

画像特徴点の特異度を考慮したランドマーク照合による静止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

西海 嘉志 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: 静止画像からカメラの位置・姿勢を推定する技術は、現在広く普及しているカメラ付き携帯電話などの小型のカメラ付き端末上における拡張現実感を用いたヒューマンナビゲーションなどに応用できる。従来我々は物理的なインフラを用いずに静止画像一枚からのカメラの位置・姿勢を推定できるランドマークデータベースに基づくカメラ位置・姿勢の推定手法を提案した。しかし、ランドマーク照合のための計算コストが大きく、推定完了までの待ち時間が長いという問題や、類似した自然特徴点が多く存在する環境では推定が失敗するという課題が残されていた。本稿では、ランドマークの情報に照合の信頼度の指標として特異度を付加し、特異度を考慮してランドマークの探索範囲を空間的に限定することで、誤対応の低減と処理の高速化を実現する手法を提案する。実験では、屋外環境での推定結果を示し、本手法の有用性を確認する。

Fast and robust camera parameter estimation from a still image based on landmark database considering uniqueness of image features

Yoshiyuki NISHIUMI Tomokazu SATO Naokazu YOKOYA

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

Abstract: In this paper, we propose a fast and robust camera parameter estimation method from a single image using a feature landmark database with uniqueness of image features. Although we have already developed and proposed a landmark based camera parameter estimation method in which no markers and no positional sensors are needed, its computational cost was expensive and estimation sometimes failed when environment has many similar features. To achieve fast and robust camera parameter estimation, we newly employ uniqueness of image features as a measure for the confidence of feature point matching. In experiment, we show the validity of the proposed method.

1 はじめに

近年、携帯電話によるヒューマンナビゲーションやユーザの位置に依存した情報配信が実用化されている。現在実用化されているナビゲーションシステムでは、機器に内蔵された GPS や複数の基地局からの電波強度を利用してユーザの位置を特定し、地図上での道案内を実現している。これらのナビゲーションシステムでは、一般的に二次元の地図を利用してユーザの位置やガイド情報をディスプレイに提示しているが、ユーザにとって実環境と二次元地図上のガイド情報の関係を正しく把握することは必ずしも容易ではない。これ

に対して、拡張現実感を用いたナビゲーションシステムが複数提案されている [1, 2, 3]。これらのシステムでは、実環境の画像上にナビゲーション情報を重畳合成することで、実環境とナビゲーション情報の直感的な把握を可能にしている。このような拡張現実感におけるナビゲーションを実現するためには、実環境を撮影しているカメラの位置・姿勢情報を正確に推定することが重要となる。本研究では、既に広く普及しているカメラ付き携帯端末を用いたカメラ位置・姿勢推定の実現を目指し、以下ではカメラによって撮影された画像に基づいてカメラ位置・姿勢を推定する従来手法について概観する。

静止画像からカメラの位置・姿勢を推定する手法は、(a)3次元位置関係が既知の人工的なマーカを用いる手法 [4, 5], (b) 環境中を事前に撮影した画像群とその撮影位置・姿勢情報などの付加情報から成る画像データベースを用いる手法 [6, 7], (c) 事前に作成した環境中の三次元モデルや自然特徴点ランドマークデータベースを用いる手法 [8, 9, 10, 11, 12] などに分類できる。これらの手法は、一般に入力画像と環境の事前知識を格納したデータベースを照合することでカメラの絶対位置・姿勢を推定するため、利用者が持つ端末にはカメラ以外のセンサを必要とせず、システムの構成が簡素になる利点がある。しかし、人工的なマーカを用いる手法 (a) は、広域環境へのマーカの配置に多大な人的コストがかかるという問題やマーカによって環境の景観が損われるという問題がある。画像データベースを用いる手法 (b) は、入力画像に類似した画像をデータベース内から探索することで、カメラのおおよその位置・姿勢を特定できるが、カメラの位置・姿勢を6自由度で正確に推定することは難しく、精度の高い位置・姿勢情報が要求される拡張現実感には向かない。

