

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年10月29日(29.10.2020)



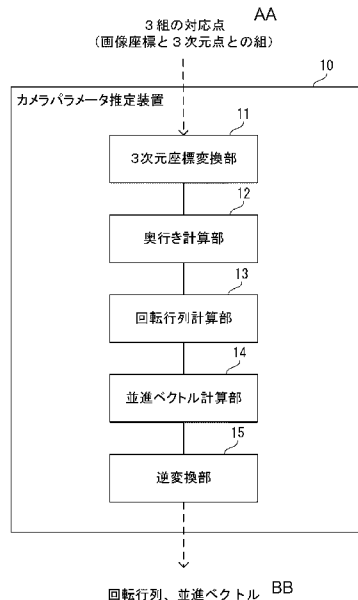
(10) 国際公開番号
WO 2020/217360 A1

- (51) 国際特許分類:
H04N 5/232 (2006.01) *G06T 7/80* (2017.01)
G01B 11/00 (2006.01)
- (72) 発明者: 中野 学 (NAKANO, Gaku); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/017508
- (74) 代理人: 特許業務法人ブライタス (BRIGHTAS IP ATTORNEYS); 〒1040061 東京都中央区銀座1丁目19番12号 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2019年4月24日(24.04.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

(54) Title: CAMERA PARAMETER ESTIMATION DEVICE, CAMERA PARAMETER ESTIMATION METHOD, AND COMPUTER-READABLE RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: カメラパラメータ推定装置、カメラパラメータ推定方法、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体

【図2】



- 10 Camera parameter estimation device
- 11 Three-dimensional coordinate conversion unit
- 12 Depth calculation unit
- 13 Rotation matrix calculation unit
- 14 Translation vector calculation unit
- 15 Inverse transformation unit
- AA Three sets of corresponding points
(set of image coordinates and three-dimensional points)
- BB Rotation matrix, translation vector

(57) Abstract: This camera parameter estimation device 10 comprises: a three-dimensional coordinate conversion unit 11 which receives as inputs, three sets of three-dimensional coordinates relating to an object captured by a camera and two-dimensional coordinates corresponding to the three-dimensional coordinates on the captured image, and converts a coordinate system of the three-dimensional coordinates from a world coordinate system to a local coordinate system



WO 2020/217360 A1

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

having one of the three-dimensional coordinates as an origin; a depth calculation unit 12 which calculates a linear transformation matrix on the basis of a projective transformation expression from the converted three-dimensional coordinates to two-dimensional coordinates, and calculates each depth by calculating a coefficient of a quartic equation regarding any one among the depths from the camera center to the respective three-dimensional coordinates; a rotation matrix calculation unit 13 which calculates the rotation matrix of the camera in the local coordinate system, by using each depth and the linear transformation matrix; a translation vector calculation unit 14 which calculates a translation vector in the local coordinate system, from each depth on the basis of the projective transformation expression; and an inverse transformation unit 15 which inversely transforms the rotation matrix and the translation vector in the local coordinate system to calculate the rotation matrix and the translation vector in the world coordinate system.

(57) 要約 : カメラパラメータ推定装置 10 は、カメラで撮影された対象物に関する 3 組の 3 次元座標と、撮影画像上の 3 次元座標に対応する 2 次元座標とを入力として、3 次元座標の座標系を、世界座標系から 3 次元座標の 1 つを原点とするローカル座標系へと変換する、3 次元座標変換部 11 と、変換後の 3 次元座標から 2 次元座標への射影変換式を基に線形変換行列を計算し、カメラ中心から各 3 次元座標への奥行きのうちいずれか 1 つに関する 4 次方程式の係数を計算して各奥行きを計算する、奥行き計算部 12 と、各奥行きと線形変換行列とを用いて、ローカル座標系におけるカメラの回転行列を計算する、回転行列計算部 13 と、射影変換式に基づいて各奥行きから、ローカル座標系における並進ベクトルを計算する、並進ベクトル計算部 14 と、ローカル座標系における回転行列及び並進ベクトルを逆変換して、世界座標系における回転行列及び並進ベクトルを計算する、逆変換部 15 とを備えている。

明 細 書

発明の名称：

カメラパラメータ推定装置、カメラパラメータ推定方法、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、内部パラメータが既知のカメラの外部パラメータを推定するための、カメラパラメータ推定装置及びカメラパラメータ推定方法に関し、更には、これらを実現するためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 既知の3次元座標を観測した画像からカメラパラメータを推定する技術は、ロボットの自己位置推定、および画像合成において、重要な要素技術である。また、カメラパラメータには、外部パラメータと、内部パラメータとの2種類が存在する。外部パラメータは、カメラの3次元空間における位置と姿勢とを表すパラメータであり、即ち、回転行列と並進ベクトルである。内部パラメータは、レンズの焦点距離、光学中心、アスペクト比、せん断係数、レンズ歪み係数などのパラメータである。以下では、既知の3次元座標と、この3次元座標を画像上で観測することによって得られた2次元点とのペアを、単に「対応点」と表記する。

[0003] 内部パラメータが固定されたカメラの場合、すなわち、レンズがカメラに設定された後に焦点距離などのパラメータが撮影中に変更されない場合、内部パラメータは広く公知であるTsaiの方法、又はZhangの方法などを用いて事前に計測することができる。このように内部パラメータが既知のカメラ（以下、単に「校正済みカメラ」と表記する）は、ロボットや自動車の自動運転などの応用で用いられる。そして、このようなカメラにおいては、カメラが運動した際の外部パラメータを低演算量で計算することが重要となる。校正済みカメラの外部パラメータは、少なくとも3組の対応点が与え

られれば、計算可能なことが知られており、これはP 3 P (Perspective-three-point) 問題と呼ばれている。

[0004] ここで、P S P問題の解法について説明する。非特許文献1と非特許文献2とは、共に、P 3 P問題の解法に関する方法を開示している。非特許文献1に開示された方法では、まず、対応点と、回転行列と、並進ベクトルと、カメラ中心とを用いて、各3次元座標への奥行きがなす射影変換式から、回転行列と並進ベクトルとが消去され、1個の奥行きについての4次方程式が求められる。次に、4次方程式を解くことによって、3個の奥行きが計算される。そして、奥行きが射影変換式へ代入され、特異値分解により、外部パラメータである回転行列と並進ベクトルとが計算される。

[0005] また、非特許文献2に開示された方法では、まず、2ステップからなる特殊な座標変換により、3次元座標の1つを中心とするローカル座標系が定義される。次に、カメラ位置とx軸とが乗る平面と、ローカル座標系における $z = 0$ の平面とがなす角度に関する、4次方程式が求められる。そして、4次方程式を解くことによって、角度が代入され、ローカル座標系から元の世界座標へと逆変換されることで、外部パラメータである回転行列と並進ベクトルとが計算される。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1: Gao, Xiao-Shan, et al. "Complete solution classification for the perspective-three-point problem." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 25.8 (2003): 930-943.

