

(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2009-139246

(P2009-139246A)

(43) 公開日 平成21年6月25日(2009.6.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 B 11/00 (2006.01)	G O 1 B 11/00 H	2 F O 6 5
G O 6 T 1/00 (2006.01)	G O 6 T 1/00 3 1 5	5 B O 5 7
H O 4 N 5/225 (2006.01)	H O 4 N 5/225 Z	5 C 1 2 2

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-316511 (P2007-316511)	(71) 出願人	000005326
(22) 出願日	平成19年12月7日 (2007.12.7)		本田技研工業株式会社
			東京都港区南青山二丁目1番1号
		(74) 代理人	100064414
			弁理士 磯野 道造
		(74) 代理人	100111545
			弁理士 多田 悦夫
		(72) 発明者	青山 千秋
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		Fターム(参考)	2F065 AA04 BB15 DD06 DD07 EE08
			FF05 JJ03 JJ05 JJ26 LL10
			LL30 QQ23 QQ28 QQ31 UU05
			UU07

最終頁に続く

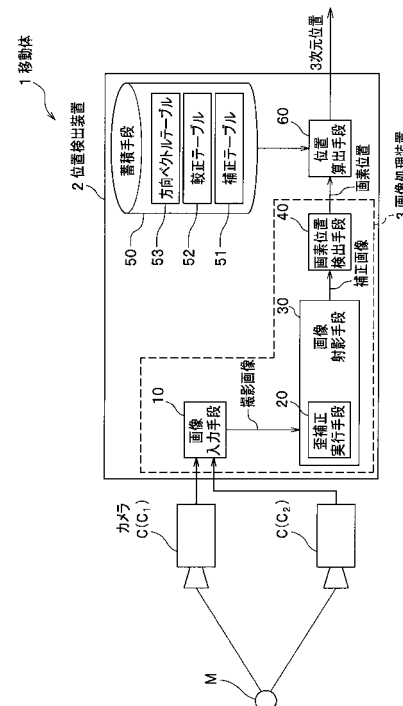
(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび位置検出装置並びにそれを備えた移動体

(57) 【要約】

【課題】ステレオ視により広角撮影した撮影画像を画像処理する際に、メモリ使用量および処理時間を低減することができる画像処理装置を提供すること。

【解決手段】画像処理装置3は、対象物Mを広角撮影可能で直線上に配置された2つのカメラCで撮像した画像により、対象物Mの位置を検出するために用いる情報として、対象物Mの画素位置を求めるために、2つのカメラCで撮像された画像を入力する画像入力手段10と、各カメラCから入力された画像を、その歪を補正した状態で、2つのカメラCの配置された直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影手段30と、円筒面上に射影された画像において、対象物Mに対応する画素位置を検出する画素位置検出手段40とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物を広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求める画像処理装置であって、

前記 2 つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力手段と、

前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラが配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影手段と、

前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出手段とを備えたことを特徴とする画像処理装置。

10

【請求項 2】

前記画像射影手段は、前記入力された画像を、前記画像の歪を補正した状態で前記円筒面上に射影することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

対象物を広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求める画像処理装置の画像処理方法であって、

前記画像処理装置は、

前記 2 つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力ステップと、

前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラの配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影ステップと、

前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出ステップとを実行することを特徴とする画像処理方法。

20

【請求項 4】

対象物を広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求めるために、コンピュータを、

前記 2 つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力手段、

前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラの配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影手段、

前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出手段、

として機能させることを特徴とする画像処理プログラム。

30

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 2 に記載の画像処理装置と、

入射光線の方向及び基準位置から前記入射光線への変位量とを関連付けた較正情報を前記カメラ毎に蓄積した蓄積手段とを備え、

前記各カメラで対象物を撮像した各画像に対して前記画像処理装置で対応付けられた画素位置に基づいて、前記較正情報から、その画素位置に対応する入射光線の方向及びその変位量を取得し、この入射光線の方向及びその変位量を利用して、前記対象物の位置を算出することを特徴とする位置検出装置。

40

【請求項 6】

請求項 5 に記載の位置検出装置と、前記位置検出装置に対象物の撮影画像を出力する広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラとを設けた躯体と、

前記躯体を移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、対象物を複数のカメラで撮影した複数の撮影画像を処理する画像処理技術、および、画像処理結果により対象物の位置を検出する位置検出技術に関するものである。

50

【背景技術】

【0002】

従来、ロボット等の移動体が移動することによって生じる運動視差から立体感をつかむ運動立体視の分野では、投影面に応じた種類のレンズを用いて撮像された撮影画像を画像処理することで障害物等の対象物の三次元的な特徴を抽出する技術が知られている（特許文献1参照）。特許文献1に記載された画像処理方法は、動物の網膜の領域（受容野）に擬して、入力画像を切り分けて球面上の極変換を行うことで処理時間を低減する方法（受容野法）である。この受容野法では、投影面として、球面投影、円筒面投影、平面投影の3種類を規定している。

【0003】

ここで、球面投影は、球面上に投影するものであり、最も広い視野が得られ、魚眼レンズで等価の画像が得られる投影方式である。円筒面投影は、円筒面に投影するものであり、円筒の軸方向は限られた視野となるが、角度方向に広い視野が得られものであり、シリンドリカル・レンズで等価の画像が得られる投影方式である。平面投影は、平面状に投影するもので、視野が最も狭くなっており、標準／望遠レンズで等価の画像が得られる投影方式である。なお、特許文献1に記載された画像処理方法は、運動立体視に関するものであり、ステレオ画像から対象物の位置を精度よく検出するものではない。

【0004】

また、特許文献2には、2つのカメラを用いたステレオ画像を画像処理することで対象物の位置を検出する技術が記載されている。この特許文献2に記載された較正情報生成装置と位置検出装置とは、以下のように動作する。すなわち、特許文献2の較正情報生成装置は、各カメラで撮像された画素毎のキャリブレーションデータを測定してカメラ毎に較正情報（較正テーブル）を生成する。そして、位置検出装置は、左右2つのカメラを用いたステレオ画像と、各較正情報（較正テーブル）とに基づいて、撮像された画像の歪みを除去して対象物の位置を検出する。ここで、カメラのレンズとして、魚眼レンズのような広角レンズやその他のレンズを想定している。

【0005】

なお、左右2つのカメラを用いたステレオ画像は、左右のエピポーラ線が一致する平面に歪補正を行いながら中心射影になるように画面座標に変換されている。ここで、入射光線（光軸）の横（水平方向）の方位を α 、縦（鉛直方向）の方位を γ で示すと、画面での位置（ u 、 v ）は、式（1a）および式（1b）で示される。ここで、 k_1 、 k_2 は所定の定数である。

【0006】

$$u = k_1 \tan \alpha \quad \cdots \quad \text{式 (1a)}$$

$$v = k_2 \tan \gamma \quad \cdots \quad \text{式 (1b)}$$

【特許文献1】特開平5-165957号公報（段落0060～段落0061、図14）

【特許文献2】特開2004-309318号公報（段落0060、段落0077、図7）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来のステレオ視による画像処理方法では、入力画像が例えば魚眼レンズによって撮影された撮影画像であるときには、次のような不都合がある。

従来の画像処理法では、仮に、上下方向（鉛直方向）の入射角度で90度に近い高角の部分の画像まで利用しようとする場合、中心射影で平面に投影したときに、画像の解像度が相対的に高い中心部分（低角の部分）の画像が圧縮されてしまう。そのため、このような中心部分（低角の部分）の画像が圧縮された画像において、中心部分の画像を位置測定に用いるとその精度が低くなってしまふ。また、圧縮しなければ、低角の中心部分の画像の情報量は、高角の部分の画像の情報量より多いので、補完をする際に、低角の中心部分の画像の解像度に合わせると、解像度の低い周辺画像（高角の部分の画像）も同じように

10

20

30

40

50

補完してしまうため、メモリ使用および計算時間の無駄が発生してしまう。

【0008】

そこで、本発明では、前記した問題を解決し、ステレオ視により広角撮影した撮影画像を画像処理する際に、メモリ使用量および処理時間を低減することができる画像処理技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、前記目的を達成するために創案されたものであり、本発明のうち請求項1に記載の画像処理装置は、対象物を広角撮影可能で直線上に配置された2つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求める画像処理装置であって、前記2つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力手段と、前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラの配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影手段と、前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出手段とを備えたことを特徴とする。

