

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-135495

(P2017-135495A)

(43) 公開日 平成29年8月3日(2017.8.3)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
HO4N	13/02	(2006.01)	HO4N	13/02	460	2H059	
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	13/02	390	5C061	
HO4N	5/225	(2006.01)	HO4N	5/232	Z	5C122	
GO3B	35/08	(2006.01)	HO4N	5/225	Z		
			GO3B	35/08			

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-12205 (P2016-12205)
 (22) 出願日 平成28年1月26日 (2016.1.26)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110001807
 特許業務法人磯野国際特許商標事務所
 (72) 発明者 伊藤 誠也
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 (72) 発明者 李 媛
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 Fターム(参考) 2H059 AA10 AA13 AA18
 5C061 AA20 AB04 AB06 AB08
 5C122 EA61 FA04 FH04 FH11 GD04
 GE23 HA88 HB01 HB10

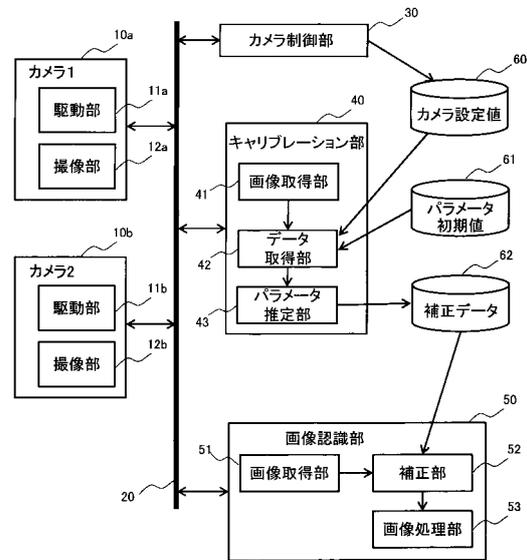
(54) 【発明の名称】 ステレオカメラおよび撮像システム

(57) 【要約】

【課題】ズームやパン/チルト等のカメラ設定を制御可能な機構を有するステレオカメラ等の撮像システムにおいて、カメラ設定が変化しても、撮像システムの計測精度の維持を行うステレオカメラや撮像システムを提供する。

【解決手段】少なくとも2つのカメラを有するステレオカメラは、カメラの操作指示により前記カメラのレンズ位置が変更された際に、前記カメラのカメラパラメータを推定するようにした。また、撮像システムは、少なくともふたつのカメラと、前記カメラの少なくともレンズ位置を制御するカメラ制御部と、前記カメラ制御部により前記カメラの少なくともレンズ位置が移動されたときに、前記カメラのカメラパラメータ推定するキャリブレーション部と、前記カメラパラメータに基づいて前記カメラの撮像画像の3次元復元を行う画像認識部と、を備えるようにした。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも 2 つのカメラを有するステレオカメラにおいて、
前記カメラの操作指示により前記カメラのレンズ位置が変更された際に、前記カメラのカメラパラメータを推定することを特徴とするステレオカメラ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラのそれぞれの撮像画像の特徴点を探索し、探索した特徴点の位置座標に基づいてカメラパラメータを推定することを特徴とするステレオカメラ。

10

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラのそれぞれの撮像画像の間の特徴点のエピポーラ線が平行になるように、撮像画像を補正することを特徴とするステレオカメラ。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラのそれぞれの撮像画像から算出され、エッジ点数に対する有効な視差の数を表わす有効視差数の比である視差密度が、所定値以上になるように、前記カメラのレンズ位置を変更し、前記カメラの撮像画像を取得することを特徴とするステレオカメラ。

20

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラパラメータは、前回の撮像時のカメラパラメータを基に繰り返し処理がおこなわれて推定されることを特徴とするステレオカメラ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラの操作指示により前記カメラのレンズ位置が変更された際に、実際のレンズ位置が前記カメラから応答され、前記カメラからの応答値を基に、カメラパラメータを推定することを特徴とするステレオカメラ。

30

【請求項 7】

請求項 1 に記載のステレオカメラにおいて、
前記カメラのそれぞれは、前記カメラの中心を回動するように設置され、前記カメラがパン制御された際にカメラパラメータを推定することを特徴とするステレオカメラ。

【請求項 8】

少なくとも 2 つのカメラと、
前記カメラの少なくともレンズ位置を制御するカメラ制御部と、
前記カメラ制御部により前記カメラの少なくともレンズ位置が移動されたときに、前記カメラのカメラパラメータを推定するキャリブレーション部と、
前記カメラパラメータに基づいて前記カメラの撮像画像の 3 次元復元を行う画像認識部と、
を備えたことを特徴とする撮像システム。

40

【請求項 9】

請求項 8 に記載の撮像システムにおいて、
前記キャリブレーション部は、前記カメラのそれぞれの撮像画像の特徴点を探索し、探索した特徴点の位置座標に基づいてカメラパラメータを推定する

50

ことを特徴とする撮像システム。

【請求項 10】

請求項 8 または 9 に記載の撮像システムにおいて、

前記画像認識部は、前記カメラのそれぞれの撮像画像の間の特徴点のエピポーラ線が平行になるように、撮像画像を補正する

ことを特徴とする撮像システム。

【請求項 11】

請求項 8 または 9 に記載の撮像システムにおいて、

キャリブレーション部は、前記前記カメラのそれぞれの撮像画像から算出され、エッジ点数に対する有効な視差の数を表わす有効視差数の比である視差密度が、所定値以上になるように、前記カメラのレンズ位置を変更して前記カメラの撮像画像を取得する

