

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6447055号
(P6447055)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 C	3/00	(2006.01)	GO 1 C	3/00	1 2 0
GO 1 C	3/06	(2006.01)	GO 1 C	3/06	1 1 0 V
GO 1 B	11/00	(2006.01)	GO 1 B	11/00	H

請求項の数 18 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2014-240206 (P2014-240206)	(73) 特許権者	000006747
(22) 出願日	平成26年11月27日(2014.11.27)		株式会社リコー
(65) 公開番号	特開2016-6406 (P2016-6406A)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(43) 公開日	平成28年1月14日(2016.1.14)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成29年11月6日(2017.11.6)		弁理士 酒井 宏明
(31) 優先権主張番号	特願2014-13520 (P2014-13520)	(72) 発明者	青木 伸
(32) 優先日	平成26年1月28日(2014.1.28)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		会社リコー内
(31) 優先権主張番号	特願2014-112737 (P2014-112737)	(72) 発明者	菊池 直樹
(32) 優先日	平成26年5月30日(2014.5.30)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		会社リコー内
		(72) 発明者	長尾 景洋
			東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
			会社リコー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 校正方法、校正装置、計測用具及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ステレオカメラを校正する校正方法であって、
 前記ステレオカメラの撮影範囲に入るように設置された被写体と、前記ステレオカメラとの相対位置を計測するステップと、
 前記ステレオカメラにより撮影された前記被写体を含む撮影画像を取得するステップと、
 前記相対位置と、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定するステップと、を含み、
前記相対位置を計測するステップは、
前記被写体から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、
前記ステレオカメラの正対位置からの前記被写体の向きのずれを計測するステップと、
を含み、
前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップは、
前記被写体上の点から、前記被写体と前記ステレオカメラとの間にある中間計測点までの距離を計測するステップと、
前記中間計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、
 を含む校正方法。

【請求項2】

前記向きのずれを計測するステップは、

前記被写体の位置を基準とした被写体座標系を使用して前記ステレオカメラの位置を示す座標を計測するステップと、

前記被写体座標系を使用した前記ステレオカメラの座標と、前記被写体座標系を使用した前記被写体の座標とを、前記ステレオカメラの光学中心の位置を基準にしたカメラ座標系を使用した座標に変換するステップと、

前記カメラ座標系を使用した前記ステレオカメラの位置を示す座標と、前記カメラ座標系を使用した前記被写体の位置を示す座標と、前記撮影画像上の前記被写体の像の座標と、に基づいて前記ステレオカメラの向きを計測するステップと、

を含む請求項 1 に記載の校正方法。

【請求項 3】

10

前記被写体座標系を使用して前記ステレオカメラの位置を示す座標を計測するステップは、

前記被写体上に設置された複数の計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、

計測された複数の前記距離に基づいて前記ステレオカメラの位置を計測するステップと、

を含む請求項 2 に記載の校正方法。

【請求項 4】

前記距離を計測するステップは、

前記計測点と前記ステレオカメラの光学中心との間にある中間計測点までの距離である第 1 距離を計測するステップと、

20

前記中間計測点から前記ステレオカメラの光学中心までの距離である第 2 距離を計測するステップと、

前記第 1 距離と、前記第 2 距離とにより、前記計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、

を含む請求項 3 に記載の校正方法。

【請求項 5】

前記ステレオカメラは車両のフロントガラスの内側に搭載され、前記中間計測点は、前記車両のフロントガラス上に設置する

請求項 4 に記載の校正方法。

30

【請求項 6】

ステレオカメラを校正する校正装置であって、

前記ステレオカメラの撮影範囲に入るように設置された被写体と前記ステレオカメラとの相対位置を算出する算出部と、

前記ステレオカメラにより撮影された前記被写体を含む撮影画像を受け付ける受付部と、

前記相対位置と、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定する決定部と、を備え、

前記算出部は、

前記被写体上の点から、前記被写体と前記ステレオカメラとの間にある中間計測点までの距離を計測し、前記中間計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測することにより、前記被写体から前記ステレオカメラまでの距離を計測し、