三次元モデルや自然特徴点ランドマークデータベースを用いる手法 (c) は、事前に手動または自動で環境の三次元モデルを作成しておき、入力画像上のエッジや自然特徴点と対応付けることでカメラの位置・姿勢を6自由度で高精度に算出する。このようなアプローチを採る従来手法の多くは動画像を対象とし、連続フレーム間でのカメラ位置・姿勢の変化が微小であるという仮定から三次元モデル/ランドマークと入力画像の照合範囲を限定している。しかし、一般的な携帯端末上において動画像上の自然特徴を三次元モデルと対応付けることは計算リソースの制約から難しい。

このような問題に対して、我々は従来、静止画像一枚からカメラ位置・姿勢を推定できるランドマークデータベースに基づくカメラ位置・姿勢推定手法を提案した。この手法は、複数の評価尺度を用いてランドマークを段階的に絞り込み、入力画像に存在する自然特徴点と正しく対応付くランドマークをデータベース中から選択することで、静止画像からのカメラ位置・姿勢の推定を実現している [12]。しかし、環境中のすべてのランドマークと入力画像中の自然特徴点を照合するため、計算コストが大きいという問題や、環境中に類似した特徴をもつランドマークが複数存在する場合に、特徴点のマッチングにおいて誤対応が発生し、推定が失敗するといった課題が残されている。

本稿では、従来手法である薄手の手法 [12] を改良し、ランドマークの情報に照合の信頼度の指標として特異度を付加し、特異度を考慮してランドマークの探索範囲を空間的に限定することで、誤対応の低減と処理の

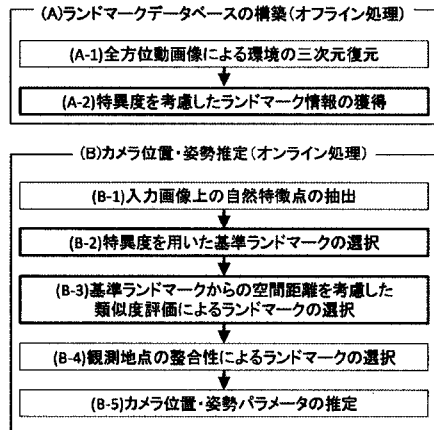


図 1: 全体の処理の流れ

高速化を実現する手法を提案する。提案手法の処理の流れを図 1 に示す。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。本研究では、オフライン処理において特異度を考慮したランドマーク情報の取得 (A-2) を行い、またオンライン処理では、特異度を用いた基準ランドマークの選択 (B-2)、基準ランドマークからの空間距離を考慮した類似度評価によるランドマークの選択 (B-3)、を新たに行う。

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、実験によりロボスタ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・姿勢の推定処理において、推定に用いるランドマークを効率的に選択するために、従来手法 [12] で用いられているデータベースに特異度を付加した新たなランドマークデータベースを作成する。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特異度を考慮した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。

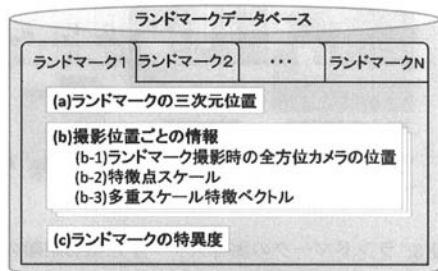


図 2: ランドマークデータベースの構成要素

2.1 全方位動画像による環境の三次元復元

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。次に、Harris オペレータ [13] によって検出された動画像中の自然特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。ここで、復元される三次元情報と実世界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 [14]、または GPS と全方位カメラを併用する手法 [15] によって行う。

2.2 特異度を考慮したランドマーク情報の獲得

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) 自然特徴点の特異度、が保持される。撮影地点ごとの情報は、(b-1) ランドマーク撮影時の全方位カメラの位置、(b-2) 特徴点スケール、(b-3) 多重スケール特徴ベクトル、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てカメラの位置・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 項で述べた環境の三次元復元によって得られるもので、環境に固定された世界座標系で保持される。

(b) **撮影地点ごとの情報**: 観測地点の移動によるランドマークの見え方の変化に対応するため、データベース構築時の撮影地点ごとに、カメラの位置 (b-1)、特徴点の固有スケール (b-2)、多重スケール特徴ベクトル (b-3)、を登録する。撮影地点ごとのカメラ位置は 2.1 項の三次元復元結果における全方位カメラの位置を用いる。特徴点の固有スケール、多重スケール特徴ベ

