

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3849030号
(P3849030)

(45) 発行日 平成18年11月22日(2006.11.22)

(24) 登録日 平成18年9月8日(2006.9.8)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 H
GO 6 T 1/00 (2006.01) GO 6 T 1/00 3 1 5

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-128502 (P2004-128502)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成16年4月23日 (2004.4.23)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2005-308641 (P2005-308641A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成17年11月4日 (2005.11.4)	(74) 代理人	100072051
審査請求日	平成16年10月27日 (2004.10.27)		弁理士 杉村 興作
		(72) 発明者	中村 恭之
			大阪府枚方市伊加賀西町2-6-1101
		(72) 発明者	和田 俊和
			大阪府泉南郡田尻町 りんくうポート北5-17-4-105
		(72) 発明者	飯塚 健男
			和歌山県和歌山市狐島337-1 サニーコート和歌山A-103
		審査官	小野寺 麻美子
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カメラキャリブレーション装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

共通の計測範囲を有するように配置された複数のステレオカメラのカメラキャリブレーション装置であって、

前記共通の計測範囲で運動する物体の移動軌跡中の複数の位置データを、前記ステレオカメラの中心の座標系でそれぞれ計測する手段と、

これら位置データを主成分分析して、前記ステレオカメラに共通の座標系を構成し、この共通の座標系を経由して前記ステレオカメラの座標系間の相対的配置を推定する手段とを具えることを特徴とするカメラキャリブレーション装置。

【請求項2】

共通の計測範囲を有するように配置された複数のステレオカメラのカメラキャリブレーション方法であって、

前記共通の計測範囲で運動する物体の移動軌跡中の複数の位置データを、前記ステレオカメラの中心の座標系でそれぞれ計測するステップと、

これら位置データを主成分分析して、前記ステレオカメラに共通の座標系を構成し、この共通の座標系を経由して前記ステレオカメラの座標系間の相対的配置を推定するステップとを具えることを特徴とするカメラキャリブレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像取得に用いるカメラの種々の特性及びパラメータを求めるカメラキャリブレーション装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

カメラキャリブレーションには、レンズによって生じる光学的な歪を推定する作業、焦点距離、画像中心等のカメラ固有のパラメータを推定する作業、及びカメラの位置・姿勢を表すパラメータを推定する作業がある。

【0003】

従来、カメラの位置・姿勢を表すパラメータ、すなわち、並進ベクトル及び回転行列を推定するに際し、3次元形状が既知のキャリブレーション物体を用いている（例えば、非特許文献1, 2参照）

10

【0004】

図1は、従来カメラキャリブレーション装置における並進ベクトル及び回転行列の推定原理を説明するための図である。図1では、複数のステレオカメラの共通視野内において、3次元位置が既知であるキャリブレーション物体1の4個の計測点 o , p_1 , p_2 , p_3 を与える。なお、点 o と点 p_1 、点 o と点 p_2 及び点 o と点 p_3 で構成される三つのベクトルは互いに直交しているものとする。なお、図1及び後に説明する図2において、 i は、1以上の自然数を表すものとし、 j は、 i より大きい自然数を表すものとする。

【0005】

4個の計測点 o , p_1 , p_2 , p_3 の3次元位置を、それぞれのステレオカメラ中心の座標系において計測し、第 i 番目のステレオカメラ2で計測したこれら4個の計測点を