40

前記ステレオカメラの正対位置からの前記被写体の向きのずれを計測する、

校正装置。

【請求項 7】

第 1 カメラと第 2 カメラとを備えるステレオカメラの校正に用いられるデータを取得するための面を有する部材を備える計測用具であって、

前記面を有する部材は、

前記第 1 カメラの光学中心までの距離を取得する複数の距離計測装置を備え、

前記面は、

50

前記第1カメラが被写体を撮影して取得した第1撮影画像に含まれる前記被写体の像の位置と、前記第2カメラが前記被写体を撮影して取得した第2撮影画像に含まれる前記被写体の像の位置と、の差を示す視差を計測するための複数のマークを含む計測用具。

【請求項8】

前記距離計測装置は、上下左右に回転可能な2軸回転保持機構を備える請求項7に記載の計測用具。

【請求項9】

ステレオカメラを校正するコンピュータを、
前記ステレオカメラの撮影範囲に入るように設置された被写体と前記ステレオカメラとの相対位置を算出する算出部と、
前記ステレオカメラにより撮影された前記被写体を含む撮影画像を受け付ける受付部と

、
前記相対位置と、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定する決定部、として機能させ、
前記算出部は、

前記被写体上の点から、前記被写体と前記ステレオカメラとの間にある中間計測点までの距離を計測し、前記中間計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測することにより、前記被写体から前記ステレオカメラまでの距離を計測し、

前記ステレオカメラの正対位置からの前記被写体の向きのずれを計測する、
プログラム。

【請求項10】

ステレオカメラの校正に使用されるチャートを含む面を有する第1部材と、前記面上に設置され、前記面上の位置に依らずに一樣な強度の光を放射する光源と、前記光源を被覆し、複数の穴から前記光を放射する第2部材と、を備える計測用具によりステレオカメラを校正する校正方法であって、

前記ステレオカメラにより撮影された前記計測用具を被写体として含む撮影画像を取得するステップと、

前記ステレオカメラの正対位置からの前記計測用具の向きのずれを、前記撮影画像の最大輝度の位置に基づいて計測するステップと、

前記計測用具の向きのずれと、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定するステップと、
を含む校正方法。

【請求項11】

前記決定するステップは、
前記撮影画像から前記チャートの視差を算出するステップと、
前記計測用具の向きのずれを考慮した理想視差を算出するステップと、
前記視差と、前記理想視差とに基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定するステップと、

を含む請求項10に記載の校正方法。

【請求項12】

ステレオカメラの校正に使用されるチャートを含む面を有する第1部材と、前記面上に設置され、前記面上の位置に依らずに一樣な強度の光を放射する光源と、前記光源を被覆し、複数の穴から前記光を放射する第2部材と、を備える計測用具を被写体として含む、前記ステレオカメラにより撮影された撮影画像を受け付ける受付部と、

前記ステレオカメラの正対位置からの前記計測用具の向きのずれを、前記撮影画像の最大輝度の位置に基づいて計測する計測部と、

前記計測用具の向きのずれと、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定する決定部と、

を備える校正装置。

【請求項 1 3】

ステレオカメラの校正に使用されるチャートを含む面を有する第 1 部材と、前記面上に設置され、前記面上の位置に依らずに一様な強度の光を放射する光源と、前記光源を被覆し、複数の穴から前記光を放射する第 2 部材と、を備える計測用具。

【請求項 1 4】

前記第 2 部材は、前記穴が前記面に垂直な方向に所定の間隔で開けられた 1 枚の平板である

請求項 1 3 に記載の計測用具。

【請求項 1 5】

前記第 2 部材は、前記穴が前記面に垂直な方向に所定の間隔で開けられた 2 枚の平板であり、

前記 2 枚の平板は、前記面の正対方向から前記計測用具を撮影した場合に、前記穴の前記面上の位置が同じになるように前記面に対して平行に配置されている

請求項 1 3 に記載の計測用具。

【請求項 1 6】

前記 2 枚の平板は、前記 2 枚の平板の間の透明な物体により固定されている

請求項 1 5 に記載の計測用具。

【請求項 1 7】

前記穴は円形であり、前記穴の直径と、前記穴の間隔との和は、前記ステレオカメラと前記計測用具との間の校正距離における前記ステレオカメラの解像限界以下である

請求項 1 3 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の計測用具。

【請求項 1 8】

コンピュータを、

ステレオカメラの校正に使用されるチャートを含む面を有する第 1 部材と、前記面上に設置され、前記面上の位置に依らずに一様な強度の光を放射する光源と、前記光源を被覆し、複数の穴から前記光を放射する第 2 部材と、を備える計測用具を被写体として含む、前記ステレオカメラにより撮影された撮影画像を受け付ける受付部と、