ことを特徴とする撮像システム。

【請求項 12】

請求項 8 から 11 のいずれか一項に記載の撮像システムにおいて、

前回の撮像時のカメラパラメータをカメラ設定値ごとに記憶するパラメータ初期値記憶部を有し、

前記キャリブレーション部は、前記パラメータ初期値記憶部のカメラパラメータを初期値にして推定処理を行う

ことを特徴とする撮像システム。

【請求項 13】

請求項 8 に記載の撮像システムにおいて、

前記カメラのレンズ位置が変更された際に、実際のレンズ位置が前記カメラから応答され、前記カメラからの応答値を記憶するカメラ設定値記憶部を有し、

前記キャリブレーション部は、前記カメラ設定値記憶部に記憶されたレンズ位置に基づいて、カメラパラメータを推定する

ことを特徴とする撮像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ステレオカメラおよび撮像システムにおける、カメラキャリブレーションおよびカメラ制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

対象物の 3 次元計測や立体像の撮影を行う装置やシステムとして、対象物を複数の異なる方向から撮影することにより、対象物の奥行き方向の情報を記録するステレオカメラがある。

このステレオカメラや、複数の撮像装置を有して 3 次元計測処理を行う撮像システムの中には、ズームレンズを備えるものがある。特許文献 1 には、ズームレンズを備えたステレオ撮像装置において、被写体の距離計測を行う際に、3 次元計測に適したズーム制御を行う技術が開示されている。

【0003】

詳しくは、特許文献 1 には、監視者の操作に応じた制御データをステレオ撮像制御部へ送信し、ステレオ撮像制御部で制御データに応じて撮像部のズーム制御と撮像部のパン制御及びチルト制御を行うことが可能であり、任意の焦点距離すなわち画角、視野すなわち画枠で、フレームアウトを生じさせることなく、撮影を行うことが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2011 - 176868 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

上記の先行技術によれば、ステレオカメラは、被写体に応じた画角や視野、検出精度で3次元形状をモニタリングすることができる。

しかし、ステレオカメラのズーム機構やパン/チルト機構が、様々な環境の影響を受けて工場出荷時からズレが生じることは考慮されていない。このため、環境や時間経過によってモニタリング結果の精度が低下することがある。

また、治具等でステレオカメラ装置を設置した際に、接触面での圧力により筐体に歪みが生じる場合や、温度などによって筐体素材が膨張収縮する場合や、振動などによって、長時間を経て取り付け誤差が生じる場合も考慮されていない。

10

【0006】

また、ステレオカメラや複数の撮像装置を有する撮像システムでは、2つのカメラや複数の撮像装置の撮像情報に基づいて、3次元計測や立体像の撮影をおこなっており、撮像装置の特性差の変化についても考慮する必要がある。

【0007】

本発明は、上記の問題を解決するためになされたものであって、ズームやパン/チルト等のカメラ設定を制御可能な機構を有するステレオカメラ等の撮像システムにおいて、カメラ設定が変化しても、ステレオカメラや撮像システムの計測精度の維持することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0008】

前記課題を解決するため、本願発明の少なくとも2つのカメラを有するステレオカメラは、カメラの操作指示により前記カメラのレンズ位置が変更された際に、前記カメラのカメラパラメータを推定するようにした。

また、本願発明の撮像システムは、少なくともふたつのカメラと、前記カメラの少なくともレンズ位置を制御するカメラ制御部と、前記カメラ制御部により前記カメラの少なくともレンズ位置が移動されたときに、前記カメラのカメラパラメータ推定するキャリブレーション部と、前記カメラパラメータに基づいて前記カメラの撮像画像の3次元復元を行う画像認識部と、を備えるようにした。

【発明の効果】

30

【0009】

本発明によれば、動的にカメラキャリブレーションを実行可能なため、ステレオカメラの複数の撮像装置の経年変化や外的要因による変化に対しても、精度の低下のないステレオカメラや撮像システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【0010】**

【図1】実施形態のステレオカメラの構成を示す図である。

【図2】実施形態のステレオカメラや撮像システムの処理概要を示す図である。

【図3】カメラの内部構成を示す図である。

【図4】カメラ制御部の処理フローを示す図である。

40

【図5】パラメータ初期値の構成の一例を示す図である。

【図6】ステレオカメラの画像データの補正を説明する図である。

【図7】ステレオカメラや撮像システムの制御フロー図である。

【図8】視差密度の評価によるステレオカメラの画像データの補正を説明する図である。

【図9】任意方向の特徴点検索をおこないキャリブレーションする際の処理フローを示す図である。

【図10】撮像画像の特徴点探索の様子を表わす図である。

【図11】ステレオカメラの構造の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】**【0011】**

50

以下、実施形態のステレオカメラを、図面を参照しながら説明する。

まず、対象物を複数の異なる方向から撮影することにより対象物の奥行き方向の情報を算出する、ステレオカメラ等の撮像システムの座標表現について説明する。対象物の世界座標 (X_w、Y_w、Z_w) と画像座標 (u、v) とは、つぎの (数 1) の関係で表わすことができる。

【数 1】

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{KD} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