【0010】

かかる構成によれば、画像処理装置は、画像射影手段によって、広角撮影可能な各カメラから入力された画像を、2つのカメラの配置された直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する。これにより、円筒面上に射影された画像は、円筒の軸線に垂直な方向において、入射角度の低い中心部分の画像から90度に近い高角の部分の画像まで均一に投影される。ここで、広角撮影可能なカメラには、魚眼レンズが含まれる。画像射影手段は、入力画像を円筒面上に射影するので、180度を超える入光角度（例えば、200度）の範囲まで撮影可能な魚眼レンズで撮影された入力画像も射影することができる。したがって、入射角度が例えば90度以上の高角の部分の画像まで利用しようとする場合に、円筒の軸線に垂直な方向において、中心部分（低角の部分）の画像が圧縮されるが、高角の部分の画像が伸長されるので、従来のように中心射影で平面に投影された画像を用いた場合と比べると、画像の情報量を均一化することができる。その結果、メモリ使用および計算時間を従来よりも低減することができる。なお、中心射影を用いた場合には、このような180度を超える入光角度に対応した部分を射影することはできない。

【0011】

そして、画像処理装置は、画素位置検出手段によって、円筒面上に射影された画像において、対象物に対応する画素位置を検出する。ここで、2つのカメラの配置された直線は、円筒の軸線と平行なので、円筒面上に射影された画像において、それぞれのエッジボーラインは直線となる。したがって、球面投影とは異なって円筒面に射影することで、従来の平面投影と同様に、ステレオマッチングにおいて直線上を探索することで、画素位置を容易に検出することができる。つまり、ステレオマッチングにおいては、円筒面に射影することによる余分なメモリ使用および計算時間は発生することがない。

【0012】

また、請求項2に記載の画像処理装置は、請求項1に記載の画像処理装置であって、前記画像射影手段が、前記入力された画像を、前記画像の歪を補正した状態で前記円筒面上に射影することを特徴とする。

【0013】

かかる構成によれば、画像処理装置は、画像射影手段によって、入力された画像を、その歪を補正した状態で円筒面上に射影する。これにより、標準レンズまたは望遠レンズを備えたカメラとは異なる広角撮影可能なカメラによる歪を補正した状態で入力画像を円筒面上に射影するので、射影された画像を用いることにより、ステレオ画像から対象物の位置を精度よく検出することが可能となる。ここで、歪を補正した状態で射影する方法は、例えば、射影と同時に歪みを補正してもよいし、入力画像から予め歪みを補正した画像を射影することもできる。

【0014】

また、請求項 3 に記載の画像処理方法は、対象物を広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求める画像処理装置の画像処理方法であって、前記画像処理装置が、前記 2 つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力ステップと、前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラの配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影ステップと、前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出ステップとを実行することを特徴とする。

【0015】

かかる手順によれば、画像処理装置は、画像射影ステップにて、各カメラから入力された画像を、2 つのカメラの配置された直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影し、画素位置検出ステップにて、円筒面上に射影された画像において、対象物に対応する画素位置を検出する。したがって、入射角度が例えば 90 度以上の高角の部分の画像まで利用しようとする場合に、従来のように中心射影で平面に投影された画像を用いた場合と比べると、画像の情報量を均一化することができる。その結果、メモリ使用および計算時間を従来よりも低減することができる。また、ステレオマッチングにおいては、円筒面に射影することによる余分なメモリ使用および計算時間は発生することがない。

【0016】

また、請求項 4 に記載の画像処理プログラムは、対象物を広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラで撮像した画像により、前記対象物の位置を検出するために用いる情報として、前記対象物の画素位置を求めるために、コンピュータを、前記 2 つのカメラで撮像された画像を入力する画像入力手段、前記各カメラから入力された画像を、前記各カメラの配置された前記直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影する画像射影手段、前記円筒面上に射影された画像において、前記対象物に対応する画素位置を検出する画素位置検出手段として機能させることを特徴とする。

【0017】

かかる構成によれば、画像処理プログラムは、画像射影手段によって、各カメラから入力された画像を、2 つのカメラの配置された直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影し、画素位置検出手段によって、円筒面上に射影された画像において、対象物に対応する画素位置を検出する。したがって、メモリ使用および計算時間を従来よりも低減することができる。

【0018】

また、請求項 5 に記載の位置検出装置は、請求項 1 または請求項 2 に記載の画像処理装置と、入射光線の方向及び基準位置から前記入射光線への変位量とを関連付けた較正情報を前記カメラ毎に蓄積した蓄積手段とを備え、前記各カメラで対象物を撮像した各画像に対して前記画像処理装置で対応付けられた画素位置に基づいて、前記較正情報から、その画素位置に対応する入射光線の方向及びその変位量を取得し、この入射光線の方向及びその変位量を利用して、前記対象物の位置を算出することを特徴とする。

【0019】

かかる構成によれば、位置検出装置は、対象物の位置を算出するために、カメラで撮像した画像により対象物の画素位置を求める際に、画像処理装置のメモリ使用および計算時間を従来よりも低減することができる。そして、位置検出装置は、撮像された各画像から対象物の位置を検出する前に、各画像の対象物に対応する画素に入力される入射光線の変位量を基準位置からのズレ量として認識することができるため、そのズレ量に基づいて、対象物の正確な位置を補正して求めることができる。

【0020】

また、請求項 6 に記載の移動体は、請求項 5 に記載の位置検出装置と、前記位置検出装置に対象物の撮影画像を出力する広角撮影可能で直線上に配置された 2 つのカメラとを設けた躯体と、前記躯体を移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0021】

かかる構成によれば、移動体は、躯体において広角撮影可能な 2 つのカメラで撮像され

10

20

30

40

50

た撮影画像を位置検出装置に出力する。したがって、移動体は、標準レンズや望遠レンズを備えたカメラから出力される画像よりも広い範囲を認識することができる。そのため、移動体は、移動手段によって移動する際に周囲を認識するためのメモリ使用および計算時間を低減することができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、画像処理装置は、ステレオ視により広角撮影した撮影画像を画像処理する際に、メモリ使用量および処理時間を低減することができる。

また、この画像処理装置を備えた位置検出装置は、対象物の位置を算出するために、カメラで撮像した画像により対象物の画素位置を求める際に、画像処理装置のメモリ使用および計算時間を低減することができる。

さらに、この位置検出装置を備えた移動体は、移動する際に周囲を認識するためのメモリ使用および計算時間を低減することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、図面を参照して本発明の画像処理装置、位置検出装置および移動体を実施するための最良の形態（以下「実施形態」という）について詳細に説明する。

まず、一般にレンズ系を有するカメラで撮像された画像の歪みの原因となる、入射光線が一点で交わらないカメラの非ピンホール性について説明し、その非ピンホール性を有するカメラの特性を数値化したキャリブレーションデータについて説明する。そして、カメラで撮像された画素毎のキャリブレーションデータを測定して較正情報（較正テーブル）を生成する方法について説明する。そして、カメラで撮像された画素毎のキャリブレーションデータを測定して生成された較正情報（較正テーブル）を参照することで、撮像された画像から対象物の位置を検出する位置検出装置について、順次説明していくこととする。

【0024】

〔ピンホールカメラモデルについて〕

一般に、CCD等の複数台のカメラによって、対象物の位置を検出するには、各カメラの位置と、各カメラで撮像した画像の対象物に対応する各画素とに基づいて、三角測量の原理で対象物までの距離を測定することにより行っていた。なお、この三角測量の原理で、対象物の位置を検出する手法では、各カメラのレンズ系が、ピンホールカメラモデルに基づいていることが前提となっている。このピンホールカメラモデルとは、図8に示すように、基点位置（針穴：ピンホールH）を通して入射する光（入射光）のみが、画像面上に到達して、3次元空間（ x, y, z ）が、画像面上の2次元空間（ u, v ）に対応付けられるモデルのことをいう。このようにピンホールカメラモデルは、入射光線が一点のピンホールを通して撮影画像として形成されることを想定している。

【0025】

〔カメラの非ピンホール性について〕

次に、図9を参照して、一般にレンズ系を有するカメラで撮像した画像において、歪みが発生する原因について説明する。図9は、レンズ系を有するモデルのカメラの模式図である。ここでは、説明を簡略化するため、レンズ系を板ガラスGとし、ピンホールHが生成されているものとする。このカメラCの板ガラスGに垂直に入射する入射光線 r_1 は、ピンホールHを通して撮像面I上の画素R1に撮像される。また、板ガラスGに斜めに入射した入射光線 r_2 及び r_3 は、板ガラスG内で屈折した後にピンホールHを通して撮像面I上の画素R2及びR3に撮像される。

【0026】

しかし、このカメラCは、板ガラスGを通過する前の入射光線 r_2 及び r_3 の延長線である r_2' 及び r_3' と、入射光線 r_1 とは、一点では交わらず、ピンホールカメラモデルとはなっていないことがわかる。このため、撮像面I上の画素R3には、ピンホールカメラモデルで想定している入射光線 r_r とは、距離D分だけずれた入射光線 r_3 が撮像さ