前記ステレオカメラの正対位置からの前記計測用具の向きのずれを、前記撮影画像の最大輝度の位置に基づいて計測する計測部と、

前記計測用具の向きのずれと、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定する決定部、

として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は校正方法、校正装置、計測用具及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

被写体までの距離を計測できるステレオカメラが利用されている。例えば自動車に搭載されたステレオカメラ（以下「車載ステレオカメラ」という。）により、車両前方の被写体までの距離を計測して、自動車を制御する技術が実用化されている。例えば車載ステレオカメラが計測した距離は、自動車の衝突防止や車間距離の制御等の目的で、運転者への警告、ブレーキ及びステアリング等の制御に利用されている。

【0003】

一般に、車載ステレオカメラは自動車のフロントガラス内側に設置することが多い。これは、車載ステレオカメラを車外に設置すると、防水及び防塵などの点でより高い耐久性が必要になるためである。車内に設置されたステレオカメラは、車外の風景をフロントガラス越しに撮影する。一般に、フロントガラスは複雑な曲面形状を有し、またカメラ内のレンズのような光学部品と比べ、形状に歪みを持つ。そのためフロントガラスは、フロン

10

20

30

40

50

トガラス越しに撮影された撮影画像に歪みを生じさせる。また車両にステレオカメラを設置する際の設置位置及び方位によっても、撮影画像の歪みの特性が変化する。撮影画像に含まれるこれらの歪みを校正するためには、ステレオカメラを車両の所定の位置に設置した後、その状態でフロントガラス越しに撮影した撮影画像を利用して、撮影画像の歪みを校正（補正）するための校正パラメータを算出する必要がある。

【0004】

一般に、撮影画像の歪みを校正するための校正パラメータを算出する方法として、距離を計測するための特定のマークなどが記されているチャートを利用する方法が知られている。この方法では、当該マーク及びステレオカメラの相対位置から理論的に算出される撮影画像上のマーク（被写体）の位置と、当該マークを実際にステレオカメラで撮影した撮影画像上のマークの位置との差分に基づいて撮影画像の歪みを校正するための校正パラメータを算出する。つまり当該差分を解消するための変換を決定する校正パラメータを算出する。

10

【0005】

特許文献1には、ステレオカメラを構成する一対のカメラから出力された一対の画像データのそれぞれを、一方の画像データと他方の画像データとの座標のずれに基づく校正パラメータを用いて変換することにより、ステレオカメラの光学的な歪み及び位置的なずれを画像処理によって調整する装置が開示されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0006】

しかしながらステレオカメラとチャートとの相対位置に誤差があると、理論的に算出される撮影画像上の被写体の座標に誤差が生じるため、撮影画像の歪みを校正するための校正パラメータにも誤差が生じてしまう。特に車両などの物体に搭載されたステレオカメラとチャートとの相対位置は、誤差が生じやすいという問題があった。

【0007】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、ステレオカメラを校正する高精度な校正パラメータを算出することができる校正方法、校正装置、計測用具及びプログラム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】

30

【0008】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、ステレオカメラを校正する校正方法であって、前記ステレオカメラの撮影範囲に入るように設置された被写体と、前記ステレオカメラとの相対位置を計測するステップと、前記ステレオカメラにより撮影された前記被写体を含む撮影画像を取得するステップと、前記相対位置と、前記撮影画像と、に基づいて前記ステレオカメラを校正する校正パラメータを決定するステップと、を含み、前記相対位置を計測するステップは、前記被写体から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、前記ステレオカメラの正対位置からの前記被写体の向きのずれを計測するステップと、を含み、前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップは、前記被写体上の点から、前記被写体と前記ステレオカメラとの間にある中間計測点までの距離を計測するステップと、前記中間計測点から前記ステレオカメラまでの距離を計測するステップと、を含む。

40

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、ステレオカメラを校正する高精度な校正パラメータを算出することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は第1実施形態の計測用具と、ステレオカメラと、校正装置との関係の例を示す図である。