20

$$o^i, p_1^i, p_2^i, p_3^i$$

と表す。これらの点は、

$$o^i, p_j^i = (x_j^i, y_j^i, z_j^i)$$

とする3次元座標値を有するものとする。

【0006】

30

この場合、各カメラで計測された点同士の対応をとる必要がある。すなわち、従来の手法では、点

$$o^i$$

と点

$$o^j$$

及び点

40

$$p_k^i$$

と点

$$p_k^j$$

が3次元空間内の同一の点であるという情報が必要となる。これらの情報を基にして、これら4点から構成される三つのベクトルを

$$\mathbf{x}_w^i, \mathbf{y}_w^i, \mathbf{z}_w^i$$

と表すものとする。

【 0 0 0 7 】

ここで

$${}^W \mathbf{R}_{S_i}$$

と

$${}^W \mathbf{t}_{S_i}$$

10

はそれぞれ、第 i 番目のステレオカメラ 2 の座標系 S_i から共有座標系 W への回転行列及び並進ベクトルを表すものとする。これらの回転行列及び並進ベクトルは、上記 4 点の情報を用いて次のように表すことができる。

【 数 1 】

$${}^W \mathbf{R}_{S_i} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_w^{i T} & \mathbf{y}_w^{i T} & \mathbf{z}_w^{i T} \end{pmatrix} \quad {}^W \mathbf{t}_{S_i} = \mathbf{o}^i$$

20

【 0 0 0 8 】

これらの関係を用いて、第 i 番目のステレオカメラ 2 の座標系 S_i から第 j 番目のステレオカメラ 3 の座標系 S_j への回転行列

$${}^{S_j} \mathbf{R}_{S_i}$$

と

$${}^{S_j} \mathbf{t}_{S_i}$$

30

はそれぞれ次のように表すことができる。

【 数 2 】

$${}^{S_j} \mathbf{R}_{S_i} = \left({}^W \mathbf{R}_{S_j} \right)^{-1} {}^W \mathbf{R}_{S_i} \quad {}^{S_j} \mathbf{t}_{S_i} = - \left({}^W \mathbf{R}_{S_i} \right)^{-1} {}^W \mathbf{R}_{S_j} {}^W \mathbf{t}_{S_j} + {}^W \mathbf{t}_{S_i}$$

このようにして、2 個のステレオカメラ 2, 3 の座標系間の相対位置を表す回転行列及び並進ベクトルを求めることができるようになる。

【 非特許文献 1 】 高橋裕信等 「ロボットビジョンのためのカメラキャリブレーション」、日本ロボット学会誌 Vol. 10, No. 2, pp.177 pp. 184, 1992

40

【 非特許文献 2 】 R. Tsai. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 3, No. 4, pp.323-344, 1987

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、従来のカメラキャリブレーション装置における並進ベクトル及び回転行列の推定するには、共通座標系を構築するために、3次元位置が既知の計測点及びこれら計測点の対応を与える必要がある。また、複数のカメラ間の相対的配置を推定するためには、カメラ間で画像取得する際に同期をとる必要がある。

50

【0010】

本発明の目的は、3次元位置が既知の計測点及びこれら計測点の対応を与える必要並びにカメラ間で画像取得する際に同期をとる必要のない、簡単な構成のカメラキャリブレーション装置及び方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明によるカメラキャリブレーション装置は、

共通の計測範囲を有するように配置された複数のステレオカメラのカメラキャリブレーション装置であって、

前記共通の計測範囲で運動する物体の移動軌跡中の複数の位置データを、前記ステレオカメラの中心の座標系でそれぞれ計測する手段と、 10

これら位置データを主成分分析して、前記ステレオカメラに共通の座標系を構成し、この共通の座標系を経由して前記ステレオカメラの座標系間の相対的配置を推定する手段とを具えることを特徴とする。

【0012】

本発明によるカメラキャリブレーション方法は、

共通の計測範囲を有するように配置された複数のステレオカメラのカメラキャリブレーション方法であって、

前記共通の計測範囲で運動する物体の移動軌跡中の複数の位置データを、前記ステレオカメラの中心の座標系でそれぞれ計測するステップと、 20

これら位置データを主成分分析して、前記ステレオカメラに共通の座標系を構成し、この共通の座標系を経由して前記ステレオカメラの座標系間の相対的配置を推定するステップとを具えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、共通の計測範囲を有するように配置された複数のステレオカメラのカメラキャリブレーションを行うに際し、共通の計測範囲で運動する物体の移動軌跡中の複数の位置データを、ステレオカメラの中心の座標系でそれぞれ計測する。

