

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700208

研究課題名（和文） 上空視点画像データベースを用いたカメラ位置・姿勢推定に関する研究

研究課題名（英文） Pose estimation of ground view camera by using aerial images

研究代表者

佐藤 智和 (SATO TOMOKAZU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50362835

研究成果の概要（和文）：本研究では、既に比較的広域のデータが存在する航空写真を事前知識として、地上カメラで撮影された1枚の静止画像からカメラの位置・姿勢を6自由度で推定する手法を開発した。従来提案されている空撮画像を用いた手法はカメラの姿勢に制約を与え、カメラ位置・姿勢を3自由度で推定しているため、拡張現実感など6自由度でのカメラ位置・姿勢推定が必要なアプリケーションへの応用は難しい。本研究では航空写真における高度が未知のランドマークと画像上での対応点から地上カメラの相対高度、緯経度に変換可能な絶対位置及び絶対姿勢の6自由度を導出するPnP問題の解法を明らかにした。実験により、実環境において本手法がカメラ外部パラメータを6自由度で推定できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：We developed a new method for estimating a six-degrees-of-freedom camera pose for a ground-view image using reference points on an aerial image. Unlike typical PnP problems, altitude information is not available for the reference points in our case. The camera pose is estimated by minimizing a cost function defined as the sum of squared distances between observed 2D positions of reference points on a ground-view image and corresponding lines that are projections of 3D vertical lines passing through 2D reference points on an aerial image. The accuracy of the proposed method is evaluated quantitatively in both simulation and real environments. The availability of the proposed method is demonstrated by generating AR images from aerial and ground-view images downloaded from Google Map and Flickr.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン、カメラ位置・姿勢推定、空撮画像

## 1. 研究開始当初の背景

画像に基づくカメラ位置・姿勢推定は、モバイル型拡張現実感や景観シミュレーション等の応用分野で用いられている。このような分野で用いられる手法として、事前に作成した環境に関するデータベースとカメラにより撮影された画像を照合することで、高い精度でカメラ位置・姿勢を推定する手法が開発

されている。しかし、広域屋外環境下でのカメラ位置・姿勢推定をデータベースに基づいて実現するためには、データベースの構築コストが高いという問題があった。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、既に広範囲において高い解像度のデータベースが存在する上空視点画

像を事前知識として用い、カメラの位置・姿勢を推定する手法を開発することで、事前の環境計測を行わないカメラパラメータの推定を実現する。

### 3. 研究の方法

航空写真からは高度情報が得られないため、三次元の参照点を画像上に投影した点と画像上の特徴点の間の再投影誤差を誤差関数とする従来の PnP 問題の解法を適用できない。そこで本研究では、図 1 のように三次元空間中において、航空写真上の参照点の X-Y 座標を通る高度方向の直線を地上撮影画像上に投影し、この直線と地上撮影画像上の特徴点の間の距離の二乗和を再投影誤差として定義し、これを最小化することでカメラ位置・姿勢を算出する。

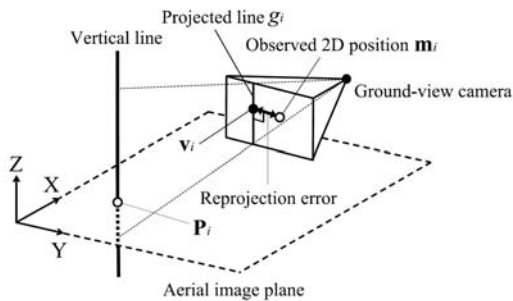


図 1. 投影された直線と地上撮影画像上の特徴点の間に定義される再投影誤差

ただし、この問題は非線形最小化問題となり、適切な初期値が必要となる。そこで本研究では、まず航空写真の平面上で定義された誤差関数を用いて、姿勢パラメータが正規直交であるという条件の下で、準線形にカメラ位置・姿勢の初期値を求め、これを用いて非線形最小化を行う。

#### 3.1 地上撮影画像上での再投影誤差の定義

図 1 に示したように、地上撮影画像上の特徴点  $m_i$  と直線  $g_i$  上で  $m_i$  から最も近い点  $v_i$  の間の距離の二乗和を、再投影誤差  $E_v$  として定義する。

#### 3.2 航空写真上の誤差関数の定義

ここでは、再投影誤差  $E_v$  の最小化に必要なカメラ位置・姿勢の初期値を得るために、 $E_v$  を近似した誤差関数  $E_a$  を、航空写真上に定義された X-Y 平面上で定義する。具体的には、図 2 に示すように、カメラの投影中心  $t$  および撮像面上の対応点  $p_i$  を通る直線（光線） $s_i$  と、航空写真上の対応点  $P_i = (X_i; Y_i)^T$  を通る鉛直方向の直線との距離  $d_i$  を用いて、誤差関数  $E_a$  を定義する。