50

【図 2】図 2 は第 1 実施形態のステレオカメラの構成の例を示す図である。

【図 3】図 3 はステレオカメラを使用した距離の計測原理を説明するための図である。

【図 4】図 4 は第 1 実施形態の計測用具の例を示す図である。

【図 5】図 5 は第 1 実施形態の距離計測装置の例を示す図である。

【図 6】図 6 は第 1 実施形態の校正装置の構成の例を示す図である。

【図 7】図 7 は第 1 実施形態の被写体座標系の例を示す図である。

【図 8】図 8 は第 1 実施形態の第 1 カメラの位置を示す 3 次元座標を決定する方法の例を示す図である。

【図 9】図 9 は第 1 実施形態の第 1 カメラのカメラ座標系の例を示す図である。

【図 10】図 10 は第 1 実施形態における校正方法の全体概略フローチャートである。

10

【図 11】図 11 は第 1 実施形態の校正装置における校正方法の例を示すフローチャートである。

【図 12】図 12 は第 1 実施形態の校正方法の全体フローの例を示すフローチャートである。

【図 13】図 13 は第 1 実施形態の変形例の距離計測装置が、中間計測点を使用して第 1 カメラ（第 2 カメラ）との距離を計測する場合の例を説明するための図である。

【図 14】図 14 は第 2 実施形態の計測用具と、ステレオカメラと、校正装置との関係の例を示す図である。

【図 15 A】図 15 A は第 2 実施形態の角度計測板の断面を示す断面図である。

【図 15 B】図 15 B は第 2 実施形態の角度計測板の正面を示す正面図である。

20

【図 16】図 16 は第 2 実施形態の第 1 部材の正面図である。

【図 17】図 17 は第 1 カメラの光学中心の位置から第 2 部材に開けられた穴 106、穴 107 及び穴 108 を見た場合を説明するための図である。

【図 18 A】図 18 A は第 1 カメラの光学中心の位置から穴 106 を見た場合の穴 106 の形を示す図である。

【図 18 B】図 18 B は第 1 カメラの光学中心の位置から穴 107 を見た場合の穴 107 の形を示す図である。

【図 18 C】図 18 C は第 1 カメラの光学中心の位置から穴 108 を見た場合の穴 108 の形を示す図である。

【図 19 A】図 19 A は光学ボケを含まない場合の角度計測板の像を示す図である。

30

【図 19 B】図 19 B は光学ボケを含む場合の角度計測板の像を示す図である。

【図 20】図 20 は図 19 B の輝度の山の裾野の半径の大きさを説明するための図である。

【図 21】図 21 は撮像面の輝度ピークの位置と、角度計測板の傾きとの関係を説明するための図である。

【図 22】図 22 は計測用具の位置を示す平面の方程式を決定する方法を説明するための図である。

【図 23】図 23 は第 2 実施形態の校正装置の構成の例を示す図である。

【図 24】図 24 は第 2 実施形態における校正方法の全体概略フローチャートである。

【図 25】図 25 は第 2 実施形態の校正装置における校正方法の例を示すフローチャートである。

40

【図 26】図 26 は第 3 実施形態の角度計測板の断面を示す断面図である。

【図 27】図 27 は光の屈折の角度について説明するための図である。

【図 28】図 28 は第 3 実施形態の角度計測板から放射される光について説明するための図である。

【図 29】図 29 は計測用具の傾きと、輝度ピークの位置のずれとの関係を説明するための図である。

【図 30】図 30 はモアレ周期と輝度ピークの移動範囲との関係について説明するための図である。

【図 31】図 31 は隣接する穴の輝度ピークの位置について説明するための図である。

50

【図32】図32は第1乃至第3実施形態のステレオカメラ及び校正装置のハードウェア構成の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に添付図面を参照して、校正方法、校正装置、計測用具及びプログラムの実施形態を詳細に説明する。

【0012】

(第1実施形態)

図1は第1実施形態の計測用具20と、ステレオカメラ10と、校正装置30との関係の例を示す図である。図1は自動車のフロントガラスの内側に取り付けられたステレオカメラ10(車載ステレオカメラ)により撮影された撮影画像を校正する場合の例である。計測用具20はステレオカメラ10の撮影範囲に入るように設置する。例えば計測用具20はステレオカメラ10からおよそ2mの距離に、ほぼ正対するように設置する。計測用具20はステレオカメラ10を校正する校正パラメータを決定するための計測データを取得するために用いられる。計測データは、校正装置30としてのコンピュータに入力され、当該コンピュータにより校正パラメータが決定される。まず校正対象のステレオカメラ10について説明する。