10

20

30

40

50

れることになる。

【0027】

このように、レンズ系（ここでは板ガラスG）に入射される入射光線によって像を撮像するカメラは、ピンホール性が崩れていることになる（非ピンホール性）。以下、レンズ系を有するカメラを「非ピンホールカメラ」と呼ぶこととする。

【0028】

〔キャリブレーションデータについて〕

次に、図10を参照して、非ピンホールカメラの特性を数値化したキャリブレーションデータについて説明する。図10は、キャリブレーションデータの内容を説明するための説明図である。図10に示すように、レンズ1に入射する入射光線（光軸）Rは2点で特定することができる。ここでは、第1の光源位置P1と、第2の光源位置P2とから発光される光が同一の撮像素素（図示せず）に撮像されたときに、入射光線（光軸）Rがその撮像素素に対応する入射光線であると特定する。

10

【0029】

ここで、すべての入射光線（光軸）との距離の自乗和が最小となる点を光学中心Oと定義し、各撮像素素に対応する入射光線（光軸）Rと光学中心Oとの距離が最小となる点を、その入射光線（光軸）Rの入射光基点Kと定義する。

【0030】

すなわち、光学中心O（ x_0, y_0, z_0 ）は、すべての入射光線（光軸）において、光源位置P1（ x_1, y_1, z_1 ）と、光源位置P2（ x_2, y_2, z_2 ）とで特定される入射光線（光軸）Rからの距離dの自乗（式（2）参照）和が最小になる位置を、最小自乗法によって求めた位置となる。

20

【0031】

$$d^2 = - (A^2 / B) + C \quad \cdots \quad \text{式 (2)}$$

【0032】

ただし、

$$A = (x_2 - x_1)(x_1 - x_0) + (y_2 - y_1)(y_1 - y_0) + (z_2 - z_1)(z_1 - z_0)$$

$$B = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

$$C = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2$$

とする。

30

【0033】

これによって、画素位置毎に、光源位置P1及びP2で特定される方向と、光学中心Oから入射光基点Kへの変位量（3次元ベクトル V_D （ d_x, d_y, d_z ）で表現）とを関連付けたデータをキャリブレーションデータとすることで、非ピンホールカメラの特性を数値化することができる。

【0034】

なお、キャリブレーションデータは、これに限定されるものではない。例えば、前記した例では、光学中心Oを基準位置とし、光学中心Oから入射光線へ降ろした垂線の足までのベクトルを変位量 V_D としているが、基準位置は、光学中心に限らず、カメラと一定関係にある固定点であれば、そのような点でも構わない。そして、変位量 V_D は、基準位置から入射光線上の任意の一点へ向かうベクトルであればよく、基準位置から入射光線（光軸）へ降ろした垂線の足へ向かうベクトルには限られない。

40

【0035】

〔校正情報（校正テーブル）生成方法〕

次に、図11を参照して、非ピンホールカメラの特性を数値化したキャリブレーションデータを撮像素素毎に関連付けた校正情報として校正テーブルを生成する方法について説明する。図11は、校正テーブルを生成する方法の原理を示す概念図である。なお、図11（a）は、特定の入射光線に対して、カメラのパン及びチルトを変化させることで、キャリブレーションデータを測定する原理を示す概念図であり、図11（b）は、固定したカメラに対して、入射光線（光軸）を変化させることで、キャリブレーションデータを測

50

定する原理を示す概念図である。

【0036】

図11(a)に示すように、キャリブレーションデータを撮像素毎に関連付けた校正テーブルを生成するには、非ピンホール性を有するカメラCに対して、光源位置をP1及びP2の1方向に移動させ(1軸移動)、光源位置P1及びP2で特定される入射光線(光軸)Rを決定し、光源位置P1及びP2から発光される光が共に、測定を行う撮像素(測定画素)に入射されるように、カメラCのパン及びチルトを調整(2軸回転)することで、カメラCの撮像素毎に入射される入射光線Rの方向を特定する。

【0037】

また、図11(b)に示すように、カメラCは固定しておき、光源位置P1及びP2の2点で発光した入射光線(光軸)Rが、測定画素に入射されるように、光源位置P1及びP2をXYZ方向に移動(3軸移動)させることで、その測定画素に入射される光源位置P1及びP2の2点で定まる入射光線(光軸)Rの方向を特定することとしてもよい。

【0038】

図11(a)又は(b)で、測定を行った各撮像素毎に特定された入射光線(光軸)Rに基づいて、図10で説明したように、入射光線(光軸)Rの方向と、光学中心Oから入射光基点Kへの変位量とをキャリブレーションデータとして撮像素毎に関連付けることで校正テーブルを生成することができる。

【0039】

[位置検出装置の構成]

次に、図1を参照して、位置検出装置について説明を行う。図1は、本発明の実施の形態に係る画像処理装置を含む位置検出装置の全体構成を示したブロック図である。図1に示した位置検出装置2は、対象物を広角撮影可能で直線上に配置された2つのカメラ(非ピンホールカメラ)C(C₁, C₂)と共に移動体1の躯体(図示を省略する)に搭載されているものとする。移動体1は、図示しない移動手段を備えている。移動体1は、例えば、移動ロボットや自動車等から構成される。移動ロボットの場合、移動手段は、例えば、2足歩行可能な駆動手段や車輪走行可能な駆動手段を備える。

カメラCは、例えば、魚眼レンズを備えて構成される。2つのカメラCは、ステレオ画像を生成するために直線上に配置されている。例えば、各カメラCのカメラレンズの光学中心が直線上に配置され、各光学中心を通る光軸が平行に配置される。

【0040】

位置検出装置2は、画像処理装置3を備えている。

画像処理装置3は、対象物(マーカM)をカメラCで撮像した画像により、対象物(マーカM)の3次元位置を検出するために用いる情報として対象物の画素位置を求めるものである。そして、位置検出装置2は、画像処理装置3で求められた対象物(マーカM)の画素位置から、対象物(マーカM)の3次元位置を検出する。ここでは、位置検出装置2を、画像入力手段10と、画像射影手段30と、画素位置検出手段40と、蓄積手段50と、位置算出手段60とを備えて構成した。このうち、画像入力手段10と、画像射影手段30と、画素位置検出手段40とは、画像処理装置3が備えることとした。

マーカMは、位置を検出する部位を特定するために、その部位に付す目印であって、特定の色や形状を有したシール、赤外線等を発光する発光ダイオード等である。

【0041】

画像入力手段10は、2台のカメラCで対象物(マーカM)を撮像した各々の撮影画像を入力するものである。なお、動画像として撮影画像を時系列に入力する場合は、カメラC₁及びカメラC₂で撮像された各撮影画像は、同期して画像入力手段10へ入力されるものとする。また、画像入力手段10には、カメラC₁及びカメラC₂で撮像された各撮影画像を一時的に記憶しておく、図示していないメモリを備えており、このメモリに記憶された撮影画像を、画像射影手段30が参照するものとする。

【0042】

画像射影手段30は、各カメラC₁, C₂から入力された画像を、2つのカメラC₁, C₂

10

20

30

40

50

の配置された直線と平行な軸線を持つ円筒面上に射影するものである。本実施形態では、画像射影手段 30 は、入力された画像を、画像の歪を補正した状態で円筒面上に射影する。また、画像射影手段 30 は、後記する補正テーブル 51 を用いることで、射影と同時に歪みを補正することとする。

【0043】

ここで、円筒面上への射影（以下、円筒射影という）について、図 2 乃至図 5 を参照して説明する。図 2 は、投影面を側面から見た図であり、（a）は中心射影、（b）は円筒射影をそれぞれ示している。

【0044】

従来行われている中心射影では、図 2（a）に示すように、縦方向（垂直方向）において、ピンホール位置に相当する光学中心の光軸から角度 θ の範囲に存在する対象物は、光学中心の光軸に垂直な平面の投影面において、光学中心に対応する中心点から高さ d の範囲まで射影される。この場合、 d は、像高であり、式（3）で示される。ここで、 k は定数であり、ピンホールから投影面までの距離、すなわち仮想焦点距離を示す。

【0045】

$$d = k \tan \theta \quad \cdots \text{式 (3)}$$

【0046】

式（3）によれば、中心射影の場合、入射角度 θ が 2 倍になると、投影面上において像高 d は 2 倍以上になる。また、入射角度 θ が 90 度の場合には像高 d を定義することができず、90 度を超えると負になってしまう。したがって、90 度を超える角度で入射した光の像を形成することができない。

【0047】

一方、円筒射影では、図 2（b）に示すように、縦方向（垂直方向）において、光学中心の光軸から角度 θ の範囲に存在する対象物は、円筒面で構成された投影面において、ピンホール位置に対応する中心点から投影面に沿って長さ d の範囲まで射影される。ここで、円筒は、例えば、2 つのカメラ C のカメラレンズの主点を連結する直線と平行な軸線を持つ。そして、円筒の軸線は、光学中心に配され、円筒の半径は例えばピンホールの仮想焦点距離を示す。この場合、 d は、式（4）で示される。