非特許文献2: Kneip, Laurent, Davide Scaramuzza, and Roland Siegwart. "A novel parametrization of the perspective-three-point problem for a direct computation of absolute camera position and orientation." CVP R 2011. IEEE, 2011.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上述の非特許文献1及び2に開示された方法には、以下のような問題がある。まず、非特許文献1に開示された方法には、特異値分解を用いるため演算量が高く、計算に時間がかかるため、数値計算の安定性が低いという問題がある。

[0008] 一方、非特許文献2に開示された方法では、特異値分解を用いないため非特許文献1に記載された方法よりも高速に計算が可能であるが、ローカル座標系への変換に2ステップを要する。このため、非特許文献2に開示された方法であっても、数値計算の安定性が低いという問題は依然として残っている。

[0009] 本発明の目的の一例は、上記問題を解消し、特異値分解を用いることなく、1ステップで高速に、外部パラメータを推定し得る、カメラパラメータ推定装置、カメラパラメータ推定方法、およびコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるカメラパラメータ推定装置は、

カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、3次元座標変換部と、

前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、奥行き計算部と、

前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系

における前記カメラの回転行列を計算する、回転行列計算部と、

前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、並進ベクトル計算部と、

前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、逆変換部と

を備えている、ことを特徴とする。

[0011] また、上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるカメラパラメータ推定方法は、

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、ステップと、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちのいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、ステップと、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、ステップと、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、ステップと、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、ステップと

を有する、ことを特徴とする。

[0012] 更に、上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるコンピュータ読

み取り可能な記録媒体は、

コンピュータに、

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、ステップと、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きの中のいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、ステップと、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、ステップと、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、ステップと、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、ステップと

を実行させる命令を含む、プログラムを記録していることを特徴とする。

発明の効果

[0013] 以上のように、本発明によれば、特異値分解を用いることなく、1ステップで高速に、外部パラメータを推定することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、本発明の実施の形態で用いられる座標系の一例を示す図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置の構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置10の動作を示すフロー図である。

[図4]図4は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置を実現するコンピュータの一例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0015] (実施の形態)

以下、本発明の実施の形態における、カメラパラメータ推定装置、カメラパラメータ推定方法、及びプログラムについて、図1～図4を参照しながら説明する。

[0016] [座標系]

最初に、図1を用いて、本実施の形態で用いられる座標系について説明する。図1は、本発明の実施の形態で用いられる座標系の一例を示す図である。図1では、世界座標系の原点に対して、回転行列 R と並進ベクトル t とで表される位置にあるカメラにより、3個の3次元座標 X_1 、 X_2 、 X_3 が、それぞれ画像座標 m_1 、 m_2 、 m_3 として観測される様子が表されている。

[0017] なお、本明細書では、ある3次元座標と、それに対応する画像上の2次元座標（以下「画像座標」と表記する）とを合わせて、対応点と表記することとする。また、本実施の形態において、カメラの内部パラメータは校正済みであるため、例えば、画像座標 m_1 、 m_2 、 m_3 は内部パラメータを用いて正規化されているとする。

[0018] [装置構成]

続いて、図2を用いて、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置の構成及び機能について説明する。図2は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置の構成を示すブロック図である。

[0019] 図2に示す本実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置10は、カメラによって対象物を撮影した際における、このカメラの外部パラメータ、即ち、カメラの回転行列及び並進ベクトルを推定する装置である。図2に示すように、カメラパラメータ推定装置10は、3次元座標変換部11と、奥行

き計算部 1 2 と、回転行列計算部 1 3 と、並進ベクトル計算部 1 4 と、逆変換部 1 5 とを備えている。

[0020] 3次元座標変換部 1 1 は、まず、カメラによって撮影された対象物に関する 3組の 3次元座標と、このカメラで撮影された画像上における 3次元座標それぞれに対応する 2次元座標（画像座標）とを入力として取得する。次いで、3次元座標変換部 1 1 は、3次元座標の座標系を、世界座標から、3次元座標の 1つを原点とするローカル座標系へと変換する。

[0021] 奥行き計算部 1 2 は、ローカル座標系に変換された各 3次元座標から対応する画像座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算する。線形変換行列は、後述する回転行列と、カメラ中心から 3次元座標それぞれへの奥行きと、の関係を表す、行列である。

[0022] 次に、奥行き計算部 1 2 は、後述する回転行列の直交性を利用して、これらの奥行きのいずれか 1つに関する 4次方程式の係数を計算して、4次方程式を解くことによって、奥行きそれぞれを計算する。

[0023] 回転行列計算部 1 3 は、奥行きそれぞれと線形変換行列とを用いて、ローカル座標系におけるカメラの回転行列を計算する。

[0024] 並進ベクトル計算部 1 4 は、射影変換式に基づいて、奥行きそれぞれから、ローカル座標系におけるカメラの並進ベクトルを計算する。具体的には、並進ベクトル計算部 1 4 は、回転行列と奥行きとを射影変換式に代入して、並進ベクトルを計算する。

[0025] 逆変換部 1 5 は、ローカル座標系にて算出されたカメラの回転行列及び並進ベクトルを元の世界座標系へと逆変換し、世界座標系におけるカメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する。そして、逆変換部 1 5 は、計算した回転行列及び並進ベクトルを、カメラの外部パラメータとして出力する。

[0026] このように、本実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置は、カメラ中心から 3次元座標への奥行きと、線形変換行列とを計算し、これらの計算結果から、カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する。即ち、本実施の形態では、特異値分解を実行する必要はなく、また、2ステップの座標変換

によってローカル座標系が定義されているわけではない。本実施の形態によれば、特異値分解を用いることなく、1ステップで高速に、カメラの外部パラメータである回転行列と並進ベクトルとを推定することができる。

[0027] [装置動作]