【0014】

このようにして計測されたステレオカメラごとの位置データは、ステレオカメラの座標系の配置が互いに相違するために数値的には互いに相違するが、分布の形状は同一である。したがって、位置データの分布の様子を数値化するために、位置データを主成分分析して、ステレオカメラに共通の座標系を構成し、共通の座標系を経由してステレオカメラの座標系間の相対的配置を推定することによって、並進ベクトル及び回転行列を推定することができる。 30

【0015】

その結果、3次元位置が既知の計測点及びこれら計測点の対応を与える必要並びにカメラ間で画像取得する際に同期をとる必要がなくなり、カメラキャリブレーションを簡単な構成で行うことができるようになる。

【発明を実施するための最良の形態】 40

【0016】

本発明によるカメラキャリブレーション装置及び方法の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

図2は、本発明によるカメラキャリブレーション装置における並進ベクトル及び回転行列の推定原理を説明するための図である。本発明は、複数のステレオカメラの主成分分析に基づくキャリブレーションによってステレオカメラ間の相対的な位置関係を推定するものである。

【0017】

既に説明したように、複数のステレオカメラの共通視野内で環境内に固定された座標系ができれば、ステレオカメラ間の相対的な位置関係を推定することができる。したがって 50

、共通視野内において計測対象の点を運動させ、それぞれのステレオカメラ中心の座標系において、運動中の点の3次元位置を計測する。ステレオカメラを用いることによって、計測点の3次元位置を取得することができる。

【0018】

計測された点の3次元位置のデータが、第*i*番目のステレオカメラ4に関して*N_i*個取得できたとする。ここで、これら*N_i*個の点を

$$\mathbf{p}_1^i, \mathbf{p}_2^i, \dots, \mathbf{p}_{N_i}^i$$

と表すことにし、

【数3】

$$\mathbf{p}_j^i = (x_j^i, y_j^i, z_j^i)$$

とする3次元座標値を有するものとする。この際、ステレオカメラの各々で計測された点同士の対応をとる必要がない。すなわち、点

$$\mathbf{p}_k^i$$

と

$$\mathbf{p}_k^j$$

とは、3次元空間内の同一の点であるという条件を満足する必要がない。

【0019】

それぞれのステレオカメラの座標系における*N_i*個の3次元座標データを主成分分析する。すなわち、*N_i*個の3次元座標データの共分散行列*Cⁱ*を計算し、共分散行列を固有値分解する。固有値分解の結果得られる固有ベクトルを、

$$\mathbf{e}_1^i, \mathbf{e}_2^i, \mathbf{e}_3^i$$

とする。固有ベクトルの性質から、これら三つの固有ベクトルは互いに直交している。また、共分散行列を求めるときに、既に求められている平均値ベクトルを

【数4】

$$\mathbf{g}^i = (x_g^i, y_g^i, z_g^i)$$

とする。ここで、以下のような関係が成立する。

【数5】

$$\mathbf{g}^i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} \mathbf{p}_k^i \quad x_g^i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} x_k^i \quad y_g^i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} y_k^i \quad z_g^i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} z_k^i$$

$$\mathbf{C}^i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} (\mathbf{p}_k^i - \mathbf{g}^i)(\mathbf{p}_k^i - \mathbf{g}^i)^T$$

【0020】

このようにして求められる、各ステレオカメラの座標系に関する平均値ベクトルの示す3次元空間中の位置及び3個の固有ベクトルが表す3次元空間内での方向は、実際には全て同一のものを表している。このことは、各ステレオカメラの座標系からある一つの座標