【0048】

$$d = k \theta \quad \cdots \text{式 (4)}$$

【0049】

ここで、 k は定数であり、光学中心から投影面までの距離、すなわち焦点距離を示す。式（4）によれば、円筒射影の場合、入射角度 θ が 2 倍になると、円筒面を開いた平面の投影面上において像高 d も 2 倍になる。また、入射角度 θ が 90 度以上の場合にも像高 d を定義することができる。したがって、図 3 に示すように、カメラ C に、180 度を超える入射角度（例えば、200 度）の範囲まで撮影可能な魚眼レンズ 300 を用いることができる。この場合には、魚眼レンズ 300 の前方（図 3 において右側）から入射した光（光軸 301）の像を形成できるだけではなく、魚眼レンズ 300 のレンズ位置よりも後ろ（図 3 において左下側）から入射した光（光軸 302）の像も形成することができる。

【0050】

前記した式（4）は、魚眼レンズの射影方式に等距離射影を採用した場合の像高を示す式と同様である。この場合の入射光線（光軸）の方位と、画面での位置（ u 、 v ）の関係は、式（5a）および式（5b）で示される。ここで、入射光線の横（水平方向）の方位を α 、縦（鉛直方向）の方位を γ で示す。なお、 k_1 、 k_2 は所定の定数である。

【0051】

$$u = k_1 \tan \alpha \quad \cdots \text{式 (5a)}$$

$$v = k_2 \gamma \quad \cdots \text{式 (5b)}$$

【0052】

式（5a）および式（5b）の関係式は、入力画像が射影された円筒面を開いた平面の投影面上の関係を示すものであるが、図 4 に示すように、入力画像が射影された円筒面を

10

20

30

40

50

開かずに、入射光線（光軸）の方位と、画面での位置（ u ， v ）と関係を求めることもできる。図 4 は、図 1 に示した画像射影手段による射影方式を示す説明図である。図 4 は、図 2 と同様に、投影面を側面から見た図を示している。図 4 において、円筒面は、略半円筒（断面視中心角 200 度）から構成され、略半円筒は、軸線の中心を O 、半径を f （焦点距離）としている。半径 OA は、光学中心の光軸方向に一致しており、点 A から破線で示す半直線は、中心射影による仮想的な平面の投影面を示している。また、半径 OA と半径 OB とのなす角を θ としている。

【0053】

対象物が角度 θ の範囲で仮想的な平面の投影面に射影された場合には、像高は、符号 401 で示す AP の長さで表される。一方、対象物が角度 θ の範囲で円筒面の投影面に射影された場合には、像は、符号 402 で示す弧 AB に射影される。したがって、この円筒面に射影された像を、光学中心の光軸方向右側から見た場合には、その像高は、符号 403 で示す BR の長さで表される。なお、点 R は、点 B から半径 OA に下ろした垂線の足である。そして、符号 403 で示す像高を円筒面に射影した場合の像高として、図 4 では、あらためて d で示した。

【0054】

図 4 において、仮に、仮想的な平面の投影面に射影された像高が d となった場合を想定すると、仮想的な平面の投影面における像高は、符号 401 で示す AP よりも短い AQ で表されることとなる。仮想的な平面の投影面において、 AQ で示す像高は、角度 θ よりも小さい角度の範囲の光軸から形成される。つまり、仮想的な平面の投影面に形成した像高が d である画像に比べて、円筒面に射影して形成した像高が d である画像の方が、縦方向（垂直方向）の高角において、仮想的な平面の投影面 PQ に相当する像の分だけ情報量が増加する。別の観点から言うと、円筒面に射影した場合には、同様に平面に投影した場合と比べて、縦方向（垂直方向）の中心部分（低角の部分）において情報量が圧縮するが、周辺部分（高角の部分）において情報量が増加して、縦方向（垂直方向）全体として情報量が均一化されることになる。このことを図 5 を参照して説明する。

【0055】

図 5 は、射影前後の画像の説明図であり、（a）は撮影画像、（b）は中心射影の場合、（c）は円筒射影の場合の画像をそれぞれ示している。図 5（b）に示す中心射影の場合には、図 5（a）の撮影画像と比較すると、中心付近に配置されたテーブル 501 や箱 502 の高さや奥行きについての変化は、比較的小さく、人間の目で見た場合には、元画像と比べると自然な画像となっている。一方、図 5（c）に示す円筒射影の場合には、図 5（a）の撮影画像と比較すると、中心付近に配置されたテーブル 501 の奥行きが小さくなると共に、箱 502 の高さが低くなる。つまり、人間の目で見た場合には、元画像と比べると不自然な画像となっている。これは、前記したように、円筒面に射影した場合には、同様に平面に投影した場合と比べて、縦方向の中心部分において情報量が圧縮するが、縦方向全体として情報量が均一化されているからである。これにより、対象物の位置を検出するためには、メモリ使用量や計算時間の低減に寄与することができる。なお、図 5（a）～図 5（c）において、画像を 1 つずつ示したが、これは、一方のカメラ C によるものであって、実際には、2 つの画像から対象物の位置を検出する。

【0056】

円筒面に射影した後で円筒面を開かない場合の入射光線（光軸）の方位と、画面での位置（ u ， v ）の関係は、式（6a）および式（6b）で示される。ここで、入射光線（光軸）の横（水平方向）の方位を α 、縦（鉛直方向）の方位を γ で示す。

【0057】

$$u = k_1 \tan \alpha \quad \cdots \quad \text{式 (6a)}$$

$$v = k_2 \sin \gamma \quad \cdots \quad \text{式 (6b)}$$

【0058】

円筒面に射影した場合には、前記した式（5a）および式（5b）の関係式を用いても式（6a）および式（6b）の関係式を用いても同様な効果が得られるので、以下では、

式 (5 a) および式 (5 b) の関係式を用いることとする。

【0059】

図1に戻って位置検出装置2の説明を続ける。

画素位置検出手段40は、画像射影手段30によって円筒面上に射影された画像において、対象物に対応する画素位置を検出するものである。ここでは、撮影画像上でマークMとして撮像された領域の重心位置を、対象物に対応する画素位置とする。ここで検出された各撮影画像の画素位置は、位置算出手段60へ入力される。なお、画素位置検出手段40は、カメラCで撮像した撮影画像を特定の大きさのブロックでマッチングを行うことで、対象物に対応する画素位置を検出するように構成してもよい。

【0060】

蓄積手段50は、位置検出装置2に必要なデータベースや、処理中の画像の記憶や、作業領域のために利用される、メモリやハードディスクなどの記憶装置である。蓄積手段50内には、カメラCで撮影された画像を円筒面に射影すると共に同時に歪みを補正する補正テーブル51と、カメラの光学中心Oを補正するための較正テーブル(較正情報)52と、対象物の距離を計算するときに使用される方向ベクトルテーブル53とを記憶している。

【0061】

補正テーブル51は、図12(a)に示すように、射影画像の各画素に対応する入力画像の各画素(x, y)と、各画素(x, y)の画素値に対して適用する予め算出された定数(K_1 , K_2 , K_3 , K_4)とを格納している。この補正テーブル51は、較正テーブル52と方向ベクトルテーブル53とを用いて予め作成されるものなので、較正テーブル52と方向ベクトルテーブル53とを説明した後で再度説明する。

【0062】

較正テーブル52は、カメラ C_1 及びカメラ C_2 の撮像画素毎にキャリブレーションデータを関連付けたテーブルである。なお、較正テーブル52の内容である各撮像画素毎のキャリブレーションデータは、図10を参照して説明したように、各撮像画素に入射される入射光線(光軸)の方向と、基準位置(光学中心O)から入射光線(光軸)への変位量 V_D とを含んでいる。また、図1では、較正テーブル52を1つだけ表示したが実際には2つ存在している。

較正テーブル(較正情報)52は、図13(a)に示すように、撮影画像(入力画像)の各画素のx座標、y座標の組み合わせに対し、その撮像画素に入射してくる入射光線(光軸)を特定する情報として、光学中心Oからの変位量 V_D (dx , dy , dz)及び方向(角度) α 、 γ が対応付けて記憶されている。なお、ここでは、較正情報を、撮像画素毎に変位量 V_D 及び方向(角度) α 、 γ を対応付けた較正テーブルとして説明しているが、所定の関数や変換式によって表現しても構わない。

【0063】

方向ベクトルテーブル53は、図12(b)に示すように、補正画像(射影画像)上の画素の座標(u' , v')と、その画素位置において光が入射してくる方向を特定する角度 α_R 、 α_L 、 γ を関連づけて記憶させたものである。