クトルは、それぞれ Harris-laplacian [16] および SIFT-descriptor [17] を用いて算出する [12]。

(c) **ランドマークの特異度**: 本研究ではランドマーク照合における対応付けの信頼度の指標として新たに特異度を設定する。ランドマークの特異度は環境中に類似したランドマークが少ないほど高い値を取る。特異度が高いランドマークは、誤った自然特徴点と対応付く可能性が低いいため、3 章で述べるオンライン処理では特異度の高いランドマークを優先的に対応付ける。本稿では、ランドマーク i に関する特異度 E_i を、ランドマーク i と類似度の高い上位 N 点とのランドマークの特徴空間上での距離に基づいて、以下の式で定義する。

$$E_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |f_i - f_{h_{ik}}| \quad (1)$$

ここで、 f_i は (b) で算出したランドマーク i に関する D 次元特徴ベクトル、 h_{ik} は特徴空間上においてランドマーク i に k 番目に近いランドマークのインデックスを表す。ここでは、ランドマーク i が撮影された動画像の各フレームに対する中心フレームでのランドマークの見え方をランドマーク i の代表的な見え方とし、中間フレームに対応する特徴ベクトルを距離の算出に用いる。

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。本研究ではまず、入力画像からデータベース作成時と同様に自然特徴点を抽出し、多重スケール特徴ベクトルを算出する (B-1)。次に、ランドマークと入力特徴点を特徴量の比較により対応付ける。本手法ではまず、対応付けの信頼度が高いランドマークを優先的に対応付け基準ランドマークとする (B-2)。次に、基準ランドマークからの空間距離を考慮してデータベースからランドマークを取り出し、特徴量の比較によりランドマークを対応付ける (B-3)。(B-2)、(B-3) の処理により対応付けられたランドマークの誤対応を観測地点の整合性を利用して排除する (B-4)。最後に、以上の処理で対応付けられたランドマークと入力特徴点の組を用いてカメラの位置・姿勢パラメータを推定する (B-5)。以下では、処理 (B-2)～(B-5) について詳細に述べる。

3.1 特異度を用いた基準ランドマークの選択

ここでは、後述の処理 (B-3) において、ランドマークの探索範囲を空間的に限定する際に指標として用いる基準ランドマークの決定手法 (B-2) について述べる。

特異度を用いた基準ランドマークの選択は以下のような手順で行う。

- (1) 現在までに選択されていない最も特異度の高いランドマーク p をデータベースから選択する。
- (2) 処理 (1) で選択されたランドマーク p と入力画像上の全ての特徴点を照合する。
ランドマークの照合には、選択されたランドマーク p の i 番目の撮影地点の特徴ベクトル $\mathbf{f}_{LM_i} = (v_{LM_{i1}}, \dots, v_{LM_{iD}})$ と入力画像上の自然特徴点 j から得られた特徴ベクトル $\mathbf{f}_{IN_j} = (v_{IN_{j1}}, \dots, v_{IN_{jD}})$ の特徴空間上での二乗誤差 $S(i, j)$ を用いる。

$$S(i, j) = |\mathbf{f}_{LM_i} - \mathbf{f}_{IN_j}|^2 = \sum_{d=1}^D (v_{LM_{id}} - v_{IN_{jd}})^2 \quad (2)$$

ここでは全ての (i, j) の組に対して $S(i, j)$ を最小とする組 (i_m, j_m) を選択する。次に、二乗誤差 $S(i_m, j_m)$ が閾値以下であればランドマーク p と自然特徴点 j_m を対応点とし、そうでなければ処理 (1) に戻る。

- (3) 処理 (2) で対応付いた特異なランドマーク p を撮影可能なカメラ位置 \mathbf{V}_p を算出する。
データベースに登録されているランドマーク p の三次元位置 \mathbf{Q}_p 、撮影位置 \mathbf{C}_p 、固有スケール ω_p 、自然特徴点 j_m の固有スケール ω_{shoot} から、図 3 に示すランドマークの固有スケールと撮影距離の関係を用いて \mathbf{V}_p を算出する。

$$\mathbf{V}_p = \mathbf{Q}_p - \frac{\omega_p}{\omega_{shoot}} (\mathbf{Q}_p - \mathbf{C}_p) \quad (3)$$