次に、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置10の動作について図3を用いて説明する。図3は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置10の動作を示すフロー図である。以下の説明においては、適宜図2を参照する。また、本実施の形態では、カメラパラメータ推定装置10を動作させることによって、カメラパラメータ推定方法が実施される。よって、本実施の形態におけるカメラパラメータ推定方法の説明は、以下のカメラパラメータ推定装置10の動作説明に代える。

[0028] 図3に示すように、まず、カメラパラメータ推定装置10に3組の対応点が入力されると、3次元座標変換部11は、これらの対応点を取得する。そして、3次元座標変換部11は、対応点を構成する3組の3次元座標の座標系を、世界座標から3次元座標の1つを中心とするローカル座標系へと変換する。(ステップS11)。

[0029] 但し、本実施の形態では、入力される対応点は、推定すべきカメラパラメータにおける、いわゆる退化配置 (Degenerate ConfigurationまたはCritical Configurationとも呼ばれる) ではないとする。なぜならば、そのような対応点に対しては、理論的にカメラパラメータを推定できないためである。また、座標値に関して、3次元座標も2次元点も共に全て異なるとする。これは、例えば、1つの3次元座標が複数の異なる2次元点に対応することは現実的に起こりえないためである。

[0030] カメラパラメータ推定装置10において、これらの不適切な対応点は以降の処理から除外される。また、本実施の形態は、カメラパラメータ推定装置10とは別の装置が、カメラパラメータ推定装置10の代わりに、対応点のエラー判定等を行う態様であっても良い。

[0031] 次に、奥行き計算部12は、ステップS11でローカル座標系に変換され

た各3次元座標から対応する画像座標へと射影変換するための射影変換式に基づいて、回転行列と奥行きとに関する線形変換行列を計算する（ステップS12）。

[0032] 次に、奥行き計算部12は、後のステップで計算される回転行列の直交性を利用して、1つの奥行きに関する4次方程式の係数を計算して、この4次方程式の解を求め、求めた解を奥行きとする（ステップS13）。

[0033] 一般的に、4次方程式の解は複素数になることもあり得るが、全てのカメラパラメータは必ず実数であるため、本実施の形態においては、実数解のみが対象となる。また、カメラパラメータ推定装置10は、各ステップの計算結果が複素数のみとなった場合には、解なしのフラグを出して以降の処理を終了しても良い。

[0034] 例えば、誤った3次元座標と2次元点との組が対応点に含まれていたり、数値計算の精度が不足して実数解が複素数解として計算されたりする場合に、4次方程式の解が複素数になることが起こりうる。

[0035] 次に、回転行列計算部13は、ステップS13で計算した奥行きと、ステップS12で計算した線形変換行列とを用いて、ローカル座標系におけるカメラの回転行列を計算する（ステップS14）。ここで、ステップS13で計算された4次方程式の実数解が複数の場合、回転行列計算部13は、複数の奥行きそれぞれ毎に、回転行列を計算する。すなわち、4次方程式は最大で4個の実数解を持つため、ステップS14の計算回数は高々4回である。

[0036] 次に、並進ベクトル計算部14は、ステップS12でも用いた射影変換式に基づいて、ステップS13で計算した奥行きから、ローカル座標系におけるカメラの並進ベクトルを計算する（ステップS15）。具体的には、並進ベクトル計算部14は、ステップS14で計算した回転行列と、ステップS13で計算した奥行きとを、射影変換式に代入して、並進ベクトルを計算する。また、ステップS15でも、並進ベクトル計算部14は、回転行列計算部13と同様に、ステップS13で計算された実数解のすべてについて並進ベクトルを算出する。

[0037] 最後に、逆変換部 15 は、ステップ S 14 でローカル座標系にて算出された回転行列と、ステップ S 15 で計算された並進ベクトルとを、元の世界座標系へと逆変換し、得られた回転行列と並進ベクトルとをカメラの外部パラメータとして出力する（ステップ S 16）。また、ステップ S 16 では、逆変換部 15 は、ステップ S 14 で計算された全ての回転行列とステップ S 15 で計算された全ての並進ベクトルとで得られる、組合せそれぞれ毎に、出力を実行する。

[0038] [具体例]

ここで、本実施の形態の具体例について以下に説明する。なお、以下の説明では、適宜図 1～図 3 を参照する。また、以下の説明では、上添字の「T」は行列 n 及びベクトルの転置を表し、「0」はゼロ行列及びゼロベクトルを表し、「I」は単位行列を表し、「|| ||」はベクトルの L2 ノルムを表し、「×」は 3 次元ベクトルのクロス積を表す。

[0039] まず、対応点である 3 次元座標と画像座標との射影変換式が以下の数 1 によって定義されているとする。以下の数 1 により、ある i 番目の 3 次元座標 $X_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ は、回転行列 R と並進ベクトル t とにより、画像座標 $m_i = [u_i, v_i, 1]^T$ へと射影される。また、数 1 において、 d_i はカメラ中心から X_i への奥行きである。

[0040] [数 1]

$$d_i m_i = R X_i + t$$

[0041] 次に、ローカル座標系への変換は、以下の数 2 により表される。

[0042]

[数2]

$$\mathbf{n}_x = \frac{(\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1)}{\|(\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1)\|}$$

$$\mathbf{n}_z = \frac{\mathbf{n}_x \times (\mathbf{X}_3 - \mathbf{X}_1)}{\|\mathbf{n}_x \times (\mathbf{X}_3 - \mathbf{X}_1)\|}$$

$$\mathbf{n}_y = \mathbf{n}_z \times \mathbf{n}_x$$

$$\mathbf{R}_g = [\mathbf{n}_x \quad \mathbf{n}_y \quad \mathbf{n}_z]$$

$$\mathbf{X}_i \leftarrow \mathbf{R}_g^T (\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_1)$$

[0043] 上記数2により、ローカル座標系における3次元座標系は、 $X_1=[0, 0, 0]^T$ 、 $X_2=[a, 0, 0]^T$ 、 $X_3=[b, c, 0]^T$ となる。ここで、 a, b, c は変換後の座標値である。これを用いて、上記数1を各対応点について書き下すと、上記数1は、下記の数3によって表される。

[0044] [数3]

$$d_1 \mathbf{m}_1 = \mathbf{t}$$

$$d_2 \mathbf{m}_2 = a \mathbf{r}_1 + \mathbf{t}$$

$$d_3 \mathbf{m}_3 = b \mathbf{r}_1 + c \mathbf{r}_2 + \mathbf{t}$$

[0045] ここで、 r_j は回転行列の第j列目を表す。そして、上記数3において、第1式と第2式との差分を取り、 t を消去すると、以下の数4が得られる。また、数4において、 $d=[d_1, d_2, d_3]^T$ である。