角度 α_R 、 α_L 、 γ は、図6に示すように、それぞれ、

α_R : カメラ C_1 (右カメラとする)の補正された光学中心である右カメラ位置(0, 0, 0)から対象物位置(P_x , P_y , P_z)に向かうベクトルの、カメラ C_1 の光軸(x軸)からの水平方向の角度

γ : (0, P_y , 0)を始点として対象物位置(P_x , P_y , P_z)を終点とするベクトルの、xy平面から垂直方向の角度

α_L : カメラ C_2 (左カメラとする)の補正された光学中心である左カメラ位置(0, d, 0)から対象物位置(P_x , P_y , P_z)に向かうベクトルの、カメラ C_2 の光軸からの水平方向の角度

を意味する。

ただし、 $-\pi/2 < \alpha_R < \pi/2$, $-\pi/2 < \alpha_L < \pi/2$, $-\pi < \gamma < \pi$ である。

10

20

30

40

50

以下では、角度 α_R 、 α_L 、 γ をまとめて角度 (α, γ) と表記する。角度 (α, γ) を求める計算式は、例えば、前記した式 (5 a) および式 (5 b) に基づいて、式 (7) および式 (8) のように示される。式 (7) および式 (8) では、図 6 に示すいずれかのカメラ位置を一般化して (c_u, c_k) として、画面での位置を (u, v) 、所定の定数を k_u 、 k_v とした。

【0064】

$$\alpha = \tan^{-1} ((u - c_u) / k_u) \quad \cdots \text{式 (7)}$$

$$\gamma = (v - c_k) / k_v \quad \cdots \text{式 (8)}$$

【0065】

較正テーブル 5 2 と方向ベクトルテーブル 5 3 とを用いて、補正テーブル 5 1 を作成することで、補正画像（射影画像）においては、撮影画像（入力画像）における歪みを補正することができる。補正テーブル 5 1 の作成方法の一例の概略を説明する。まず、方向ベクトルテーブル 5 3（図 1 2 (b) 参照）から、射影後の画素 (u, v) に入力すべき入射光の光軸の角度 (α, γ) を求める。そして、この求めた角度 (α, γ) に対応する入力画像（撮影画像）の画素（撮影画素）の座標 (x, y) を、左右 2 つのカメラ C に対応した 2 つの較正テーブル 5 2 からそれぞれ求める。そして、射影後の画素 (u, v) に対応して求めた撮影画素の座標 (x, y) を補正テーブル 5 1 に記録する。また、射影後の画素 (u, v) は、撮影画像における画素と画素との間に位置することになるので、射影後の画素 (u, v) の画素値（例えば輝度等）は、 2×2 の周囲 4 画素分の撮影画素の画素値を線形補完した値とする。例えば、補正テーブル 5 1 に記録する撮影画素の座標 (x, y) を、 2×2 のうち左上の撮影画素の座標値として、各画素値に乘じる定数を以下のように定める。

左上の撮影画素の画素値 (V_1) に乘じる定数： K_1

右上の撮影画素の画素値 (V_2) に乘じる定数： K_2

左下の撮影画素の画素値 (V_3) に乘じる定数： K_3

右下の撮影画素の画素値 (V_4) に乘じる定数： K_4

この場合、射影後の画素 (u, v) の画素値 V_0 は、式 (9) で表される。

【0066】

$$V_0 = K_1 \times V_1 + K_2 \times V_2 + K_3 \times V_3 + K_4 \times V_4 \quad \cdots \text{式 (9)}$$

【0067】

補正テーブル 5 1 には、撮影画素の座標 (x, y) と共に、各画素値に乘じる定数 ($K_1 \sim K_4$) が記録される。各画素値に乘じる定数 ($K_1 \sim K_4$) は、中心射影ではなく、前記した式 (5 a) および式 (5 b) に示した円筒射影の関係式を利用して求められる。これにより、画像射影手段 3 0 は、各カメラ C_1 、 C_2 から入力された画像（撮影画像）から、撮影画素の座標と画素値とを取得し、補正テーブル 5 1 を参照して、前記した式 (9) の関係を用いて、射影後の画素 (u, v) の画素値を算出することで、円筒面への射影と同時に入力画像の歪みを補正することができる。なお、式 (6 a) および式 (6 b) に示した円筒射影の関係式を利用してもよい。

【0068】

再び図 1 に戻って位置検出装置 2 の説明を続ける。

位置算出手段 6 0 は、画素位置検出手段 4 0 で検出された各撮影画像毎の画素位置に対応した、較正テーブル 5 2 のキャリブレーションデータ（入射光線の方向及び変位置量）および方向ベクトルテーブル 5 3 に基づいて、対象物（マーカ M）の位置（3 次元位置）を算出するものである。

【0069】

以上、画像処理装置 3 を含む位置検出装置 2 の構成について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、本実施形態では、画像射影手段 3 0 は、射影と同時に歪みを補正することとしたが、歪補正実行手段 2 0 を別に設けて、この歪補正実行手段 2 0 が入力画像から歪みを補正し、画像射影手段 3 0 が、予め歪の補正された画像を円筒面に射影するように構成することもできる。この場合、歪補正実行手段 2 0 は、入力画像

10

20

30

40

50

の画素を移動させることで、カメラCに起因して生じた歪をその程度が小さくなるように補正する。歪補正実行手段20は、画像入力手段10から右、左の各撮影画像のデータを受け取り、例えば図13(b)に示す歪補正テーブルを参照して、撮影画像の歪を補正する。この歪補正実行手段20は、右のカメラC₂が撮像した撮影画像から、右補正画像を生成し、左のカメラC₁が撮像した撮影画像から、左補正画像を生成する。この歪補正テーブル51は、図13(b)に示すように、カメラC₁及びカメラC₂で撮像された撮影画像上の座標(x, y)と、その座標の画素を変位させるべき画素数(du, dv)とを関連づけて記憶させたものである。この歪補正テーブルは、カメラC₁, C₂ごとにそれぞれ用意される。なお、それぞれのカメラC₁, C₂の光学系の仕様が同じで、製造精度が高い場合には、歪補正テーブルを共用することができる。

10

【0070】

ここで、図13(b)に示す歪補正テーブルの生成方法の一例を簡単に説明する。例えば、平面に描かれた格子状の市松模様のパターンをカメラC₁及びカメラC₂で正面から撮影すると、市松模様のパターンの外周縁部に樽形の歪みが生じた画像(補正前の画像)が得られる。この補正前の画像から、歪が無視できる画面中心での格子の縦横の画素数に合うように、画面全体の格子点を移動させることで歪補正が実行された画像(補正画像)を得ることができる。そして、格子点の移動量(相対座標)を補正前の画像の画素位置と対応づけて表にする。格子点の間の各画素については、線形補完を行う。このようにして、歪補正テーブルが生成される。この歪補正テーブルは、生成するときに市松模様を撮影した距離においては正確に補正することができるが、撮影距離が異なると、完全に正確には補正されない。とはいえ、左右のエピポーララインはほぼ直線となり、ステレオマッチングにおいて直線上を探索しても不都合は生じない。そして、前記した歪補正実行手段20は、歪補正テーブルから、各画素位置についての移動量を取得し、撮影画像の画素を移動させることで、歪を補正する。なお、歪補正実行手段20が歪を補正する方法は、図13(b)に示す歪補正テーブルを使用する方法には限られず、公知の他の方法を使用することができる。例えば、歪補正テーブルの代わりに、歪曲収差を近似式で求めた関数を用いることもできる。

20

【0071】

また、本実施形態では、2台のカメラCで撮像した撮影画像に基づいて、対象物の位置を検出したが、3台以上のカメラを用いて位置を検出することも可能である。例えば、3行3列に配置した9台のカメラで、中央に配置したカメラを基準カメラとして、他の8台のカメラとの間で位置を検出し、その8個の位置で平均をとることで、対象物の位置をより正確に検出することもできる。

30

【0072】

なお、画像処理装置の各手段、すなわち、画像入力手段10、画像射影手段30、画素位置検出手段40は、一般的なコンピュータにプログラム(画像処理プログラム)を実行させ、コンピュータ内の演算装置や記憶装置(蓄積手段50を含む)を動作させることにより実現される。このプログラムは、通信回線を介して配布することも可能であるし、CD-ROM等の記録媒体に書き込んで配布することも可能である。このプログラムをインストールされたコンピュータは、CPUが、ROM等に格納されたこのプログラムをRAMに展開することにより、画像処理装置3と同等の効果を奏することができる。同様に、位置検出装置の各手段、すなわち、画像入力手段10、画像射影手段30、画素位置検出手段40及び位置算出手段60は、一般的なコンピュータにプログラム(位置検出プログラム)を実行させ、コンピュータ内の演算装置や記憶装置(蓄積手段50を含む)を動作させることにより実現される。