10

【0 0 1 2】

ここで、 λ は定数であり、パラメータ行列 K はカメラの内部パラメータを表わし、パラメータ行列 D はカメラの外部パラメータを表わしている。

パラメータ行列 K は、焦点距離を f、アスペクト比を a、スキューを s、画像座標の中心座標を (u_c、v_c) とすると、(数 2) のように表わされる。

【数 2】

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f & sf & v_c & 0 \\ 0 & af & u_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

20

【0 0 1 3】

また、パラメータ行列 D は、(数 3) のように表わされる。(数 3) の (r₁₁、r₁₂、r₁₃、r₂₁、r₂₂、r₂₃、r₃₁、r₃₂、r₃₃) はカメラの向き (レンズ光軸の方向) を表わし、(t_x、t_y、t_z) はカメラ設置位置 (レンズの中心座標) の世界座標を示している。

【数 3】

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0 0 1 4】

なお、外部パラメータのカメラの向きを示す (r₁₁、r₁₂、r₁₃、r₂₁、r₂₂、r₂₃、r₃₁、r₃₂、r₃₃) をオイラー角により定義すると、カメラの設置角度であるパン、チルト、ロールの 3 個のパラメータによって外部パラメータを表わすことができる。

40

そのため、世界座標 (X_w、Y_w、Z_w) と画像座標 (u、v) の対応付けのために必要なカメラパラメータ数は、5 個の内部パラメータと 6 個の外部パラメータを合計した 11 個のパラメータとなる。

【0 0 1 5】

ところで、(数 3) において、カメラパラメータ行列 D は定数倍しても意味が不変であることから、 λ とパラメータ行列 K、D を 1 つの行列に整理してつぎの (数 4) のように表現しても良い。

【数 4】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0016】

さらに、(数 4)において、 c_{34} を 1 に固定すると未知のパラメータ数は 11 個となる。これら 11 個のパラメータを求めることは、(数 1)における 5 つの内部パラメータと 6 つの外部パラメータを求めることと同義である。

最終的には、(数 1)は(数 5)のように変形でき、(数 5)における行列 C が最終的に求めるカメラパラメータとなる。

【数 5】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \left(C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & 1 \end{bmatrix} \right)$$

【0017】

このカメラパラメータを算出するために、キャリブレーション方法が考案されている。一般的なキャリブレーションでは、キャリブレーションパターンの位置を様々な方向から撮影し、理想的な見え方と、実際に撮影した画像との比較演算、例えば最小 2 乗誤差をとるように内部パラメータや外部パラメータの最適解を求めている。

代表的には、“Zhang の方法” (Z. Zhang, “A flexible new technique for camera calibration”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.) により、カメラパラメータを算出することができる。

【0018】

ところで、カメラのズーム量を変えると焦点距離が変わるために、上記のパラメータ行列 K が変わる。また、カメラのパン/チルト動作によりカメラの向きが変わると、パラメータ行列 D が変わる。このため、ズームやパン/チルトのカメラの設定が変わるたびに、キャリブレーションを行う必要がある。

上記の“Zhang の方法”では、キャリブレーション用のチャートを使用するため、カメラの操作性がよくない。

実施形態のステレオカメラや撮像システムでは、以下に説明するように、キャリブレーション用のチャートなしにセルフカメラキャリブレーションするようにした。

【0019】

図 1 は、実施形態のステレオカメラの構成を示す図である。

実施形態のステレオカメラは、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) の 2 つの撮像装置により、測定対象物あるいは測定対象のエリアを撮像している。実施形態のステレオカメラでは、特に、検出対象に制限はなく、人物や車両、船舶、ロボットなどの移動物体や、特定の物体を検出方法に用いてもよい。

また、実施形態では、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) の 2 台の撮像装置の構成について説明するが、これに限らず、複数の撮像装置をもつ構成でもよい。

【0020】

さらに、実施形態のステレオカメラは、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) を制御するカメラ制御部 30 と、カメラパラメータの算出を行うキャリブレーション部 40 と

10

20

30

40

50

、画像認識部 50 から構成され、カメラ設定値の記憶部 60、パラメータ初期値の記憶部 61、補正データの記憶部 62 を備える。

【0021】

図 1 に示す実施形態のステレオカメラは、カメラ 1 (10a)、カメラ 2 (10b)、カメラ制御部 30、キャリブレーション部 40、画像認識部 50、カメラ設定値の記憶部 60、パラメータ初期値の記憶部 61、補正データの記憶部 62 を一体に構成しているが、これに限らず、ステレオカメラは、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) とカメラ制御部 30 とで構成し、キャリブレーション部 40 や画像認識部 50 を他の情報処理装置で構成してもよい。

【0022】

つぎに、図 3 により、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) (以下、総称してカメラ 10 と記す) の内部構成について説明する。

カメラ 10 は、カメラ 10 の向きや画角を制御する機構である駆動部 11 と、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) や CCD (Charge Coupled Device) などの画像センサを搭載する撮像部 12 から構成される。

【0023】

駆動部 11 には、撮像部 12 のレンズ機構 (図示せず) を駆動してレンズの移動によって焦点距離を変更し、カメラの撮像範囲である画角を変更するズーム制御部 201 と、カメラ 10 の垂直方向の向きを制御するチルト制御部 202 と、カメラ 10 の水平方向の向きを制御するパン制御部 203 とが設けられている。