[0046]

[数4]

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1 &= \frac{1}{a} (d_2 \mathbf{m}_2 - d_1 \mathbf{m}_1) \\ &= \frac{1}{a} \begin{bmatrix} -\mathbf{m}_1 & \mathbf{m}_2 & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{A} \mathbf{d} \end{aligned}$$

[0047] 次に、上記数3において、第1式と第3式との差分を求め、求めた差分を上記数4に代入すると、以下の数5が得られる。

[0048] [数5]

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_2 &= \frac{1}{c} \left(\left(1 - \frac{b}{a}\right) d_1 \mathbf{m}_1 + \frac{b}{a} d_2 \mathbf{m}_2 - d_3 \mathbf{m}_3 \right) \\ &= \frac{1}{c} \begin{bmatrix} \left(\frac{b}{a} - 1\right) \mathbf{m}_1 & -\frac{b}{a} \mathbf{m}_2 & \mathbf{m}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{B} \mathbf{d} \end{aligned}$$

[0049] 上記数4および数5は、回転行列の第1列と第2列とが、共に、奥行きとの線形変換により表されることを示している。

[0050] 次に、回転行列の正規直交性より、下記の数6が得られる。

[0051] [数6]

$$\mathbf{r}_1^T \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2^T \mathbf{r}_2 = \mathbf{k}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{A} - \mathbf{B}^T \mathbf{B}) \mathbf{k} = 0$$

$$\mathbf{r}_1^T \mathbf{r}_2 = \mathbf{k}^T \mathbf{A}^T \mathbf{B} \mathbf{k} = 0$$

[0052] ここで、 \mathbf{k} は、 \mathbf{d} の3つの成分のうちいずれか一つを1とし、その他の成分を新たな未知数 x, y で置き換えることによって得られるベクトルである。即ち、 $\mathbf{k} = [1, d_2/d_1, d_3/d_1]^T = [1, x, y]^T$ 、 $\mathbf{k} = [d_1/d_2, 1, d_3/d_2]^T = [x, 1, y]^T$ 、 $\mathbf{k} = [d_1/d_3, d_2/d_3, 1]^T$

$k^T = [x, y, 1]^T$ のいずれかである。

[0053] 上記数6は、定数倍に不定であり、また、奥行き d_i は0以上であることから、ベクトル d を k で置き換えても数学的には等価である。また、未知数の数を3個から2個へと減少させることができる。

[0054] 上記数6は、 x 、 y の2変数に対して拘束式が2つであるから、その解を求めることができる。その方法の一つは、終結式 (resultant) の理論に基づき、上記数6から x または y のいずれか一方を消去して1変数の方程式に帰着させることである。例えば、 y を消去すると x についての4次方程式となる。P3P問題の解が、1変数の4次方程式に帰着することは非特許文献1及び2でも明らかにされており、この明らかにされている内容と上述の上記数6とが一致することは、本発明の理論的な正しさを裏付けている。

[0055] また、上述したとおり、 k はどの成分を1と選択するかにより3通り存在する。4次方程式の各係数の演算量が最小となるのは、第1成分又は第2成分を1とした場合 ($k = [1, x, y]^T$ 又は $k = [x, 1, y]^T$) であり、演算量が最大となるのは、第3成分を1とした場合 ($k = [x, y, 1]^T$) である。

[0056] なぜならば、上記数6の第2式において、行列 $A^T B$ の第3行は全てゼロであるため、第1成分又は第2成分を選択した場合は、左から乗算した k^T の第3成分をゼロと置いたことに等しくなり、上記数6の第2式において x^2 又は y^2 の係数がゼロとなるからである。ゆえに、4次方程式の係数計算を最小化するには、 $k = [1, x, y]^T$ 、又は $k = [x, 1, y]^T$ とすれば良い。

[0057] 本実施の形態では、4次方程式の解を得るために、公知である様々な解法を利用できる。例えば、Ferrariの解法やEulerの解法などの代数的な直接法が用いられても良いし、固有値固有ベクトル計算を応用したコンパニオン行列に基づく解法が用いられても良い。

[0058] 4次方程式の解が得られれば、上記数4及び数5から、回転行列 R の第1列と第2列とは、単純な線形変換である行列ベクトル積に基づいて計算される。上述した k の一つの成分を1とおくことで生じるスケール不定性は、第1列及び第2列共に、L2ノルムを1と補正すれば良い。即ち、 $k = k / \|A_k\|$

|又は $k = k/|| Bk ||$ を計算すれば良い。

[0059] また、回転行列Rの第3列は、第1列と第2列とのクロス積 ($r_3=r_1 \times r_2$) により計算できるため、以下の数7に示すように回転行列Rの全ての成分が算出される。

[0060] [数7]

$$\mathbf{R} = [\mathbf{r}_1 \quad \mathbf{r}_2 \quad \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2]$$

[0061] そして、並進ベクトルtは、上記数3の第1式より計算することができる。これまで計算した回転行列Rと並進ベクトルtはローカル座標系における値であるため、式2の逆変換を施すことで元の世界座標における値を得ることができる。すなわち、最終的な回転行列Rと並進ベクトルtは以下の式8で表される。

[0062] [数8]

$$\mathbf{R} \leftarrow \mathbf{R} \mathbf{R} g^T$$

$$\mathbf{t} \leftarrow \mathbf{t} - \mathbf{R} \mathbf{R}^T \mathbf{X}_1$$

[0063] ここで、上述の具体例を図3に示したステップS11～S16に沿って以下に説明する。

[0064] [ステップS11]

まず、ステップS11において、3次元座標変換部11は、上記数2で表される座標変換を実行し、3次元座標をローカル座標系へと変換する。

[0065] [ステップS12]

次に、ステップS12において、奥行き計算部12は、上記数4及び数5で表したように、回転行列と奥行きとの線形変換を表す、行列Aと行列Bとを計算する。

[0066] [ステップS13]

次に、ステップS13において、奥行き計算部12は、奥行きの第1成分

又は第2成分を1とにおいて、上記数6の終結式である4次方程式の係数を計算し、4次方程式を解いて、奥行きを計算する。

[0067] [ステップS14]

次に、ステップS14において、回転行列計算部13は、上記数4および上記数5に基づいて、回転行列の第1列と第2列とを計算し、更に、上記数7に基づいて、回転行列の全成分を計算する。

[0068] [ステップS15]