- (4) 現在までに処理 (3) で算出された p 以外のランドマークに対するすべての $\mathbf{V}_n (n \neq p)$ について、 $|\mathbf{V}_p - \mathbf{V}_n| < K$ (K は閾値) を満たす \mathbf{V}_n の個数をカウントする。
- (5) 処理 (4) でカウントした個数が閾値 M 以上であれば、 $|\mathbf{V}_p - \mathbf{V}_n| < K$ を満たす全てのランドマークを基準ランドマークとし、処理を終了する。それ以外の場合には処理 (1) に戻る。ただし、一定個数の特異なランドマークを用いても、カウントが M に満たない場合には本処理を中断し、従来手法と同様に総当たりでランドマークと自然特徴点の対応付け処理を行う。

3.2 空間距離を用いたランドマークの選択

ここでは、3.1 節の手順で算出された基準ランドマークからの空間距離を考慮してデータベースから少数の

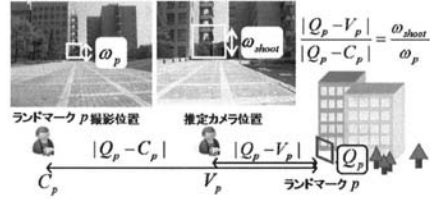


図 3: ランドマークの固有スケールと撮影距離の関係

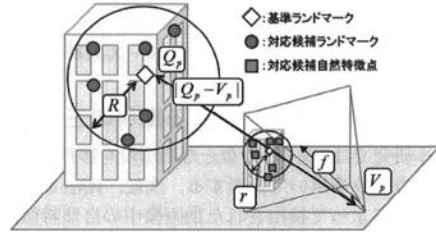


図 4: 基準ランドマークに対する空間距離の考慮の例

ランドマークを取り出し、入力画像上の特徴点と対応付ける。

具体的には、図 4 に示すような、基準ランドマーク p の三次元位置 \mathbf{Q}_p を中心とする半径 R の球状範囲内に存在するランドマーク群と、基準ランドマーク p と対応付いた画像上の自然特徴点を中心とする半径 r の円状範囲内に存在する自然特徴点群を取り出し、取り出した入力特徴点とランドマークを 3.1 節で述べた処理 (2) と同様の方法で照合する。これにより、画像上の各特徴点との類似度が高い複数のランドマークをデータベース中から選択する。ただし、ここで半径 r は経験的に与えるものとし、空間範囲 R は次式によって決定する。

$$R = \frac{r}{f} |\mathbf{Q}_p - \mathbf{V}_p| \quad (4)$$

ただし、 f はカメラの焦点距離を表す。

3.3 観測地点の整合性によるランドマークの選択

前節の処理で対応付けられた入力画像上の自然特徴点とランドマークの組み合わせには、自然特徴点と真に対応するランドマーク以外の誤対応が存在する。そこで、このような誤対応を排除するために、入力画像が環境中の単一の位置・姿勢で撮影されていることに着目し、前節の処理で選択されたランドマークを最も多くの観測可能なカメラ位置・姿勢を投票によって算出する。また、これにより、投票値が最大となったカメラ位置・姿勢以外に投票したランドマークを排除する。

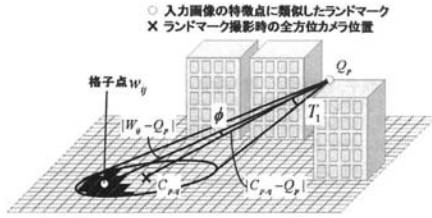


図 5: 1つのランドマークからの投票例

まず、 C_{shoot} を中心とする一定範囲の領域を 5 に示すように地面に対して水平方向に格子状に分割し、それぞれの格子に水平方向の姿勢の回転に対応する l 個 (360度を $360/l$ 度ずつ分割) の投票箱を設置する。ここでは、世界座標系における $(2h+1) \times (2h+1)$ 個の格子点の xy 座標 $w_{ij} (-h \leq i \leq h, -h \leq j \leq h)$ を以下のように定義する。

$$w_{ij} = \begin{pmatrix} w_i \\ w_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_x + L \times i \\ g_y + L \times j \end{pmatrix} \quad (5)$$

次に、3.1 節で求めた固有スケールを用いて推定されたカメラ撮影可能位置を利用して、以下の条件を満たす観測位置に投票を行う。

条件 (1) 特徴点 p とランドマーク p の固有スケールの比 w_p/w_q が、ランドマークとカメラ位置の比 $|C_p - Q_p|/|W_{ij} - Q_p|$ に一致していること、すなわち $(1-\alpha) \leq \frac{w_p|W_{ij}-Q_p|}{w_q|C_p-Q_p|} \leq (1+\alpha)$ (α は定数)。