40

【0073】

[位置検出装置の動作]

次に、図7を参照(適宜図1参照)して、位置検出装置2の動作について説明する。図7は、位置検出装置の動作を示すフローチャートである。

まず、位置検出装置2は、画像入力手段10によって、2台のカメラC(C₁, C₂)で

50

撮像した撮影画像を入力する（ステップ20：画像入力ステップ）。そして、位置検出装置2は、画像射影手段30によって、補正テーブル51を参照して、歪を補正しつつ撮影画像を円筒面に射影する（ステップS21：画像射影ステップ）。次いで、位置検出装置2は、画素位置検出手段40によって、画像射影手段30で円筒面に射影された各画像において、対象物（マークM）に対応する画素位置を検出する（ステップS22：画素位置検出ステップ）。

【0074】

そして、位置検出装置2は、位置算出手段60によって、カメラC（ C_1 、 C_2 ）に対応する較正テーブル52から、対象物（マークM）の画素位置に対応するキャリブレーションデータを読み込み（ステップ23）、その各画素位置のキャリブレーションデータおよび方向ベクトルテーブル53に基づいて、対象物（マークM）の3次元位置を算出する（ステップS24）。

【0075】

ここで、図6を再び参照（適宜図1参照）して、ステップS24で行った対象物の3次元位置を算出する方法について具体的に説明する。

【0076】

この図6において、カメラ C_1 （右カメラ）の撮影画像における、マークMの画素位置に対応する変位量（右カメラ用の較正テーブル52から取得）に基づいて、カメラ C_1 の光学中心を補正した補正光学中心（右カメラ位置） O_1 を（0，0，0）とする。また、カメラ C_2 （左カメラ）の撮影画像における、マークMの画素位置に対応する変位量（左カメラ用の較正テーブル52から取得）に基づいて、カメラ C_2 の光学中心を補正した補正光学中心（左カメラ位置） O_2 を（0，d，0）とする。つまり、図6において、右カメラは座標原点に配置され、左カメラは、y軸上で座標原点からdだけ離間した位置に配置される。

【0077】

また、カメラ C_1 （右カメラ）の撮影画像における、マークMの画素位置に対応する入射光線（光軸）の方向を水平角度 α_R 、垂直角度 γ_R （右カメラ用の較正テーブル52から取得）とし、カメラ C_2 （左カメラ）の撮影画像における、マークMの画素位置に対応する入射光線（光軸）の方向を水平角度 α_L 、垂直角度 γ_L （左カメラ用の較正テーブル52から取得）とする。この場合、対象物位置（ P_x ， P_y ， P_z ）は、式（10）乃至式（12）で算出することができる。なお、式（12）において、 γ は、方向ベクトルテーブル53（図12（b）参照）において角度 α_R ， α_L と関連づけて記憶された角度である。

【0078】

$$P_x = d / (\tan \alpha_R - \tan \alpha_L) \quad \cdots \quad \text{式 (10)}$$

$$P_y = P_x \tan \alpha_R \quad \cdots \quad \text{式 (11)}$$

$$P_z = P_x \tan \gamma \quad \cdots \quad \text{式 (12)}$$

【0079】

本実施形態によれば、画像処理装置3は、ステレオ視により広角撮影した撮影画像を画像処理する際に、メモリ使用量および処理時間を低減することができる。

また、本実施形態によれば、位置検出装置2は、非ピンホールカメラにおいて、ステレオ視により広角撮影した撮影画像から、広い角度についての位置推定と、中心方向での角度精度を高く保ったまま、正確に対象物の位置を検出することが可能になる。さらに、移動体1は、例えば、移動ロボットから構成されているときに、この移動ロボットが、床の位置を検出することで、床の凹凸を正確に認識することができ、移動ロボットが安定した歩行を行うことが可能になる。なお、移動ロボットは2足歩行に限らず、車輪で移動するようにしてもよい。

【0080】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は前記した実施形態に限定されるものではない。例えば、本実施形態では、位置検出装置2は、較正テーブル52と方向ベクトルテーブル53とに基づいて対象物（マークM）の3次元位置を算出するこ

10

20

30

40

50

としたが、方向ベクトルテーブル 5 3 は必須ではない。

【0081】

また、本実施形態では、方向ベクトルテーブル 5 3 や補正テーブル 5 1 の作成方法や対象物の 3 次元位置を算出する方法について図 6 を参照して説明したが、これに限定されず、例えば、図 1 4 に示す角度の関係をを用いてもよい。図 1 4 は、角度 δ_R 、 δ_L と距離 D とを追加した点が図 6 と異なる。

角度 δ_R 、 δ_L と距離 D とは、図 1 4 に示すように、それぞれ、

δ_R : 右カメラ位置 (0, 0, 0) を始点として (0, 0, P_z) を終点とするベクトルと、右カメラ位置 (0, 0, 0) を始点として対象物位置 (P_x , P_y , P_z) を終点とするベクトルとのなす角度

10

δ_L : 左カメラ位置 (0, d , 0) を始点として (0, d , P_z) を終点とするベクトルと、左カメラ位置 (0, d , 0) を始点として対象物位置 (P_x , P_y , P_z) を終点とするベクトルとのなす角度

D : 左カメラ位置 (0, d , 0) と (0, d , P_z) との距離を意味する。ただし、 $-\pi < \delta_R < \pi$, $-\pi < \delta_L < \pi$ である。

【0082】

この場合、対象物位置 (P_x , P_y , P_z) は、式 (13) 乃至式 (16) で算出することができる。

【0083】

$$P_x = D \cos \gamma \quad \cdots \text{式 (13)}$$

20

$$P_y = D \tan \delta_R \quad \cdots \text{式 (14)}$$

$$P_z = D \sin \gamma \quad \cdots \text{式 (15)}$$

$$\text{ただし、} D = d / (\tan \delta_R - \tan \delta_L) \quad \cdots \text{式 (16)}$$

【0084】

これによれば、180 度を超える入光角度の範囲まで撮影可能な魚眼レンズを用いたときにも対象物位置を正確に求めることができる。なお、式 (13) および式 (15) において、 γ は、方向ベクトルテーブル 5 3 (図 1 2 (b) 参照) において角度 δ_R 、 δ_L と関連づけて記憶された角度である。この場合、前記した方向ベクトルテーブル 5 3 における角度 (α , γ) の代わりに、角度 δ_R 、 δ_L 、 γ を予め求めておく。そのときの計算式は、前記した式 (7) および式 (8) の代わりに、式 (17) および式 (18) を用いればよい。なお、このときの α は、式 (19) で表される。

30

【0085】

$$\delta = \tan^{-1} ((u - c_u) / k_u) \quad \cdots \text{式 (17)}$$

$$\gamma = (v - c_k) / k_v \quad \cdots \text{式 (18)}$$

$$\alpha = \tan^{-1} [(u - c_u) / (k_u \cos \{(v - c_k) / k_v\})] \quad \cdots \text{式 (19)}$$

【0086】

また、本実施形態では、魚眼レンズの射影方式を等距離射影として説明したが、これに限定されるものではなく、式 (20) 乃至式 (22) にそれぞれ示す立体射影、等立体角射影、正射影を採用することができる。これらの射影方式においては、平面の投影面に射影したのちに、それを円筒面に投影することができる。なお、式 (20) 乃至式 (22) において、 d は像高、 θ は対象物側の半値角、 k はカメラの焦点距離をそれぞれ示す。

40

【0087】

$$d = 2 k \tan (\theta / 2) \quad \cdots \text{式 (20)}$$

$$d = 2 k \sin (\theta / 2) \quad \cdots \text{式 (21)}$$

$$d = k \sin \theta \quad \cdots \text{式 (22)}$$

【0088】

例えば、式 (22) に示すように正射影を採用した場合には、方向ベクトルテーブル 5 3 における角度 (α , γ) を求める計算式は、前記した式 (7) および式 (8) の代わりに、式 (23) および式 (24) を用いればよい。

【0089】

50

$$\alpha = \tan^{-1} \left((u - c_u) / k_u \right) \quad \cdots \quad \text{式 (23)}$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left((v - c_k) / k_v \right) \quad \cdots \quad \text{式 (24)}$$

【0090】

また、本実施形態では、位置検出装置2は移動体1に搭載されているものとして説明したが、これに限定されるものではない。位置検出装置2は、例えば、定位置から離れない産業用ロボットに搭載されていてもよいし、単体であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0091】