次に、ステップS15において、並進ベクトル計算部14は、上記数3に基づいて、並進ベクトルを計算する。

[0069] [ステップS16]

最後に、ステップS16において、逆変換部15は、上記数8に基づいて、回転行列と並進ベクトルとを元の世界座標系における値へと変換し、得られた回転行列と並進ベクトルとを出力する。

[0070] [実施の形態における効果]

以上のとおり、本実施形態によれば、特異値分解を用いずに1ステップで高速にP3P問題を解いて、外部パラメータを推定することが可能となる。その理由は、以下のとおりである。

[0071] 本実施の形態では、まず、対象物の3次元座標をローカル座標系へと変換することで、上記数4及び数5に示すように、回転行列の成分を奥行き of 線形変換で表すことができる。つまり、ローカル座標系で奥行きを計算できれば、直接に回転行列を推定できるため、本実施の形態では、非特許文献2に開示された方法のように2ステップの座標変換を実行する必要がない。また、上記数4に示される行列Aの第3行がゼロであることから、奥行きベクトルの第1成分又は第2成分を1とすることで、4次方程式の係数の演算量を最小化することができ、高速化を図ることができる。

[0072] [変形例]

本実施の形態は、上述した例に限定されるものではない。本実施の形態は、上述した例に対して、いわゆる当業者が理解し得る多様な変更を適用する

ことが可能である。例えば、本実施の形態は、以下の変形例に示す形態によっても実施可能である。

[0073] 変形例 1 :

本実施の形態において、カメラパラメータ推定装置 10 に入力された 3 次元座標が $X_1=[0, 0, 0]^T$ 、 $X_2=[a, 0, 0]^T$ 、 $X_3=[b, c, 0]^T$ という形式の場合、3 次元座標変換部 11 と逆変換部 16 とは、処理を実行しなくても良い。例えば、このような場合としては、3 次元座標が正方マーカのコーナー点である場合が挙げられる。このよう場合、ローカル座標系と世界座標系とが一致するため、ローカル座標系への変換は不要になるので、結果、カメラパラメータ推定装置 10 における演算量を削減することができる。

[0074] 変形例 2 :

本実施の形態において、ローカル座標系の定義は $X_1=[0, 0, 0]^T$ 、 $X_2=[a, 0, 0]^T$ 、 $X_3=[b, c, 0]^T$ に限定されることはない。例えば、ローカル座標系は、 $y=0$ の平面を基準とした座標系であっても良い。その場合、回転行列の第 1 列および第 3 列を計算し、それらのクロス積として第 2 列を計算すればよい。但し、どのようにローカル座標系が定義されていても、剛体変換により一致するため、数学的には等価な問題である。

[0075] 変形例 3 :

本実施の形態において、奥行き計算部 12 は、回転行列計算部 13 に対して、全ての解を出力しても良いし、奥行きの性質を考慮した場合、正の実数解のみを出力しても良い。また、奥行き計算部 12 は、数値計算の誤差により実数解に僅かな虚数成分が乗る可能性を考慮して、虚数解の実部のみを抽出し、抽出した虚数解の実部のみを出力しても良い。

[0076] 変形例 4 :

本実施の形態において、奥行き計算部 12 で得られた解がすべて虚数であった場合は、カメラパラメータ推定装置 10 は、以降の処理を打ち切って、解無しのフラグを返し、処理を終了しても良い。

[0077] [プログラム]

本実施の形態におけるプログラムは、コンピュータに、図3に示すステップS11～S16を実行させるプログラムであれば良い。このプログラムをコンピュータにインストールし、実行することによって、本実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置とカメラパラメータ推定方法とを実現することができる。この場合、コンピュータのプロセッサは、3次元座標変換部11、奥行き計算部12、回転行列計算部13、並進ベクトル計算部14、及び逆変換部15として機能し、処理を行なう。

[0078] また、本実施の形態におけるプログラムは、複数のコンピュータによって構築されたコンピュータシステムによって実行されても良い。この場合は、例えば、各コンピュータが、それぞれ、3次元座標変換部11、奥行き計算部12、回転行列計算部13、並進ベクトル計算部14、及び逆変換部15とのいずれかとして機能しても良い。

[0079] ここで、本実施の形態におけるプログラムを実行することによって、カメラパラメータ推定装置10を実現するコンピュータについて図4を用いて説明する。図4は、本発明の実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置を実現するコンピュータの一例を示すブロック図である。また、本実施の形態におけるコンピュータは、図4に示すコンピュータに限定されず、例えば、ロボット、スマートフォン等の機器に搭載されたコンピュータであっても良い。

[0080] 図4に示すように、コンピュータ110は、CPU (Central Processing Unit) 111と、メインメモリ112と、記憶装置113と、入力インターフェイス114と、表示コントローラ115と、データリーダ/ライタ116と、通信インターフェイス117とを備える。これらの各部は、バス121を介して、互いにデータ通信可能に接続される。また、コンピュータ110は、CPU111に加えて、又はCPU111に代えて、GPU (Graphics Processing Unit)、又はFPGA (Field-Programmable Gate Array) を備えていても良い。

[0081] CPU111は、記憶装置113に格納された、本実施の形態におけるプ

プログラム（コード）をメインメモリ 112 に展開し、これらを所定順序で実行することにより、各種の演算を実施する。メインメモリ 112 は、典型的には、DRAM（Dynamic Random Access Memory）等の揮発性の記憶装置である。また、本実施の形態におけるプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体 120 に格納された状態で提供される。なお、本実施の形態におけるプログラムは、通信インターフェイス 117 を介して接続されたインターネット上で流通するものであっても良い。

[0082] また、記憶装置 113 の具体例としては、ハードディスクドライブの他、フラッシュメモリ等の半導体記憶装置が挙げられる。入力インターフェイス 114 は、CPU 111 と、キーボード及びマウスといった入力機器 118 との間のデータ伝送を仲介する。表示コントローラ 115 は、ディスプレイ装置 119 と接続され、ディスプレイ装置 119 での表示を制御する。

[0083] データリーダ／ライタ 116 は、CPU 111 と記録媒体 120 との間のデータ伝送を仲介し、記録媒体 120 からのプログラムの読み出し、及びコンピュータ 110 における処理結果の記録媒体 120 への書き込みを実行する。通信インターフェイス 117 は、CPU 111 と、他のコンピュータとの間のデータ伝送を仲介する。

