 [10] では推定されたカメラ位置がばらついているのに対し、提案手法ではカメラ位置が滑らかに推定されており、自然物が多いシーンではよりロバストな推定が実現できていることが確認できる。ここで、このようなロバスト性の向上について上記の定量評価では確認できないが、これは本実験では全てのフレームについて真値を作成していないため、カメラ位置がばらついているフレームに対しては位置誤差が算出されず、上記の精度評価に含まれなかったためである。

表 1: 実験で用いたパラメータ

	従来手法	提案手法
ランドマークの 画像テンプレートサイズ	15 × 15画素	
ウィンドウ W_1 のサイズ	-	120 × 60画素
ウィンドウ W_2 のサイズ	120 × 60画素	40 × 20画素
優先度の初期値	-	0.5

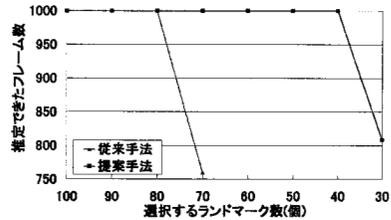


図 4: 選択するランドマーク数の比較

4.2 処理速度向上効果の確認

処理速度向上効果の確認のため、まずデータベースから選択するランドマーク数 L_{max} 、 R_{max} を徐々に減少させていき、カメラ位置・姿勢推定を行うために必要なランドマーク数を検証した。データベースから選択するランドマーク数とカメラ位置・姿勢を推定できたフレーム数の関係を図 4 に示す。従来手法 [10] では、選択するランドマーク数を 70 個としたとき、760 フレーム目でカメラ位置・姿勢を推定できなかったが、提案手法では選択するランドマーク数を 40 個まで減らしても最終フレームまで推定することができた。なお、従来手法では $L_{max} = 80$ 個、提案手法では $R_{max} = 60$ 個のとき、ランドマーク数 L_{max} 、 R_{max} を 100 個とした際とはほぼ同等のカメラパスを推定することができた。そのときの提案手法で推定されたカメラの平均位置推定誤差、およびカメラの光軸向きの平均推定誤差はそれぞれ 231mm、0.42 度、従来手法 [10] の推定結果は 235mm、0.39 度であった。以上のことから、提案手法では優先度を用いることで、従来手法よりも少ないランドマーク数で、従来手法と同程度の精度のカメラ位置・姿勢推定を実現できることがわかる。

次に、PC(Core 2 Extreme 2.93GHz、メモリ 2GB)を用いて、データベースから選択するランドマーク数を従来手法では $L_{max} = 80$ 個、提案手法では $R_{max} = 60$ 個とし、処理時間の比較を行った。結果を表 2 に示す。提案手法では、暫定的なカメラ位置・姿勢の推定処理 (B-2) に 25ms を要するが、対応点探索範囲の限定により照合すべき自然特徴点数が削減され、ランドマークと入力画像中の自然特徴点の対応付けとカメラ位置・姿勢推定処理 (B-4) が 46ms(従来手法 [10] の約 1/10) となった。全体の処理時間は平均 72ms(従来手法 [10] の約 1/5) となり 1 秒間に約 14 フレームの処理ができ高速化が実現できた。



(a)200 フレーム目 (b)400 フレーム目 (c)600 フレーム目 (d)800 フレーム目

図 5: カメラ位置・姿勢推定結果を用いた仮想物体の重畳表示

提案手法で推定されたカメラ位置・姿勢を用いて入力動画像上に仮想物体を重畳表示した結果を図 5 に示す。生成された動画像から仮想物体が位置ずれなく幾何学的に正しい位置に描画されていることを確認した。

表 2: 処理時間の比較

	処理時間 (ms)		処理時間の比
	従来手法 (ランドマーク数80個)	提案手法 (ランドマーク数60個)	
処理(B-2)	-	25	-
処理(B-3)	12	1	0.1
処理(B-4)	377	46	0.12
合計	389(2.5fps)	72(13.6fps)	0.2