10

20

30

40

50

系（「共有座標系」と称する。）を観測していることに相当し、この共有座標系を經由してステレオカメラの座標系間の相対的な配置を推定することができる。

【0021】

ここで、

$${}^E R_{S_i}$$

と

$${}^E t_{S_i}$$

10

はそれぞれ、第 i 番目のステレオカメラ 4 の座標系 S_i から共有座標系 E への回転行列及び並進ベクトルを表すものとする。これら回転行列及び並進ベクトルは、上記固有ベクトル及び平均値ベクトルを用いて以下のように表すことができる。

【数6】

$${}^E R_{S_i} = \begin{pmatrix} \mathbf{e}_1^{iT} & \mathbf{e}_2^{iT} & \mathbf{e}_3^{iT} \end{pmatrix} \quad {}^E t_{S_i} = \mathbf{g}^i$$

【0022】

これらの関係を用いて、第 i 番目のステレオカメラ 4 の座標系 S_i から第 j 番目のステレオカメラ 5 の座標系 S_j への回転行列

20

$${}^{S_j} R_{S_i}$$

と並進ベクトル

$${}^{S_j} t_{S_i}$$

はそれぞれ、以下のように表すことができる。

【数7】

$${}^{S_j} R_{S_i} = \left({}^E R_{S_j} \right)^{-1} {}^E R_{S_i} \quad {}^{S_j} t_{S_i} = - \left({}^E R_{S_i} \right)^{-1} {}^E R_{S_j} {}^E t_{S_j} + {}^E t_{S_i}$$

30

このようにして、二つのステレオカメラ 4, 5 の座標系間の相対的な配置を表す回転行列及び並進ベクトルを求めることができる。

【0023】

次に、2個のステレオカメラ（以下、「ステレオカメラ a」及び「ステレオカメラ b」と称する。）の共通視野内で、任意に動かした色のついた計測点の移動軌跡をステレオカメラごとに記録した実験の結果を説明する。図3は、ステレオカメラ a における移動軌跡を示す図であり、図4は、ステレオカメラ b における移動軌跡を示す図である。この実験において、ステレオカメラ a では100個の移動軌跡データが取得され、ステレオカメラ b では76個の移動軌跡データが取得された。これら移動軌跡データから、図2を用いて説明した計算手法によって、ステレオカメラ a とステレオカメラ b との間の相対的な配置を表す回転行列及び並進ベクトルを求める。

40

【0024】

求められた回転行列及び並進ベクトルによって推定されたステレオカメラ a 及びステレオカメラ b の相対的な配置を、図5に示す。また、求められた回転行列及び並進ベクトルを評価するために、共通視野内において、計測点を四つの場所 1 ~ 4 でステレオカメラ a 及びステレオカメラ b を用いて計測し、ステレオカメラ b で計測された移動軌跡データを

50

ステレオカメラ a の座標系に関する移動軌跡データに変換して、変換された移動軌跡データとステレオカメラ a で計測された移動軌跡データとが一致するか否かを確認した。なお、計測点の計測を 100 回行い、その平均値を計測点の 3 次元位置とした。表 1 は、ステレオカメラ a での計測位置及び座標変換後のステレオカメラ b の計測位置を示す。

【表 1】

	ステレオカメラ 1 の座標系での位置			ステレオカメラ 2 の座標系を変換した位置		
	x[m]	y[m]	z[m]	x[m]	y[m]	z[m]
場所 1	0.195694	-0.21317	1.921518	0.21323	-0.21558	1.91173
場所 2	-0.19668	-0.21872	1.900635	-0.16436	-0.2139	1.89628
場所 3	-0.15735	-0.21389	1.510741	-0.14415	-0.21592	1.51448
場所 4	0.227986	-0.20627	1.529836	0.25129	-0.21417	1.5257

10

表 1 に示すように、変換された移動軌跡データとステレオカメラ a で計測された移動軌跡データとがほぼ一致していることがわかる。

【0025】

本実施の形態によれば、3次元位置が既知の計測点及びこれら計測点の対応を与える必要並びにカメラ間で画像取得する際に同期をとる必要がないので、カメラキャリブレーションを簡単な構成で行うことができる。