[0084] また、記録媒体 120 の具体例としては、CF（Compact Flash（登録商標））及びSD（Secure Digital）等の汎用的な半導体記憶デバイス、フレキシブルディスク（Flexible Disk）等の磁気記録媒体、又はCD-ROM（Compact Disk Read Only Memory）などの光学記録媒体が挙げられる。

[0085] なお、本実施の形態におけるカメラパラメータ推定装置 10 は、プログラムがインストールされたコンピュータではなく、各部に対応したハードウェアを用いることによっても実現可能である。更に、カメラパラメータ推定装置 10 は、一部がプログラムで実現され、残りの部分がハードウェアで実現されていてもよい。

[0086] 上述した実施の形態の一部又は全部は、以下に記載する（付記 1）～（付記 9）によって表現することができるが、以下の記載に限定されるものでは

ない。

[0087] (付記1)

カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、3次元座標変換部と、

前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きの中のいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、奥行き計算部と、

前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、回転行列計算部と、

前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、並進ベクトル計算部と、

前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、逆変換部と

を備えている、

ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。

[0088] (付記2)

付記1に記載のカメラパラメータ推定装置であって、

前記ローカル座標系が、前記奥行きの1つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。

[0089] (付記3)

付記1または2に記載のカメラパラメータ推定装置であって、

前記奥行き計算部は、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算量が最小となる奥行きを選択する、
ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。

[0090] (付記4)

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、ステップと、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちのいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、ステップと、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、ステップと、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、ステップと、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、ステップと

を有する、

ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[0091] (付記5)

付記4に記載のカメラパラメータ推定方法であって、

前記ローカル座標系が、前記奥行きの1つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、
ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[0092] (付記6)

付記4または5に記載のカメラパラメータ推定方法であって、

前記(b)のステップにおいて、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算量が最小となる奥行きを選択する、ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[0093] (付記7)

コンピュータに、

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、ステップと、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、ステップと、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、ステップと、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、ステップと、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、ステップと

を実行させる命令を含む、プログラムを記録しているコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0094] (付記8)

付記7に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記ローカル座標系が、前記奥行きの1つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0095] (付記9)

付記7または8に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記(b)のステップにおいて、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算量が最小となる奥行きを選択する、

ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0096] 以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施の形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

産業上の利用可能性

[0097] 以上のように、本発明によれば、特異値分解を用いずに、1ステップで高速にP3P問題を解いて外部パラメータを推定可能である。本発明は、校正済みカメラの外部パラメータの推定が求められる分野、例えば、ロボットの制御、画像処理等に有効である。

符号の説明

- [0098] 10 カメラパラメータ推定装置
 - 11 3次元座標変換部
 - 12 奥行き計算部
 - 13 回転行列計算部
 - 14 並進ベクトル計算部
 - 15 逆変換部
 - 110 コンピュータ
 - 111 CPU
 - 112 メインメモリ
 - 113 記憶装置
 - 114 入力インターフェイス

- 1 1 5 表示コントローラ
- 1 1 6 データリーダ／ライタ
- 1 1 7 通信インターフェイス
- 1 1 8 入力機器
- 1 1 9 ディスプレイ装置
- 1 2 0 記録媒体
- 1 2 1 バス

請求の範囲

- [請求項1] カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、
- 前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、3次元座標変換手段と、
- 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きの中のいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、奥行き計算手段と、
- 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、回転行列計算手段と、
- 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、並進ベクトル計算手段と、
- 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、逆変換手段と
- を備えている、
- ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のカメラパラメータ推定装置であって、
- 前記ローカル座標系が、前記奥行きの中の1つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、
- ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。
- [請求項3] 請求項1または2に記載のカメラパラメータ推定装置であって、

前記奥行き計算手段は、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算量が最小となる奥行きを選択する、
ことを特徴とするカメラパラメータ推定装置。

[請求項4]

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換し、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちのいずれか1つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算し、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算し、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算し、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、

ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[請求項5]

請求項4に記載のカメラパラメータ推定方法であって、

前記ローカル座標系が、前記奥行きの1つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、

ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[請求項6]

請求項4または5に記載のカメラパラメータ推定方法であって、

前記(b)において、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算

量が最小となる奥行きを選択する、
ことを特徴とするカメラパラメータ推定方法。

[請求項7]

コンピュータに、

(a) カメラによって撮影された対象物に関する3組の3次元座標と、撮影された画像上における前記3次元座標それぞれに対応する2次元座標とを入力として、

前記3次元座標の座標系を、世界座標系から、前記3次元座標の1つを原点とするローカル座標系へと変換する、ステップと、

(b) 前記ローカル座標系に変換された前記3次元座標から前記2次元座標への射影変換式に基づいて、線形変換行列を計算し、そして、前記カメラの中心から前記3次元座標それぞれへの奥行きのうちの一つに関する4次方程式の係数を計算して、前記4次方程式を解くことによって、前記奥行きそれぞれを計算する、ステップと、

(c) 前記奥行きそれぞれと前記線形変換行列とを用いて、前記ローカル座標系における前記カメラの回転行列を計算する、ステップと、

(d) 前記射影変換式に基づいて、前記奥行きそれぞれから、前記ローカル座標系における前記カメラの並進ベクトルを計算する、ステップと、

(e) 前記ローカル座標系における前記カメラの前記回転行列及び前記並進ベクトルを逆変換して、前記世界座標系における前記カメラの回転行列及び並進ベクトルを計算する、ステップと

を実行させる命令を含む、プログラムを記録しているコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[請求項8]