これにより、カメラ 10 ごとに、所定の測定対象物あるいは測定対象のエリアを撮像することができる。

【0024】

図 1 にもどり、実施形態のステレオカメラや撮像システムは、カメラ制御部 30 が駆動部 11a、11b を制御して、上記のカメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) により測定対象物の画像データを取得する。そして、ステレオカメラは、2つの画像データから求める視差データに基づいて、測定対象物とカメラとの距離データを算出して、3次元計測を行う。

【0025】

また、実施形態のステレオカメラは、カメラパラメータを算出するキャリブレーション部 40 と 3次元計測や立体像の処理を行う画像認識部 50 を備えている。キャリブレーション部 40 と画像認識部 50 は、通信路 20 を介して、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) に接続し、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) から画像データを取得する。

【0026】

画像認識部 50 の処理結果は、図示していない液晶表示装置や CRT (Cathode Ray Tube) 表示装置など端末装置に表示することができる。また、実施形態のステレオカメラの RGB (Red-Green-Blue) モニタ出力をもつ構成や、または、ネットワーク経由でのデータファイル出力などを行う構成としてもよい。

【0027】

また、実施形態のステレオカメラは、カメラ設定値の記憶部 60 と、パラメータ初期値の記憶部 61 と、補正データの記憶部 62 とを備える。詳細を後述するが、キャリブレーション部 40 は、カメラ設定値の記憶部 60 と、パラメータ初期値の記憶部 61 とを参照して、カメラのキャリブレーション処理を行い、算出したカメラパラメータに基づく補正データを補正データの記憶部 62 に記録する。

【0028】

そして、画像認識部 50 は、補正データの記憶部 62 を参照して、取得したカメラの画像情報の画像座標から、測定対象物の世界座標を求めて、3次元測定や立体像の処理を行う。詳しくは、画像認識部 50 は画像取得部 51 により処理用の画像を取得し、補正部 52 はキャリブレーション部 40 で取得したカメラパラメータを用いて、画像の歪みなどを

10

20

30

40

50

補正し、画像処理部 53 はこの補正された画像に基づいて、ステレオ処理の視差計算や映像解析の処理を実行する。

【0029】

ここで、図 2 により、実施形態のステレオカメラや撮像システムの処理の概要について説明する。図 2 は、カメラ 1 (10a) とカメラ 2 (10b) の 2 台のカメラで撮影した 1 回分の撮像データの処理を示すフローであり、連続して撮像する場合には、図 2 のフローが繰り返し処理される。

【0030】

まず、カメラ 1 およびカメラ 2 によって撮影した画像データを取得する (S21)。そして、操作指示されたレンズ位置等のカメラ設定値を取得する (S22)。

つぎに、カメラ設定値が、前回撮像処理したときの値から変更されたか否かを判定し (S23)、変更されていた場合には (S23 の Yes)、カメラ設定値に対応する初期パラメータに基づいてカメラパラメータを推定するキャリブレーション処理を行う (S24)。

ステップ S23 で、カメラ設定値が、変更されていなかった場合には (S23 の No)、ステップ S25 に進む。

【0031】

ここで、ステップ S24 におけるカメラキャリブレーションの方法は、「Q.T.Luong and O.D.Faugeras, "The Fundamental Matrix: Theory, Algorithms and Stability Analysis"」のような、特徴点を抽出し、それに従い、基礎行列を求める方法によって実施する。ここで取得したパラメータを用いて、たとえば視差密度を指標として推定値を評価する。そして、一定以上の評価値となるまで、勾配法やニュートン法、Levenberg-Marquardt 法などの任意の最適化手法で繰り返し処理を行い、処理を終了すればよい。初期パラメータは、この繰り返し処理の初期値として利用される。

【0032】

このように、ステップ S24 で、実施形態のステレオカメラや撮像システムは、カメラ 1 およびカメラ 2 の操作指示によるカメラ設定値の変更に応じて動的にキャリブレーションを行い、カメラパラメータを更新する。

これにより、ステレオカメラの画角や向きを変更しても、測定精度が変動することがない。

また、動的にキャリブレーションが行われるので、ステレオカメラや撮像システムの経年変化や外的要因による変化に対しても追従することができる。

さらに、動的キャリブレーションに対応することで、ズーム範囲を広げても誤差の少ない測定を行えるので、ステレオカメラや撮像システムの適用範囲を広げることができる。

【0033】

ステップ S25 では、取得したカメラパラメータを用いてレンズ歪み補正や倍率補正や平行化処理などの各種の補正処理を画像データに対して行う。

ステップ S26 では、ノイズ除去を行うためのローパスフィルタ処理等の前処理や、エッジ検出等の特徴量演算処理、正規化相互相関や差分絶対値和等のブロックマッチングや space-sweep 法等の各種の相関演算処理を用いてステレオ画像間の対応点検索を行い視差情報を取得するステレオマッチング処理、ランクフィルタ処理やラベリング等により特異点の除去を行う後処理などを画像データに対して行い、最終的に取得した視差情報からカメラ情報を用いて被写体の 3 次元情報を計測する。

【0034】

つぎに、カメラ制御部 30 の動作の詳細を、図 3 のカメラの内部構成図を参照しながら、図 4 のカメラ制御部 30 の処理フローにより説明する。

まず、カメラ制御部 30 は、ステレオカメラのカメラ 1 (10a) やカメラ 2 (10b) の向きや画角等のカメラ操作指示 (レンズの移動量やパン/チルト角度等) を取得する (S31)。このカメラ操作指示は、ステレオカメラの調整機構の操作設定や、監視システム等のアプリケーションプログラムによって設定される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