【0013】

図2は第1実施形態のステレオカメラ10の構成の例を示す図である。本実施形態のステレオカメラ10は、第1カメラ1、第2カメラ2、記憶部3、外部I/F4、補正部5、及び算出部6を備える。第1カメラ1は被写体を撮影して第1撮影画像を取得する。第2カメラ2は被写体を撮影して第2撮影画像を取得する。第1カメラ1及び第2カメラ2は光軸が平行になるように並列に配置されている。第1カメラ1及び第2カメラ2の撮影タイミングは同期されており、同じ被写体を同時に撮影する。

【0014】

記憶部3は第1撮影画像、第2撮影画像、及び校正パラメータを記憶する。校正パラメータは、第1撮影画像及び第2撮影画像の歪みを補正するときを使用されるパラメータである。校正パラメータは本実施形態の校正方法により決定される。外部I/F4は、記憶部3のデータの入出力を行うためのインターフェースである。ステレオカメラ10で使用される校正パラメータは、本実施形態の校正方法により決定され、外部I/F4を使用して記憶部3に記憶される。

【0015】

補正部5は、記憶部3から第1撮影画像、第2撮影画像及び校正パラメータを読み出す。補正部5は校正パラメータに応じた画像補正式により第1撮影画像及び第2撮影画像を補正する。画像補正式は第1撮影画像(第2撮影画像)の座標を変換することにより第1撮影画像(第2撮影画像)を補正する式である。例えば第1撮影画像(第2撮影画像)の座標をアフィン変換により補正する場合には、当該画像補正式は行列により表現できるので、校正パラメータは行列の成分である。また第1撮影画像(第2撮影画像)の座標を非線形な変換により補正する場合には、校正パラメータは当該変換を表す多項式などの係数である。なお補正部5は、第1撮影画像及び第2撮影画像のいずれか一方を補正するよう

【0016】

算出部6は補正後の第1撮影画像及び補正後の第2撮影画像から、被写体毎の視差を算出する。ここで、視差と、視差を用いた距離計測原理について説明する。

【0017】

図3はステレオカメラ10を使用した距離の計測原理を説明するための図である。図3の例では、第1カメラ1(焦点距離 f 、光学中心 O_0 、撮像面 S_0)がZ軸を光軸方向として配置されている。また第2カメラ2(焦点距離 f 、光学中心 O_1 、撮像面 S_1)がZ

10

20

30

40

50

軸を光軸方向として配置されている。第1カメラ1及び第2カメラ2はX軸に対して平行に、距離B（基線長）だけ離れた位置に配置される。以下、図3の座標系を「カメラ座標系」という。また第1カメラ1の光学中心を基準とした座標系を「第1カメラ座標系」という。また第2カメラ2の光学中心を基準とした座標系を「第2カメラ座標系」という。

【0018】

第1カメラ1の光学中心 O_0 から光軸方向に距離 d だけ離れた位置にある被写体Aは、直線 $A - O_0$ と撮像面 S_0 の交点である P_0 に像を結ぶ。一方、第2カメラ2では、同じ被写体Aが、撮像面 S_1 上の位置 P_1 に像を結ぶ。

【0019】

ここで第2カメラ2の光学中心 O_1 を通り、直線 $A - O_0$ と平行な直線と、撮像面 S_1 との交点を P_0' とする。また P_0' と P_1 の距離を D とする。距離 D は同じ被写体の像を2台のカメラで撮影した画像上での位置のずれ量（視差）を表す。三角形 $A - O_0 - O_1$ と三角形 $O_1 - P_0' - P_1$ とは相似である。そのため、下記式（1）が成り立つ。

【0020】

【数1】

$$d = \frac{Bf}{D} \quad \dots(1)$$

【0021】

すなわち基線長 B 、焦点距離 f 及び視差 D から、被写体Aまでの距離 d を求めることができる。なお第1カメラ1及び第2カメラ2が正確に配置されている場合、第1カメラ座標系で算出された距離 d （第1カメラ1の光学中心 O_0 と被写体Aとの光軸方向の距離）と、第2カメラ座標系で算出された距離 d （第2カメラ2の光学中心 O_1 と被写体Aとの光軸方向の距離）と、は一致する。