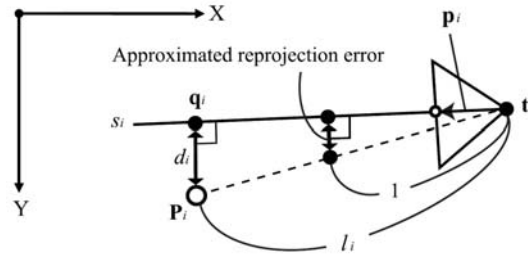


図 2. 航空写真上で定義される誤差関数

#### 3.3 航空写真を用いた地上撮影画像からのカメラ位置・姿勢推定

航空写真からは高度情報が得られないため、三次元の参照点を画像上に投影した点と画像上の対応点の間の再投影誤差を誤差関数とする従来の PnP 問題の解法を適用できない。そこで本研究では、図 3 のように三次元空間中において、航空写真上の参照点の X-Y 座標を通る高度方向の直線を画像上に投影し、この直線と画像上の対応点の間の距離の二乗和を再投影誤差として定義し、これを最小化することでカメラ位置・姿勢を算出する。ただし、この問題は非線形最小化問題となり、適切な初期値が必要となる。そこで本研究では、まず航空写真の平面上で定義された誤差関数を用いて、準線形にカメラ位置・姿勢の初期値を求め、これを用いて非線形最小化を行う。

具体的には、以下の手順により 6 自由度のカメラ位置・姿勢を推定する。

1. 地上撮影画像と航空写真の間で自然特徴点を対応付ける。
2. 航空写真上で定義された誤差関数を用いて、相対高度を除く 5 自由度のカメラ位置・姿勢の初期値を、姿勢パラメータが正規直交基底を満たすという条件の下で準線形に求める。
3. 画像上の直線と点の間の再投影誤差の非線形最小化を行い、5 自由度のカメラ位置・姿勢を求める。
4. 5 自由度のカメラ位置・姿勢から各特徴点に対する相対高度を計算する。



図 3. 地上撮影画像と航空写真の間の点の対応付けの例

#### 4. 研究成果

提案手法の有用性を示すために、カメラ位置・姿勢に依存した情報の提示を必要とする拡張現実感アプリケーションの一つである景観シミュレーションへの応用例を示す。ここでは、図4に示すインターネット上で公開されている写真[flickr.com]と、Google Map [maps.google.com]上で公開されている航空写真(図5)を用い、提案手法によって撮影時のカメラ位置・姿勢を推定し、建造物のCGを入力画像上に重畳合成する。本実験では、航空写真と入力画像の間の点の対応付けは手動で行った。また、CGはGoogle 3Dギャラリー[sketchup.google.com]で提供されている、航空写真に対応する座標系上であらかじめ作成されたもの(Braxis grillz 作)を使用した(図6参照)。CGの重畳合成に必要なカメラの相対高度は地表面上の点の相対高度を推定し、それを用いた。カメラ位置・姿勢推定、CGの合成に必要なカメラの内部パラメータは、撮影されたカメラと同機種別のカメラでキャリブレーションされたパラメータを近似的に使用した。

入力画像と航空写真の点の対応から重力方向が未知である提案手法(P8P2D)で推定されたカメラ位置・姿勢により、建造物のCGを重畳合成した結果を図7に示す。同図より、概ね正しくカメラの姿勢が推定されているものと考えられる。このように、既存の航空写真と対応付く地上撮影画像が存在すれば、現地での測量等を行うことなく、デスクトップ上の作業のみで景観シミュレーションを行うことが可能である。



図4. インターネット上からダウンロードした画像



図5. 図4に対応する地点のGoogle Mapに掲載されている航空写真



図6. 使用したCGモデル



図7. 本手法により推定されたカメラ位置・姿勢を用いたAR画像の生成結果

また、定量的評価を行うため、Trakmark ベンチマークデータセット[NAIST

Campus Package 02]を用いてカメラの位置・姿勢推定精度を検証し、提案手法の位置推定の位置誤差が平均 20cm 以下、姿勢推定誤差が平均  $1^{\circ}$  以下であることを確認した。これにより、拡張現実感への応用を想定した場合において、本研究で得られるカメラ位置・姿勢の精度が十分であることを確認した。また、比較実験により、従来から用いられてきたシーンを平面として仮定する手法に対して、提案手法がより高精度なカメラ位置・姿勢推定を実現可能であることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Taiki Sekii, Tomokazu Sato, Hideyuki Kume, and Naokazu Yokoya, '6-DOF Camera Pose Estimation Using Reference Points on an Aerial Image without Altitude Information', IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, (in Press), 2013, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 関井 大気, 糸 秀行, 佐藤 智和, 横矢直和: "高度が未知の航空写真上の参照点を用いた地上撮影画像からのカメラ位置・姿勢推定", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)講演論文集, pp. 1-8, Aug. 2012, 査読有
- ② 関井 大気, 糸 秀行, 佐藤 智和, 横矢直和: "航空写真を事前知識として用いた地上撮影画像からのカメラの位置・姿勢推定", 情報処理学会 研究報告, CVIM180-6, Jan. 2012, 査読無
- ③ 関井 大気, 糸 秀行, 佐藤 智和, 横矢直和: "航空写真上の高度が未知のランドマークを用いた PnP 問題の解決による地上カメラの位置・姿勢推定", 電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No. 30P2-33, Oct. 2011, 査読無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 智和 (SATO TOMOKAZU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50362835