そして、ステップ S 3 1 で取得した操作指示に対応する駆動部 1 1 のチルト制御部 2 0 2 の設定値とパン制御部 2 0 3 の設定値とズーム制御部 2 0 1 の制御値を算出し、駆動部 1 1 a と駆動部 1 1 b に送信する (S 3 2) 。

【 0 0 3 6 】

その後、カメラ制御部 3 0 は、ズーム制御部 2 0 1 とチルト制御部 2 0 2 とパン制御部 2 0 3 の設定動作が終了した駆動部 1 1 a と駆動部 1 1 b から、実際に動作した角度やレンズ位置などの動作位置の応答値を受信する (S 3 3) 。これは、制御値を指定した場合でも、カメラのズーム機構やパン/チルト機構のパラツキや経年変化によって移動量などの誤差があるため、カメラ側の実際の設定状態を取得して、精度向上を図るためである。

10

そして、受信した応答値は、ステレオカメラのカメラ 1 (1 0 a) やカメラ 2 (1 0 b) の外部パラメータに相当するデータとして、カメラ設定値の記録部 6 0 に記録される (S 3 4) 。

【 0 0 3 7 】

つぎに、カメラパラメータを推定する図 1 のキャリブレーション部 4 0 について説明する。

図 1 に示すように、キャリブレーション部 4 0 は、撮影対象物を複数の異なる方向から撮像するように配置されたカメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) とから、撮像した画像情報を取得する画像取得部 4 1 と、カメラ設定値の記録部 6 0 とパラメータ初期値の記録部 6 1 のデータを取得するデータ取得部 4 2 と、カメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) のそれぞれのカメラのカメラパラメータを推定するパラメータ推定部 4 3 と、から構成される。

20

【 0 0 3 8 】

パラメータ初期値 6 1 には、パラメータ推定部 4 3 でカメラパラメータを推定する際の、初期値が記録されている。図 5 に、パラメータ初期値 6 1 の構成の一例を示す。

図 5 のパラメータ初期値 6 1 は、ステレオカメラのカメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) ごとに、所定のカメラ設定値に対応してカメラパラメータの初期値が記憶されている。例えば、レンズ位置 5 0 0 に対して、焦点距離 5 0 1 が与えられ、そのほかに画像のスケール 5 0 2 、複数のカメラのおオフセット 5 0 3 などが設定される。

【 0 0 3 9 】

30

また、詳細は後述するが、パラメータ初期値 6 1 には、キャリブレーション部 4 0 で推定されたカメラパラメータが、カメラ設定 (レンズ位置 5 0 0) に対応して記憶されている (5 0 4) 。カメラ設定に変更がない場合には、キャリブレーションを行うことなく、パラメータ初期値 6 1 に記憶されている推定カメラパラメータ 5 0 4 を参照すればよい。

カメラ設定が変更された場合には、前回撮像時のカメラ設定に対応するカメラパラメータをパラメータ初期値 6 1 の推定カメラパラメータから取得し、これをキャリブレーションの初期値とする。これにより、推定計算を安定して行うことができる。

【 0 0 4 0 】

つぎに、図 2 のステップ S 2 5 のカメラパラメータに基づいて画像データを補正する処理について説明する。

40

図 6 は、ステレオカメラの画像データの補正を説明する図であり、上段は、ステレオカメラのカメラ 1 (1 0 a) の画角がカメラ 2 (1 0 b) の画角より大きい場合の撮像画像を示し、下段は、カメラ 2 (1 0 b) の画角に合わせて、カメラ 1 (1 0 a) の撮像画像の平行化補正した場合を示している。

【 0 0 4 1 】

ステレオカメラの撮像画像の視差情報から距離を算出するには、カメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の画角が等しい時の視差情報を求める必要がある。このカメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の画角は、推定したカメラパラメータ (焦点距離) を比較することにより判定できる。

【 0 0 4 2 】

50

そこで、図2のステップS25では、カメラ1(10a)とカメラ2(10b)の推定したカメラパラメータ(焦点距離)を比較して、カメラ1(10a)とカメラ2(10b)とで画角が異なると判定した場合に、一方の撮像画像の画角に合わせて、他方の撮像画像を補正する。

このときの補正は、カメラ1(10a)とカメラ2(10b)の撮像画像の任意の特徴点探索によって同一画角内の特徴点の対応づけを行い、特徴点のエピポーラ線が平行となるように、撮像画像の平行化補正を行う。

このとき、算出した補正データ(補正行列)は、補正データ62(図1参照)に記憶される。

【0043】

10

そして、図2のステップS26では、平行化補正したカメラ1(10a)の画像情報と、カメラ2(10b)で撮像した画像情報を用いて視差情報を求め、この視差情報から距離算出を実行するか、または、推定したカメラパラメータと平行化補正する補正行列とにより、カメラ1(10a)とカメラ2(10b)の撮像画像の3次元復元を行う。

【0044】

つぎに、実施形態のステレオカメラや撮像システムの他のキャリブレーションについて説明する。なお、説明するステレオカメラや撮像システムの構成は、図1の構成と共通であるため、ここでは説明を省略する。