請求項7に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

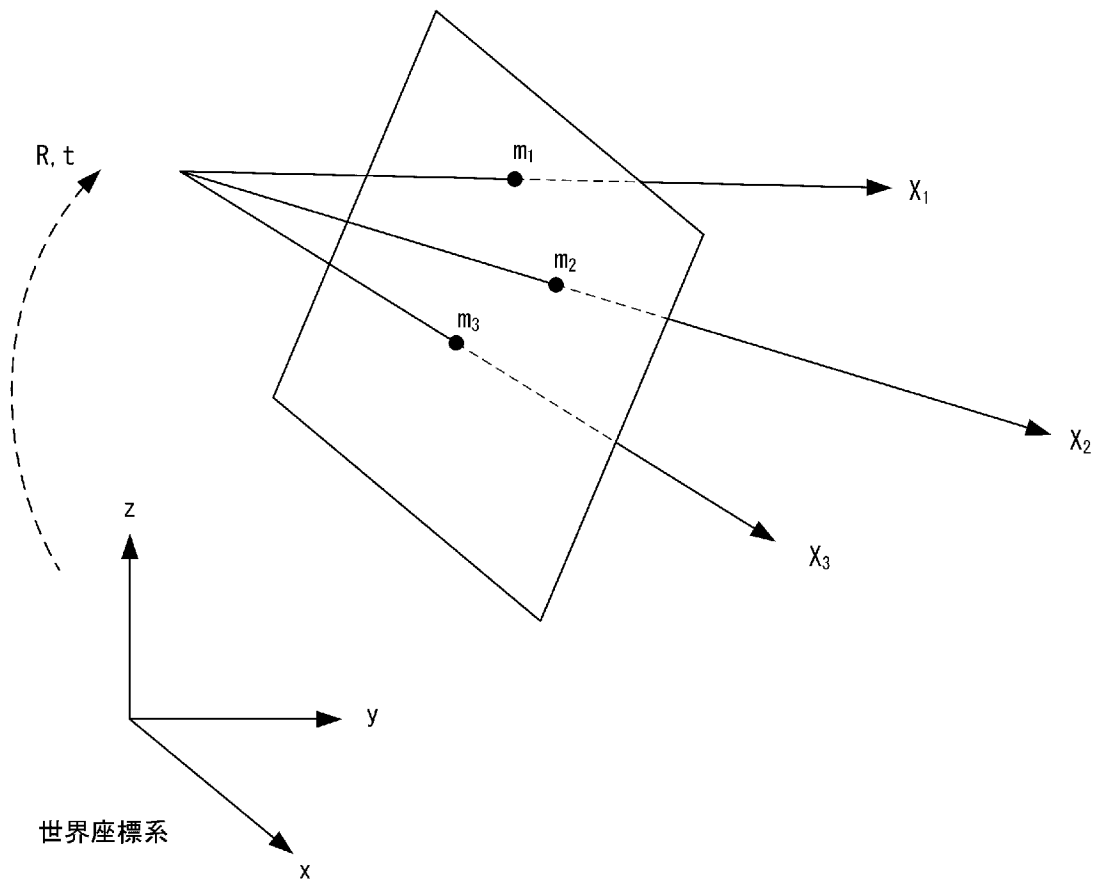
前記ローカル座標系が、前記奥行きの一つを、前記回転行列を構成するベクトルのうちの2列分で線形変換することによって表される座標系である、

ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

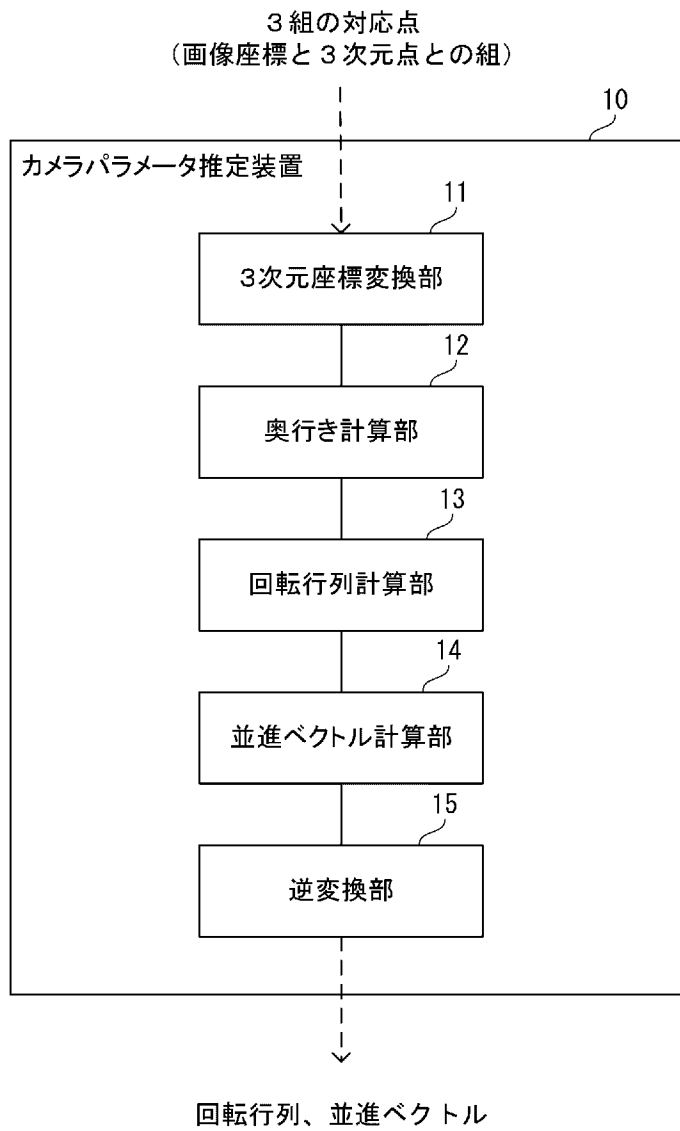
[請求項9] 請求項7または8に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記(b)のステップにおいて、前記4次方程式の係数を計算する際に、演算量が最小となる奥行きを選択する、ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