【図1】本発明の実施形態に係る画像処理装置を含む位置検出装置の全体構成を示すブロック図である。

10

【図2】投影面を側面から視た図であり、(a)は中心射影、(b)は円筒射影をそれぞれ示している。

【図3】180度を超える入光角度の範囲まで撮影可能な魚眼レンズの一例を示す説明図である。

【図4】図1に示した画像射影手段による射影方式を示す説明図である。

【図5】射影前後の画像の説明図であり、(a)は撮影画像、(b)は中心射影の場合、(c)は円筒射影の場合の画像をそれぞれ示している。

【図6】対象物の3次元位置を算出する方法の一例を説明するための説明図である。

【図7】図1に示した位置検出装置の動作を示すフローチャートである。

【図8】ピンホールカメラモデルの概念を説明するための説明図である。

20

【図9】レンズ系を有するモデルのカメラの模式図である。

【図10】キャリブレーションデータの内容を説明するための説明図である。

【図11】較正テーブルを生成する方法の原理を示す概念図である。

【図12】蓄積手段に蓄積されたテーブルの一例を示す図であって、(a)は補正テーブル、(b)は、方向ベクトルテーブルをそれぞれ示している。

【図13】蓄積手段に蓄積されたテーブルの一例を示す図であって、(a)は較正テーブル、(b)は歪補正テーブルをそれぞれ示している。

【図14】対象物の3次元位置を算出する方法の他の例を説明するための説明図である。

【符号の説明】

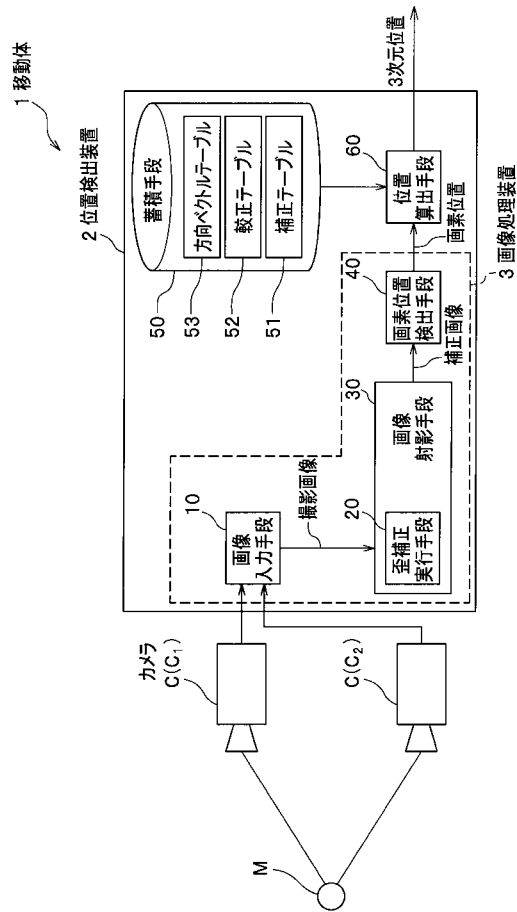
【0092】

30

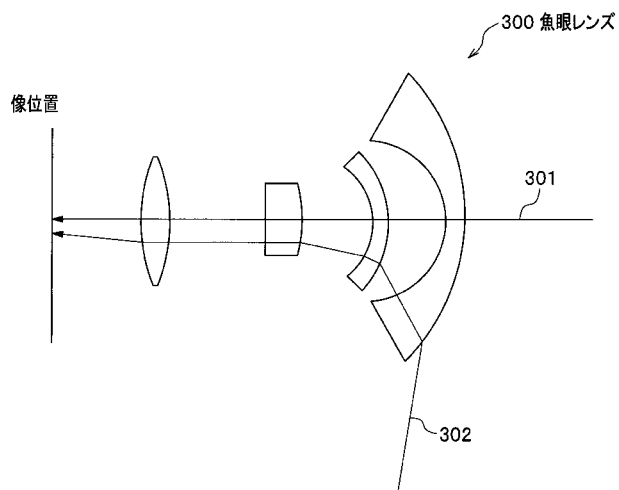
- 1 移動体
- 2 位置検出装置
- 3 画像処理装置
- 10 画像入力手段
- 20 歪補正実行手段
- 30 画像射影手段
- 40 画素位置検出手段
- 50 蓄積手段
- 51 歪補正テーブル
- 52 較正テーブル(較正情報)
- 53 方向ベクトルテーブル
- 60 位置算出手段
- C カメラ