前述のステレオカメラや撮像システムでは、推定したカメラパラメータに基づいて撮像画像情報を補正した後に、距離算出や撮像画像の3次元復元を行っていたが、つぎに説明するステレオカメラや撮像システムでは、撮像画像の評価指標を評価し、所定の評価値を満たすように、カメラ1(10a)とカメラ2(10b)のカメラ制御値を変更して撮像を行い、距離算出や撮像画像の3次元復元を行う。

20

【0045】

図7の制御フローにより、本実施形態の処理を詳細に説明する。

まず、カメラ1およびカメラ2によって撮影した画像データを取得する(S71)。そして、操作指示されたレンズ位置等のカメラ設定値を取得する(S72)。

【0046】

つぎに、カメラ設定値が、前回撮像処理したときの値から変更されたか否かを判定し(S73)、変更されていない場合には(S73のNo)、ステップS81に進む。この場合には、前回撮像処理で推定したカメラパラメータを用いてカメラ1およびカメラ2の撮像画像を基に3次元復元を行う(S81)。カメラパラメータは、初期パラメータ61を参照して取得できる。

30

【0047】

カメラ設定値が、変更されていた場合には(S73のYes)、撮像画像の視差密度を算出するために、カメラ1およびカメラ2の画像データにおいて、対応するエッジ情報を抽出する(S74)。

そして、エッジ点数Eに対する視差密度Dを、エッジ点数に対する有効な視差の数を表わす有効視差数dを用いて、次式のように定め、視差密度Dを算出する(S75)。

$$D = d / E \quad (\text{数6})$$

40

この視差密度Dによれば、補正パラメータの精度、ステレオ処理における平行化の評価を行うことができる。

【0048】

また、この視差密度については、実測値と取得した視差画像から得られる距離データの誤差を評価することによって、視差密度の評価値を得ることができる。

また、カメラ設定値もしくはカメラパラメータのズレが生じた場合は、撮像画像から視差情報が得られない場合がある。また、撮像画像が一定以上のマッチング度合いでない場合は、撮像画像から視差情報を求められない。視差密度Dによる評価は、これらの撮像画像の性質を利用したものとなっている。

【0049】

50

ステップ S 7 6 で、視差密度 D を評価し、視差密度が所定値以上であれば、ステップ S 8 0 に進む。つまり、視差密度 D が所定値以上であれば、カメラ 1 およびカメラ 2 の撮像画像から精度の高い視差画像および距離データを取得することが可能となり、または、高精度の 3 次元復元を行うことができると判定する。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 8 0 では、カメラ 1 とカメラ 2 の撮像画像を基にカメラパラメータを推定する。このときのカメラパラメータの推定は、図 2 の処理フローのステップ S 2 4 のキャリブレーション処理と同様に行えばよい。また、推定したカメラパラメータは、パラメータ初期値 6 1 に記録する。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 7 6 で、視差密度 D を評価し、視差密度が所定値未満であれば、つぎのステップ S 7 7 からステップ S 7 9 のカメラの再調整処理を行う。

このカメラの再調整処理では、まず、視差密度 D が大きくなるようにカメラ設定値を補正する (S 7 7)。そして、図 4 で説明したカメラ制御フローに従って、補正したカメラ設定値をカメラ操作指示としてカメラ制御部 3 0 に通知して、カメラ制御部 3 0 からカメラ 1 (1 0 a) またはカメラ 2 (1 0 b) に、カメラ制御値を送信する (S 7 8)。

【 0 0 5 2 】

そして、カメラ 1 (1 0 a) またはカメラ 2 (1 0 b) のレンズ位置やパン / チルト角度等が修正された後に、カメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) より画像データを取得し (S 7 9)、ステップ S 7 4 に戻る。

ステップ S 7 6 で、視差密度 D が所定値以上になるまで、上記のカメラ設定値の補正・視差密度 D の評価を繰り返す。

【 0 0 5 3 】

これにより、カメラ 1 およびカメラ 2 の撮像画像から精度の高い視差画像を取得することが可能となり、または、高精度の距離データの算出や 3 次元復元を行うことができる。

図 2 の処理フローとは、キャリブレーション処理部で、カメラ制御部を介して、カメラの調整を行う点が異なり、図 2 の処理フローにより視差密度の高い撮像画像を得ることができ、3次元復元の精度を高めることができる。

【 0 0 5 4 】

図 8 は、上記の視差密度 D が所定値以上になるまで、カメラ設定値の補正と視差密度 D の評価を繰り返して撮像を行う処理における撮像画像を説明する図である。図 8 の上段は、カメラ設定値の補正前のステレオカメラのカメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の撮像画像と、撮像画像から得られる視差画像を示している。カメラ設定値の補正前は、ステレオカメラのカメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の撮像画像のマッチング度合いが小さく、破線で表わすように有効な視差画像を得ることができない。

【 0 0 5 5 】

図 7 で説明した処理フローにより、カメラ 1 (1 0 a) のカメラ設定値が補正されると、図 8 の下段に示すように、カメラ 1 (1 0 a) の撮像画像が変化して、カメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の撮像画像の視差画像を得ることができる。

図 8 では、カメラ設定値を補正してカメラ 1 (1 0 a) の撮像画像を変化させているが、カメラ 2 (1 0 b) のカメラ設定値を補正してもよい。また、カメラ 1 (1 0 a) とカメラ 2 (1 0 b) の両方のカメラ設定値を補正してもよい。

【 0 0 5 6 】

一般的に、ステレオカメラの処理では、ハードウェアの演算リソースを考慮して、平行化ステレオによる処理を行っている。例えば、図 2 の処理フローでは、ステップ S 2 5 で平行化補正することを示している。