5 まとめ

本稿では、自然特徴点の追跡による暫定的なカメラの位置・姿勢の推定と優先度情報のランドマークへの付加によって、カメラ位置・姿勢推定の高速度とロバスト性の向上を図る手法を提案した。実験により、従来手法 [10] と同等の精度で、高速にカメラ位置・姿勢の推定を行い、自然物が多く映るフレームでもロバストに推定が実現できることを確認した。

今後の課題として、撮影位置・姿勢を考慮した優先度情報の設定、初期フレームにおけるカメラ位置・姿勢推定の自動化などが挙げられる。

謝辞 本研究は、総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) による。

参考文献

- [1] P. Daehne and J. Karigiannis: "Archeoguide: System architecture of a mobile outdoor augmented reality system," Proc. ISMAR, pp. 263-264, 2002.
- [2] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: "ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 295-304, 2005.
- [3] 桂浩章, 三浦純, ヒルド, 白井良明: "季節や天候の変化にロバストな視覚認識に基づく移動ロボットの屋外ナビゲーション", 日本ロボット学会誌, Vol.23, pp. 75-83, 2005.
- [4] E. Royer, M. Lhuillier, M. Dhome and J.-M. Lavest: "Monocular vision for mobile robot localization and autonomous navigation," IJCV, Vol.74, pp. 237-260, 2007.
- [5] R. Cipolla, D. Robertson and B. Tordoff: "Image-based localization," Proc. VSMM, pp. 22-29, 2004.
- [6] 岩佐英彦, 粟飯原述宏, 横矢直和, 竹村治雄: "全方位画像を用いた記憶に基づく位置推定", 信学論 (D-II), Vol. J84-D-II, No. 2, pp. 310-320, 2001.
- [7] V. Lepetit, L. Vacchetti, D. Thalmann and P. Fua: "Fully automated and stable registration for augmented reality applications," Proc. ISMAR, pp. 93-102, 2003.
- [8] L. Vacchetti, V. Lepetit and P. Fua: "Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking," Proc. ISMAR, pp. 48-57, 2004.
- [9] I. Skrypnik and D. G. Lowe: "Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features," Proc. ISMAR, pp. 110-119, 2004.
- [10] 大江統子, 佐藤智和, 横矢直和: "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", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 285-294, 2005.
- [11] A. Davison, Y. G. Cid and N. Kita: "Real-time 3D slam with wide-angle vision," Proc. IFAC Symp. on Intelligent Autonomous Vehicles, 2004.
- [12] B. Williams, G. Klein and I. Reid: "Real-time SLAM relocalisation," Proc. ICCV, 2007.
- [13] G. Klein and D. Murray: "Parallel tracking and mapping for small AR workspaces," Proc. ISMAR, pp. 225-234, 2007.
- [14] Y. Kameda, T. Takemasa and Y. Ohta: "Outdoor see-through vision utilizing surveillance cameras," Proc. ISMAR, pp. 151-160, 2004.
- [15] B. Jiang, U. Neumann and S. You: "A robust hybrid tracking system for outdoor augmented reality," Proc. IEEE VR, pp. 3-10, 2004.
- [16] G. Reitmayr and T. Drummond: "Going Out: Robust model-based tracking for outdoor augmented reality," Proc. ISMAR, pp. 109-118, 2006.
- [17] C. Harris and M. Stephens: "A combined corner and edge detector," Proc. Alvey Vision Conf., pp. 147-151, 1988.
- [18] 佐藤, 池田, 横矢: "複数動画像からの全方位型マルチカメラシステムの位置・姿勢パラメータの推定", 信学論 (D-II), Vol. J88-D-II, No. 2, pp. 347-357, 2005.
- [19] S. Ikeda, T. Sato, K. Yamaguchi and N. Yokoya: "Construction of feature landmark database using omnidirectional videos and GPS positions," Proc. Int. Conf. on 3DIM, pp. 249-256, 2007.
- [20] M. A. Fischler and R. C. Bolles: "A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Comm. of the ACM, Vo. 24, pp. 381-395, 1981.