40

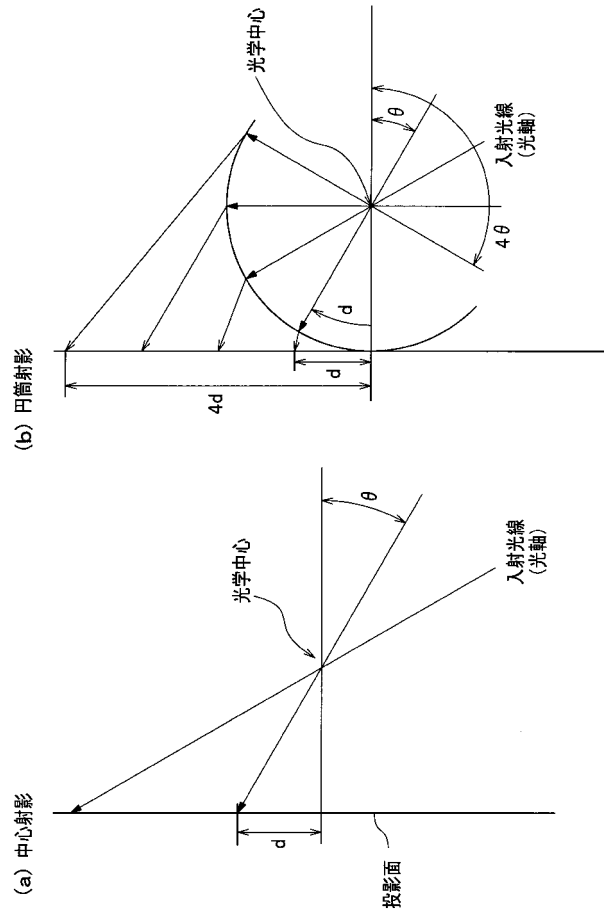
【 図 1 】



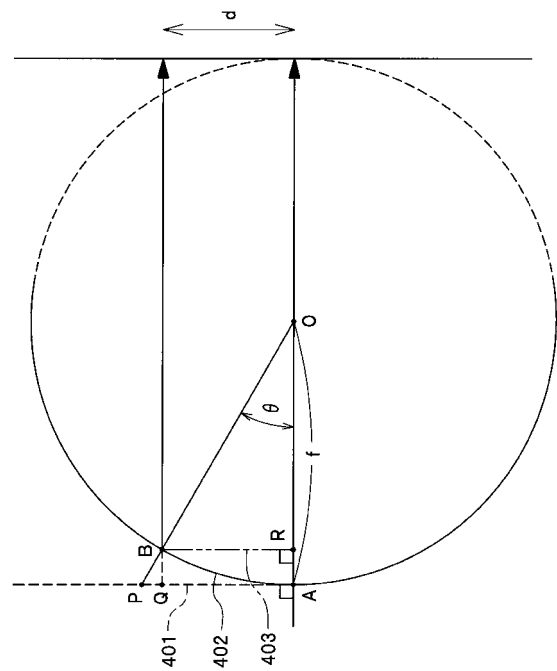
【図 3】



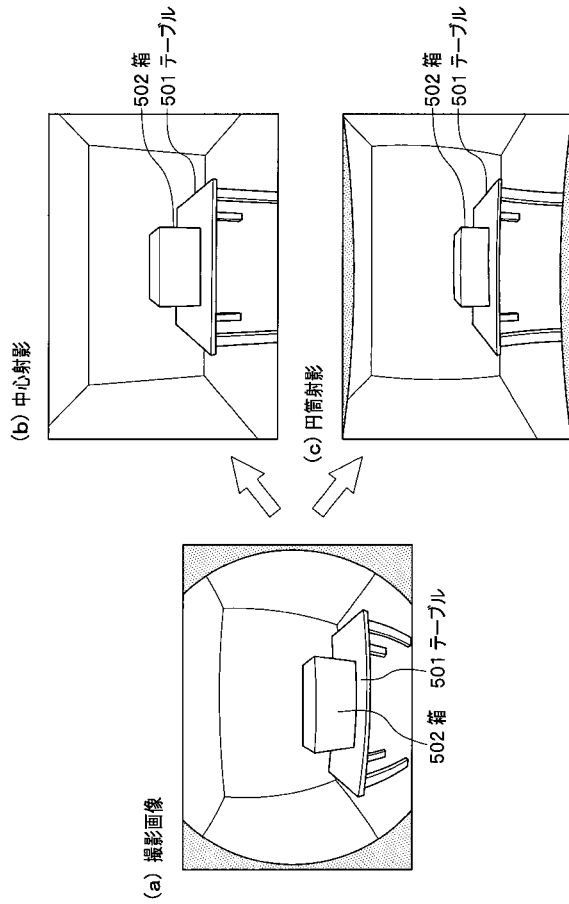
【圖 2】



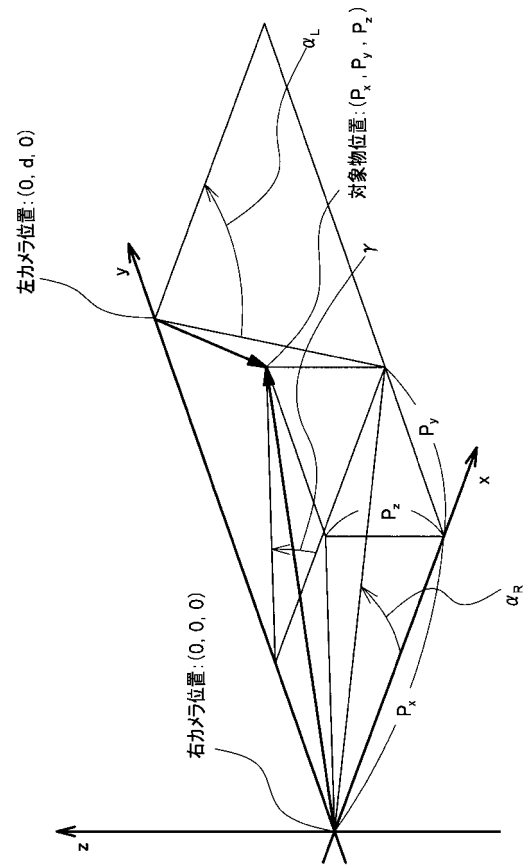
【 図 4 】



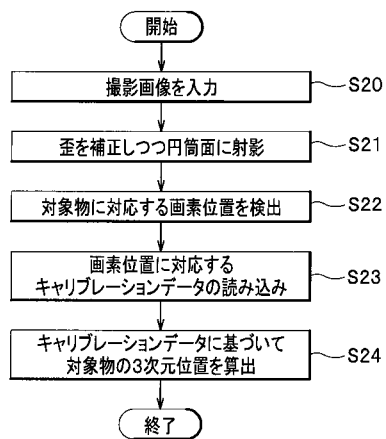
【図 5】



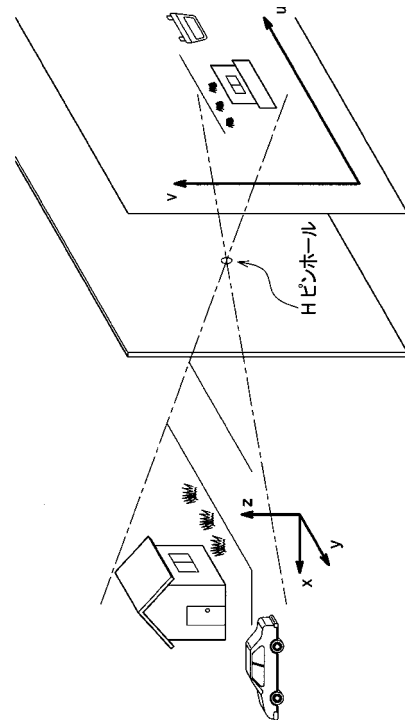
【図 6】



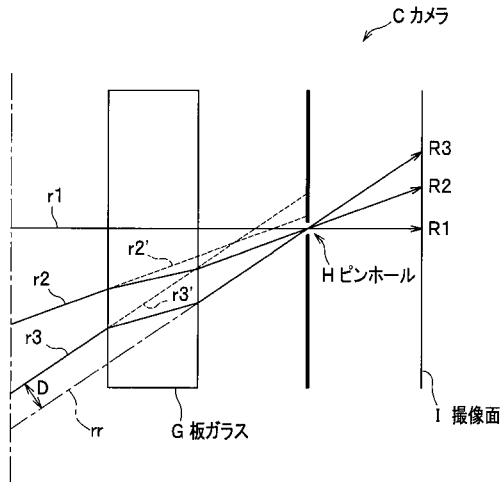
【図 7】



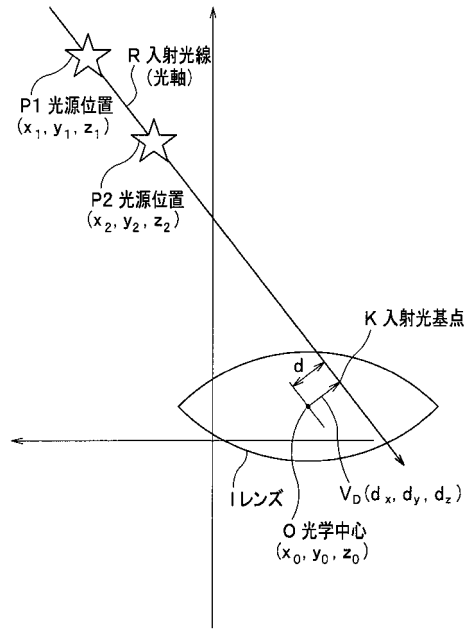
【図 8】



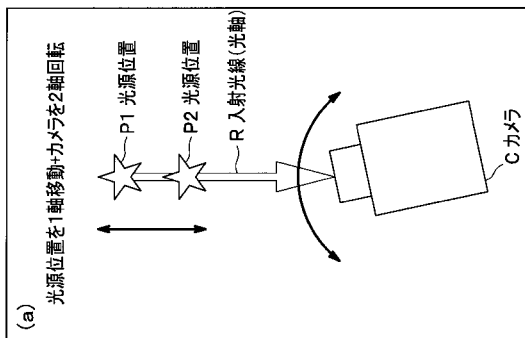
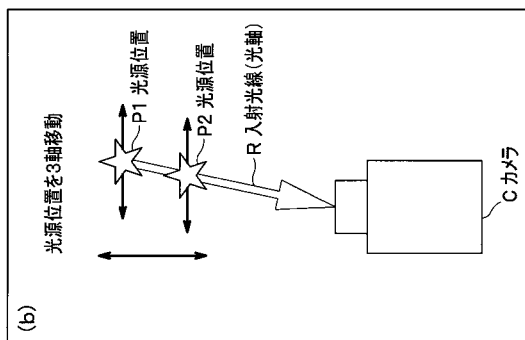
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

(a) 補正テーブル

x座標	y座標	K_1	K_2	K_3	K_4
0	0				
1	0				
3	0				
.	.				
.	.				
.	.				

(b) 方向ベクトルテーブル

u座標	v座標	α_R	α_L	γ
0	0	45.51	58.23	24.81
1	0	45.50	58.22	24.81
3	0	45.50	58.22	24.81
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
768	0	.	.	.
0	1	.	.	.
1	1	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

【図 1 3】

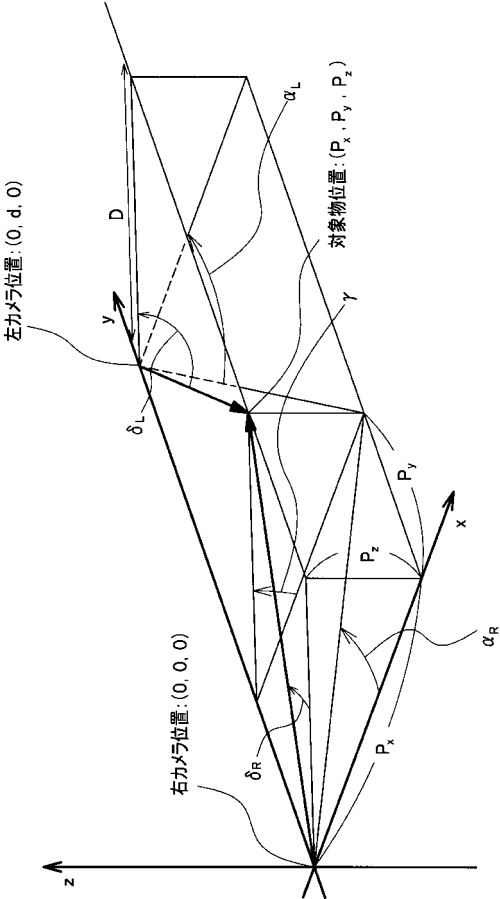
(a) 校正テーブル

x座標	y座標	dx	dy	dz	α	γ
0	0	0.01	0.02	-0.01	58.231	24.81
1	0	0.009	0.02	-0.01	58.22	24.81
2	0	0.009	0.02	-0.01	58.219	24.81
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
768	0	.	.	.	.	.
0	1	.	.	.	.	.
1	1	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

(b) 歪補正テーブル

x座標	y座標	du	dv
0	0	18	25
1	0	18	25
3	0	18	24
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
768	0	.	.
0	1	.	.
1	1	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

【図 1 4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5B057 AA05 CA08 CA13 CA16 CD16 CH11 DA07
5C122 EA67 EA68 FB06