しかし、上記の処理に限定されるものではなく、演算リソースが必要となるが、カメラ設定値が変更されキャリブレーションを行う時に、任意方向の特徴点探索による視差計算を行うようにしてもよい。

【 0 0 5 7 】

10

20

30

40

50

図9は、任意方向の特徴点検索をおこないキャリブレーションする際の処理フローを示している。

まず、カメラ1およびカメラ2より撮影した画像データを取得する(S91)。そして、レンズ位置等のカメラ設定値を取得する(S92)。

【0058】

つぎに、カメラ設定値が、前回撮像処理したときの値から変更されたか否かを判定し(S93)、変更されていない場合には(S93のNo)、ステップS96に進む。この場合には、前回撮像処理で推定したカメラパラメータを用いてカメラ1およびカメラ2の撮像画像を基に3次元復元を行う(S96)。カメラパラメータは、初期パラメータ61を参照して取得する。

10

【0059】

カメラ設定値が変更されている場合には(S93のYes)、カメラ1とカメラ2の撮像画像を比較して特徴点探索を実行する(S94)。このとき水平方向のみ探索するのではなく、水平方向に所定幅、あるいは、画面全面の探索を行い、2つの撮像画像間でマッチングする特徴点を探索する。

その後、カメラ設定値に対応する初期パラメータに基づいてカメラパラメータを推定するキャリブレーション処理を行う(S95)。このキャリブレーション処理は、図2のステップS24の処理と同様に行われる。

【0060】

そして、ステップS96で、前回撮像処理で推定した推定したカメラパラメータまたはステップS95で推定したカメラパラメータを用いて、カメラ1およびカメラ2の撮像画像を基に3次元復元を行う。

20

図10は、カメラ1およびカメラ2の撮像画像の特徴点探索の様子を表わす図である。平行化ステレオの処理を行っていないため、下段の図に示すように探索方向に傾きが生じた状態になっている。

【0061】

つぎに、本実施形態のキャリブレーション制御方法が、特に有用なステレオカメラの構造の一例について図11を用いて説明する。

一般的なステレオカメラでは、カメラ1とカメラ2の左右のカメラの位置関係を、横並びに設置し、カメラの光軸が平行で同じ高さの位置に固定して配置する平行等位の状態に構成することが多い。そして、カメラ1とカメラ2の中央で回転支持する構造とし、ステレオカメラを左右にパンする場合には、カメラ1とカメラ2とが一体となってカメラ1とカメラ2の中央で回転するものが多い。

30

【0062】

上記の構造では、カメラ1とカメラ2が回動するための領域が必要となるため、ステレオカメラの小型化に問題がある。特に、カメラ1とカメラ2の間の距離を大きくして計測精度の向上を図る場合には、大きな回動領域が必要となる。

本実施形態のステレオカメラでは、図11に示すように、カメラ1とカメラ2のそれぞれが、カメラを中心に独立に回動する構造とした。これにより、カメラの回転領域を少なくしてステレオカメラを小型化できる。

40

【0063】

本実施形態のカメラ1とカメラ2が正面を向いている場合には、カメラ1とカメラ2の撮像面は、同一平面となり、平行等位の状態となる。しかし、図11のように、カメラ1とカメラ2を正対方向から所定角度分回動すると、カメラ1の撮像面とカメラ2の撮像面は、同一平面に構成されなくなる。このため、平行等位の状態とならずに、カメラ1とカメラ2の画角が異なり、有効な視差情報を取得できなくなる。

【0064】

この時、本実施形態のステレオカメラでは、撮像方向(カメラ設定)が変化した時にカメラ1とカメラ2の画角が同じになるようにズーム制御して、カメラ1またはカメラ2のキャリブレーションを行っている。これにより、カメラ1とカメラ2が平行等位カメラの

50

状態と見なせるようになるので、カメラ1とカメラ2の回動方向によらずに、距離情報を取得や三次元復元を行うことができる。

【0065】

また、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。上記の実施形態は本発明で分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。

【符号の説明】

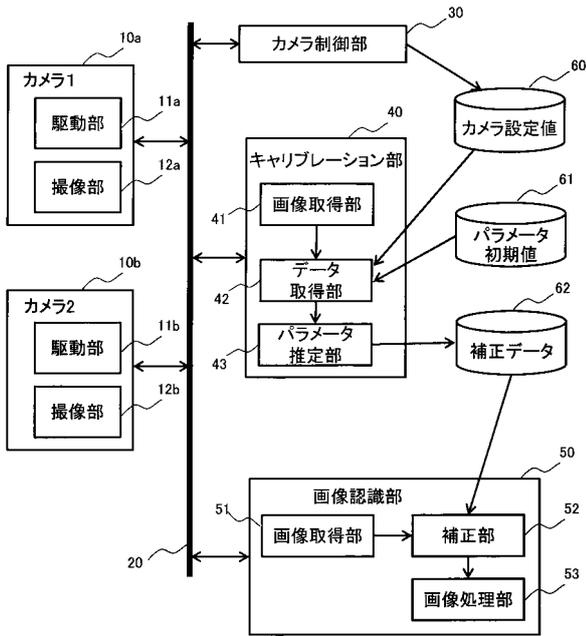
【0066】

- 10 a カメラ1
- 10 b カメラ2
- 11 a、11 b 駆動部
- 12 a、12 b 撮像部
- 30 カメラ制御部
- 40 キャリブレーション部
- 41 画像取得部
- 42 データ取得部
- 43 パラメータ推定部
- 50 画像認識部
- 51 画像取得部
- 52 補正部
- 53 画像処理部
- 60 カメラ設定値記憶部
- 61 パラメータ初期値記憶部
- 62 補正データ記憶部