条件 (2) カメラからランドマークへの視線方向が一致していること。すなわち、ランドマーク p の三次元位置 Q_p とランドマーク p を撮影した全方位カメラの位置 C_p を結ぶ直線、及び格子点 W_{ij} に C_p の高さ c_z を与えた点 $W_{ij}(w_i, w_j, c_z)$ と三次元位置 Q_p を結ぶ直線の成す角 ϕ が閾値 T_1 以下。

本研究では、上記の条件 (1), (2) を同時に満たす格子点 W_{ij} に対して、 $m = [l/2\pi]$ 番目の投票箱に投票を行う。ただし、 $[a]$ は a を超えない最大の整数を表し、世界座標系における x 軸に対するベクトル $W_{ij} - Q_p$ の水平面上での回転角を θ [ラジアン] とする。以上の処理により得られた投票結果に対して、投票数が最大となる位置・姿勢に投票したランドマークを抽出し、次節で述べるカメラパラメータの推定処理に用いる。

3.4 カメラ位置・姿勢パラメータの推定

投票により抽出されたランドマークと各ランドマークに対応付けられた入力画像上の自然特徴点を用いて 6 自由度のカメラ位置・姿勢を推定する。ここでは、

各ランドマークを画像上に投影した座標と、各ランドマークに対する特徴点の画像座標の間の二乗距離の総和 (再投影誤差) を最小化することで 6 自由度のカメラ位置・姿勢を推定する。ただし、前節の投票結果には誤対応が含まれているため、ここでは統計的な手法である RANSAC[18] を用いて誤対応を排除する。ここで、最終的に得られるカメラ位置・姿勢パラメータに対して、再投影誤差が E 画素を上回る場合には、システムは推定結果を失敗と判定する。この場合には、ユーザは入力画像を取り直し、再度カメラ位置・姿勢推定を実行する必要がある。

4 実験

提案手法の有効性を示すために、屋外環境においてランドマークデータベースを構築し、提案手法によるカメラ位置・姿勢推定の精度・推定成功率と処理速度を従来手法 [12] と比較し、検証した。本実験では、図 6 に示すように、データベース構築時の全方位カメラの撮影経路周辺において、5m 間隔の格子点上 ($6 \times 6 = 36$ 地点) で、 640×480 画素の 36 枚の静止画像を撮影し、このうちカメラ位置・姿勢の真値を作成可能な 30 枚の画像を入力画像として用いた。また、表 1 に示すパラメータを用いて各画像に対するカメラ位置・姿勢を推定した。

図 6 に、3.4 節で述べた再投影誤差による基準に基づきシステムが判定した、撮影地点ごとの推定成功・失敗の結果を示す。また、表 2 に推定成功率、推定精度及び再投影誤差の平均と標準偏差を示す。本実験では、推定成功率の向上が確認できたが、位置・姿勢推定の精度については従来手法と大きな差が見られなかった。表 3 に PC (Xeon 3.0GHz, メモリ 16GB) を用いた従来手法と提案手法の処理時間の比較結果を示す。表から、ランドマークの選択と投票に要する時間が大幅に短縮され、従来手法に対して処理時間が約 1/3 程度に抑えられていることが分かる。

表 1: カメラ位置・姿勢推定に用いたパラメータ

投票領域の絞り込みにおける閾値 α	0.2
投票領域の絞り込みにおける閾値 T_1 [度]	10
再投影誤差の閾値 E [画素]	6.0
基準ランドマークの選択における閾値 K [m]	5.0
基準ランドマークの選択における閾値 M	6
処理 (A-2) における特徴点の抽出数 N	10
処理 (B-2) における二次元距離 r [画素]	210