【0022】

以上が、ステレオカメラ10による距離計測原理である。被写体Aまでの距離 d を正確に求めるには、第1カメラ1及び第2カメラ2が正確に配置されていなければならない。しかしながら第1カメラ1（第2カメラ2）は、X軸、Y軸又はZ軸周りに回転する方向に位置がずれる可能性がある。これにより、第1撮影画像（第2撮影画像）の座標は、およそ上下左右にずれを生じる。更にフロントガラスを介して被写体を撮影する車載ステレオカメラの場合、フロントガラスの影響による第1撮影画像（第2撮影画像）の歪みも生じる。ステレオカメラ10は、2台のカメラの組み付け公差による第1撮影画像（第2撮影画像）のずれ、及びフロントガラスによる第1撮影画像（第2撮影画像）の歪みに起因する視差の誤差を正す校正パラメータを使用して信号処理により第1撮影画像（第2撮影画像）を補正する。

【0023】

図2に戻り、算出部6は、視差を算出するときに基準にした撮影画像（第1撮影画像又は第2撮影画像）の画素の濃度値により画素毎の視差を表した視差画像を生成する。また算出部6は、視差画像及び式（1）を利用して被写体までの距離を算出する。

【0024】

次に計測用具20について説明する。図4は第1実施形態の計測用具20の例を示す図である。本実施形態の計測用具20は四角形の板状の構造を有する。なお計測用具20の形状及び材質は任意でよい。すなわち計測用具20は校正に用いられるデータを取得するための面を有する任意の部材でよい。計測用具20の表面は5つのマーク21を有する。当該マーク21は視差を算出するための計測用のチャートとして利用される。なおマーク21の形、個数及び位置は、本実施形態の態様に限られず任意でよい。また計測用具20の表面は、第1撮影画像上の点に対応する第2撮影画像上の対応点を検出し易くするための濃淡模様を有する。また四角形の板上の計測用具20の4隅に、それぞれ距離計測装置22a、距離計測装置22b、距離計測装置22c及び距離計測装置22dを備える。以下、距離計測装置22a、距離計測装置22b、距離計測装置22c及び距離計測装置2

10

20

30

40

50

2 dを区別しない場合は単に距離計測装置 2 2 という。

【 0 0 2 5 】

図 5 は第 1 実施形態の距離計測装置 2 2 の例を示す図である。距離計測装置 2 2 は、予め設定された計測点 2 3 を中心に上下左右に回転可能な 2 軸回転保持機構を有する。本実施形態の距離計測装置 2 2 はレーザー光 2 4 の TOF (Time Of Flight) を利用して距離を計測する。なお距離計測装置 2 2 の距離計測方式は任意でよい。例えば距離計測装置 2 2 は超音波を利用して距離を計測してもよい。

【 0 0 2 6 】

距離計測装置 2 2 は第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 (図 3 参照) までの距離を示す距離情報 (以下「第 1 距離情報」という。) と、第 2 カメラ 2 の光学中心 O_1 (図 3 参照) までの距離を示す距離情報 (以下「第 2 距離情報」という。) と、を取得する。なお図 4 において、計測用具 2 0 の 4 隅に距離計測装置 2 2 を備える理由は、図 5 の計測点 2 3 同士を互いにできるだけ離すためである。これにより値ができるだけ異なる複数の第 1 距離情報 (第 2 距離情報) を取得することができ、後述の校正装置 3 0 が、第 1 カメラ 1 (第 2 カメラ 2) と計測用具 2 0 との間の距離 (第 1 カメラ 1 の光軸方向の距離、又は第 2 カメラ 2 の光軸方向の距離) を算出するときの精度を上げることができる。なお距離計測装置 2 2 の個数及び位置は、本実施形態の態様に限られず任意でよい。

【 0 0 2 7 】

図 6 は第 1 実施形態の校正装置 3 0 の構成の例を示す図である。本実施形態の校正装置 3 0 は、受付部 3 1、第 1 カメラ位置算出部 3 2、第 1 カメラ方位算出部 3 3、第 2 カメラ位置算出部 3 4、第 2 カメラ方位算出部 3 5、距離算出部 3 6、理想視差算出部 3 7、視差算出部 3 8 及び決定部 3 9 を備える。校正装置 3 0 は情報処理装置 (コンピュータ) である。