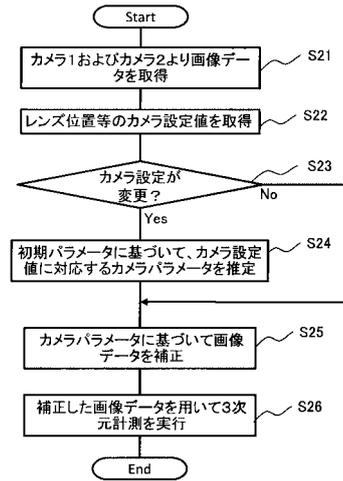
10

20

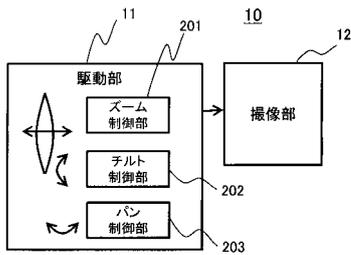
【図1】



【図2】



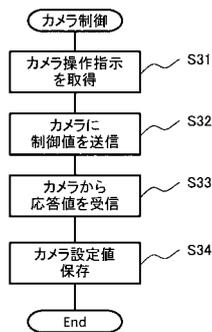
【図3】



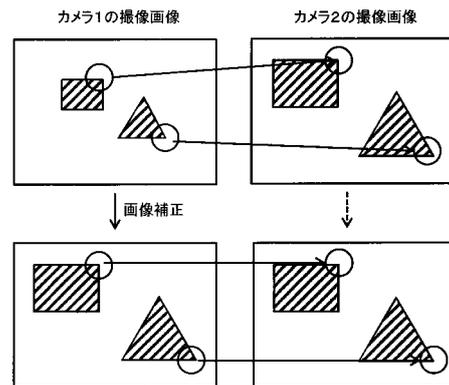
【図5】

500 レンズ位置	501 焦点距離	502 スケール	503 オフセット	504 推定カメラパラメータ
l1	f1 mm	s1	o1	parm1
l2	f2 mm	s2	o2	Parm2
...

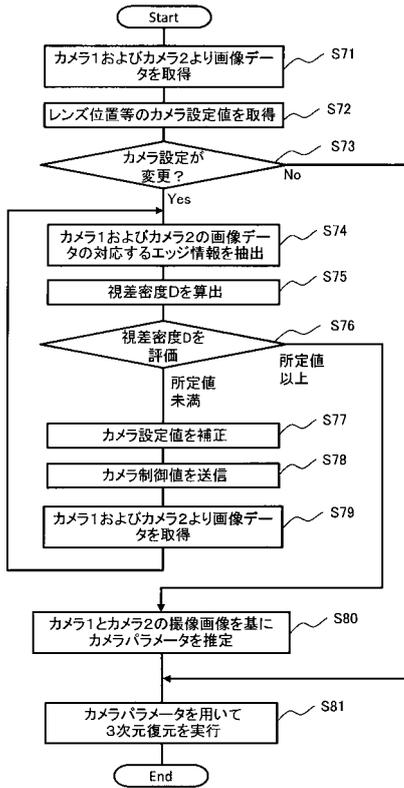
【図4】



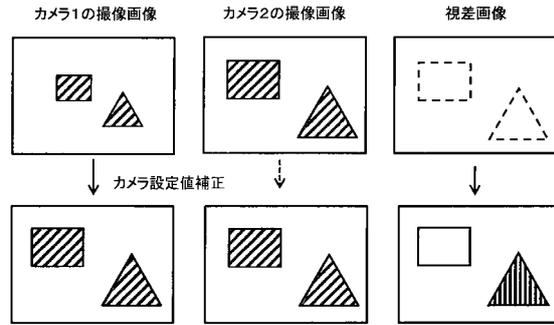
【図6】



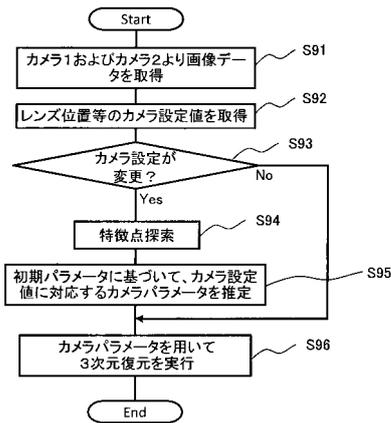
【 図 7 】



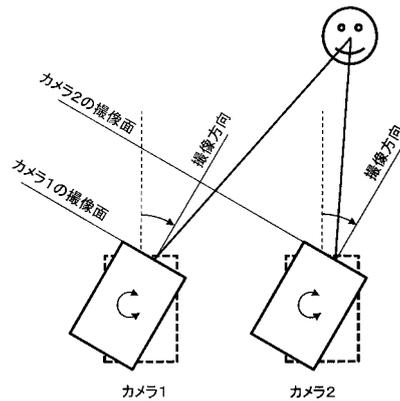
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 1 】



【 図 1 0 】