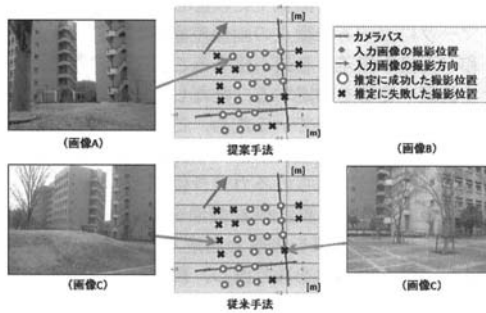


図 6: 入力画像の撮影地点, 撮影画像例と各地点における推定成功・失敗の判定結果

表 2: 提案手法と従来手法の推定成功率・精度の比較

手法	従来	提案
推定成功率 (%)	65.5	68.9
平均位置誤差 (mm)	678.5	668.1
位置誤差の標準偏差 (mm)	422.1	508.2
平均姿勢誤差 (度)	0.9	0.8
姿勢誤差の標準偏差 (度)	0.5	0.5
平均再投影誤差 (画素)	2.3	2.1
再投影誤差の標準偏差 (画素)	0.9	1.0

表 3: 提案手法と従来手法の処理時間の比較 [秒]

手法	従来	提案
入力画像からの特徴量の抽出 (B-1)	14.5	14.7
特異度によるランドマーク選択 (B-2)	-	3.8
ランドマーク選択 (B-3) と投票 (B-4)	111.6	35.7
カメラ位置・姿勢推定 (B-5)	10.3	2.8
合計	136.5	57.0

5 まとめ

本稿では, ランドマークの特異度を考慮することで, 一枚の静止画像からのカメラ位置・姿勢推定の処理速度を高速化し, ロバスト性を向上させる手法を提案した. 実験では, カメラ位置推定の成功率, 処理速度の向上効果を確認した. 今後は, 空間距離を考慮したランドマークの選択において, 空間距離の考慮を入力画像上の各特徴点に合わせて行うことで精度向上を図る. 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) により実施したものである.

参考文献

- [1] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和: 「平城宮跡ナビ」マルチメディアコンテンツを利用したモバイル型観光案内システム, 第 1 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, Vol. 10, No. 4, pp. 459-466, 2005.
- [2] 澤野弘明, 岡田稔: 「車載カメラによる実時間画像処理とその AR 技術に基づく表示方式によるカーナビへの応用」, 芸術科学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 57-68, 2006.
- [3] M. Kourogi and T. Kurata: "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and wearable camera," Proc. IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 103-112, 2003.
- [4] 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.
- [5] D. Wagner and D. Schmalstieg: "First step towards handheld augmented reality," Proc. Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 21-23, 2003.
- [6] R. Cipolla, D. Robertson and B. Tordoff: "Image-based localization," Proc. Int. Conf. Virtual Systems and Multimedia, pp. 22-29, 2004.
- [7] 興梠正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一: 「パノラマ画像群を位置合わせに用いたライブ映像上への注釈提示とその実時間システム」, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J84-D-II, No.10, pp. 2293-2301, 2001.
- [8] L. Vacchetti, V. Lepetit and P. Fua: "Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking," Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 48-57, 2004.
- [9] G. Yang, J. Becker and C. V. Stewart: "Estimating the location of a camera with respect to a 3D model," Proc. Int. Conf. on 3-D Digital Imaging and Modeling, pp. 159-166, 2007.
- [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] I. Skrypnik and D. G. Lowe: "Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features," Proc. Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 110-119, 2004.
- [12] 薄充孝, 佐藤智和, 横矢直和: 「スケール不変特徴量を用いたランドマークデータベースに基づく静止画像撮影時のカメラ位置・姿勢推定」, 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集, pp. 660-665, 2007.
- [13] C. Harris and M. Stephens: "A combined corner and edge detector," Proc. Alvey Vision Conf., pp. 147-151, 1988.
- [14] 佐藤智和, 池田聖, 横矢直和: 「複数動画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」, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J88-D-II, No. 2, pp. 347-357, 2005.
- [15] S. Ikeda, T. Sato, K. Yamaguchi and N. Yokoya: "Construction of feature landmark database using omnidirectional videos and GPS positions," Proc. Int. Conf. on 3-D Digital Imaging and Modeling, pp. 249-256, 2007.
- [16] K. Mikolajczyk and C. Schmid: "Scale & affine invariant interest point detectors," Int. J. of Computer Vision, Vol. 60, No. 1, pp. 63-86, 2004.
- [17] D. G. Lowe: "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," Int. J. of Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91-100, 2004.
- [18] M. A. Fischler and R. C. Bolles: "A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Comm. of the ACM, Vol. 24, pp. 381-395, 1981.