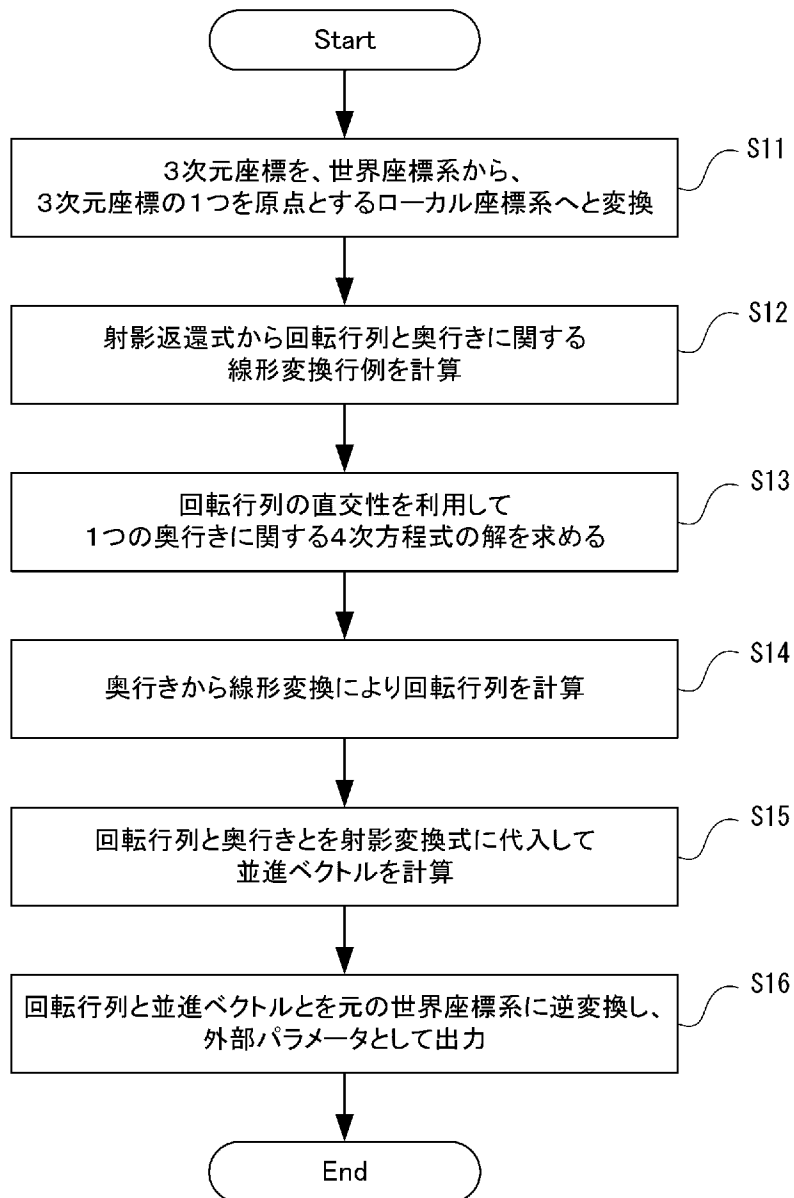
[図1]



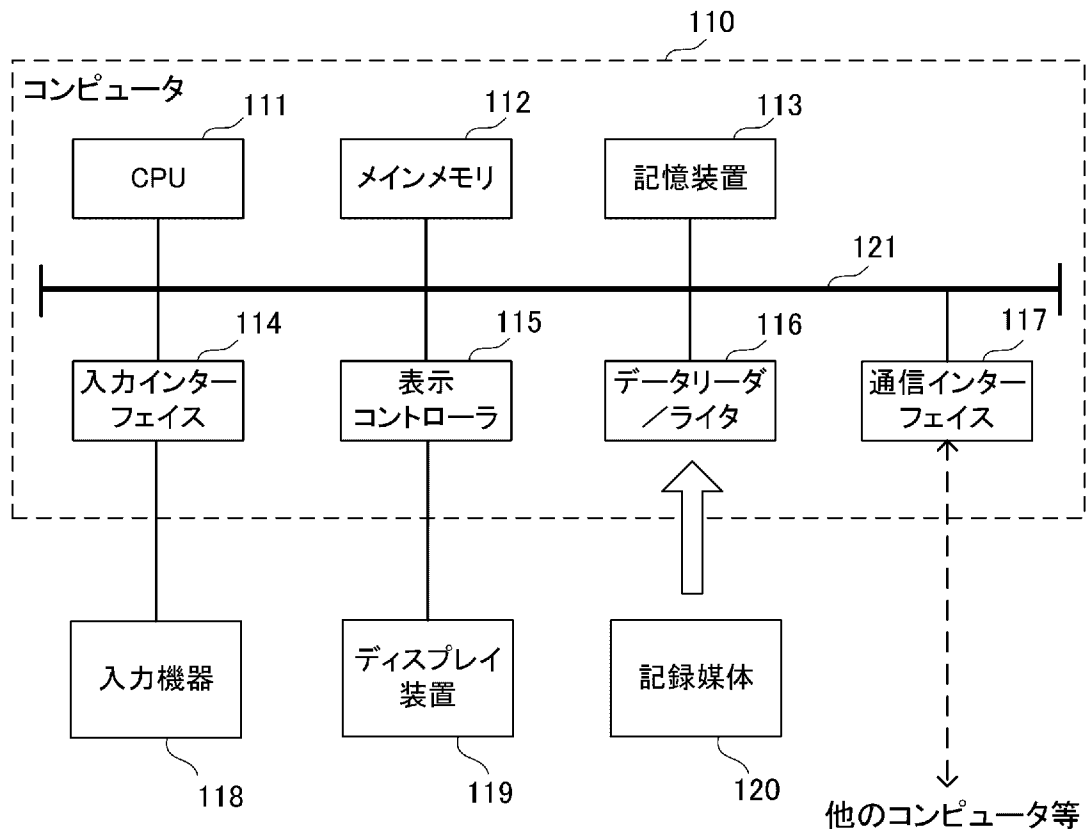
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/017508

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H04N5/232 (2006.01) i, G01B11/00 (2006.01) i, G06T7/80 (2017.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H04N5/232, G01B11/00, G06T7/80

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2019/065536 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY CORPORATION OF AMERICA) 04 April 2019, paragraphs [0099]-[0116] (Family: none)	1-9
A	WO 2013/111229 A1 (NEC CORPORATION) 01 August 2013, paragraphs [0019]-[0129] & US 2015/0029345 A1, paragraphs [0039]-[0144] & WO 2013/111229 A1 & EP 2808645 A1	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11.07.2019	Date of mailing of the international search report 23.07.2019
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/017508

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-250452 A (TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE) 04 November 2010, paragraphs [0033]-[0090] & WO 2010/119852 A1	1-9
A	JP 2015-106287 A (CANON INC.) 08 June 2015, paragraphs [0013]-[0073] (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H04N5/232(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G06T7/80(2017.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H04N5/232, G01B11/00, G06T7/80

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2019/065536 A1（パナソニック インテレクチュアル プロパティ コーポレーション オブ アメリカ） 2019.04.04, 段落 0099-0116（ファミリーなし）	1-9
A	WO 2013/111229 A1（日本電気株式会社）2013.08.01, 段落 0019-0129 & US 2015/0029345 A1, 段落 0039-0144 & WO 2013/111229 A1 & EP 2808645 A1	1-9

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 11.07.2019	国際調査報告の発送日 23.07.2019
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 佐藤 直樹 電話番号 03-3581-1101 内線 3581
	5 P 9562

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-250452 A (学校法人東京理科大学) 2010. 11. 04, 段落 0033-0090 & WO 2010/119852 A1	1-9
A	JP 2015-106287 A (キヤノン株式会社) 2015. 06. 08, 段落 0013-0073 (ファミリーなし)	1-9