20

【0026】

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。

例えば、上記実施の形態において、3次元座標系として直交座標系で計測する場合について説明したが、極座標系で計測する場合についても本発明を適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0027】

本発明を、様々な情報システムで用いられる非接触 3次元位置計測装置、生物の行動計測装置、ヒューマンインタフェース装置等の分野に応用することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】従来のカメラキャリブレーション装置における並進ベクトル及び回転行列の推定原理を説明するための図である。

【図 2】本発明によるカメラキャリブレーション装置における並進ベクトル及び回転行列の推定原理を説明するための図である。

【図 3】ステレオカメラ a における移動軌跡を示す図である。

【図 4】ステレオカメラ b における移動軌跡を示す図である。

【図 5】求められた回転行列及び並進ベクトルによって推定されたステレオカメラ a 及びステレオカメラ b の相対的な配置を示す。

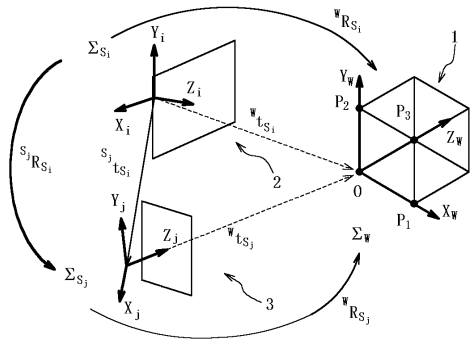
40

【符号の説明】

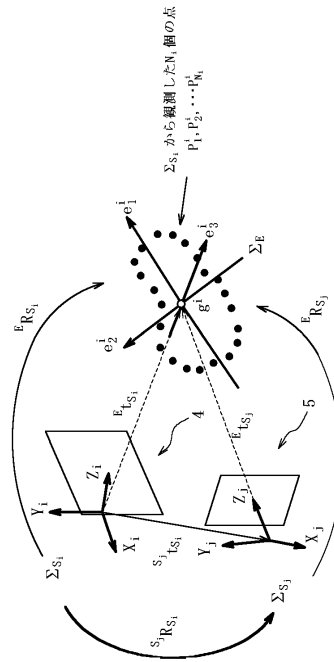
【0029】

- 1 キャリブレーション物体
- 2, 3, 4, 5 ステレオカメラ

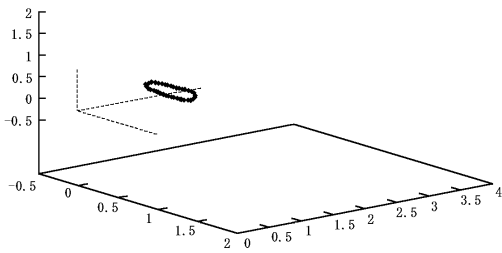
【 図 1 】



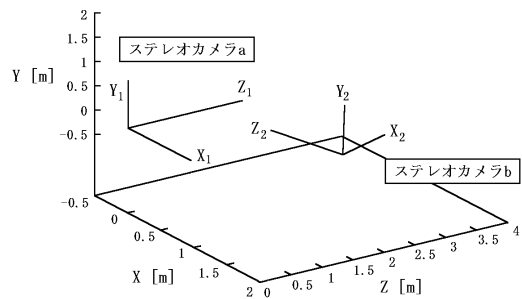
【 図 2 】



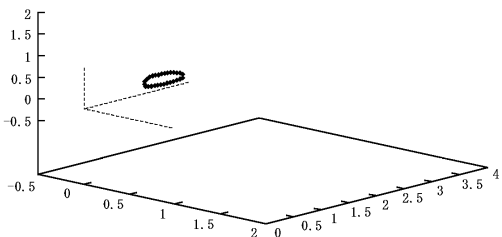
【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-065714(JP,A)
特開2000-268179(JP,A)
特開平11-101641(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00
G06T 1/00