【 0 0 2 8 】

受付部 3 1 は複数 (本実施形態では 4 つ) の第 1 距離情報と、複数 (本実施形態では 4 つ) の第 2 距離情報と、計測用具 2 0 を被写体として含む第 1 撮影画像と、計測用具 2 0 を被写体として含む第 2 撮影画像と、被写体座標系における複数 (本実施形態では 5 つ) のマーク 2 1 の 3 次元座標情報と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報と、を受け付ける。受付部 3 1 は、例えば校正装置 3 0 のユーザーの操作に応じて、複数の第 1 距離情報と、第 1 撮影画像と、第 2 撮影画像と、複数のマーク 2 1 の 3 次元座標情報と、距離計測装置 2 2 の 3 次元座標情報と、を示す入力を受け付ける。ここで被写体座標系について説明する。

【 0 0 2 9 】

図 7 は第 1 実施形態の被写体座標系の例を示す図である。図 7 の例は、計測用具 2 0 の左下の端に 3 次元座標の原点をとった場合の例である。被写体座標系の距離計測装置 2 2 a (計測点 2 3 a)、距離計測装置 2 2 b (計測点 2 3 b)、距離計測装置 2 2 c (計測点 2 3 c)、及び距離計測装置 2 2 d (計測点 2 3 d) の位置を示す 4 つの 3 次元座標は正確に求めることができる。すなわち被写体座標系における当該 4 つの 3 次元座標は既知である。また、同様に、被写体座標系における複数 (本実施形態では 5 つ) のマーク 2 1 の 3 次元座標情報も既知である。

【 0 0 3 0 】

図 6 に戻り、受付部 3 1 は被写体座標系における複数 (本実施形態では 5 つ) のマーク 2 1 の 3 次元座標情報を距離算出部 3 6 に入力する。受付部 3 1 は第 1 撮影画像と第 2 撮影画像とを視差算出部 3 8 に入力する。

【 0 0 3 1 】

また受付部 3 1 は第 1 距離情報と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報と、を第 1 カメラ位置算出部 3 2 に入力する。また受付部 3 1 は第 2 距離情報と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報と、を第 2 カメラ位置算出部 3 4 に入力する。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

また受付部 3 1 は第 1 撮影画像と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報とを第 1 カメラ方位算出部 3 3 に入力する。また受付部 3 1 は第 2 撮影画像と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報とを第 2 カメラ方位算出部 3 5 に入力する。

【 0 0 3 3 】

第 1 カメラ位置算出部 3 2 は複数 (本実施形態では 4 つ) の第 1 距離情報と、被写体座標系における距離計測装置 2 2 (計測点 2 3) の 3 次元座標情報とから、第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 の位置を示す 3 次元座標 (以下「第 1 カメラ座標」という。) を、被写体座標系を使用して算出する。

【 0 0 3 4 】

図 8 は第 1 実施形態の第 1 カメラ 1 の位置を示す 3 次元座標を決定する方法の例を示す図である。 d_0 は距離計測装置 2 2 a が取得した第 1 距離情報を示す。すなわち計測点 2 3 a から第 1 カメラ 1 までの距離を示す。 d_1 は距離計測装置 2 2 b が取得した第 1 距離情報を示す。すなわち計測点 2 3 b から第 1 カメラ 1 までの距離を示す。 d_2 は距離計測装置 2 2 c が取得した第 1 距離情報を示す。すなわち計測点 2 3 c から第 1 カメラ 1 までの距離を示す。

【 0 0 3 5 】

第 1 カメラ 1 の位置を示す 3 次元座標は、被写体座標系を使用して理論的には次のようにして算出することができる。まず計測点 2 3 a を中心とし、半径 d_0 の球面を表す点集合 2 5 a を求める。次に計測点 2 3 b を中心とし、半径 d_1 の球面を表す点集合 2 5 b を求める。次に計測点 2 3 c を中心とし、半径 d_2 の球面を表す点集合 2 5 c を求める。次に点集合 2 5 a と点集合 2 5 b の両方に含まれる点集合を求める。この点集合は図 8 の $d_0 \& d_1$ である。 $d_0 \& d_1$ は半径 d_0 の球面を表す点集合と、半径 d_1 の球面を表す点集合と、の交点により表される点集合 (円弧) である。次に点集合 2 5 b と点集合 2 5 c の両方に含まれる点集合を求める。この点集合は図 8 の $d_1 \& d_2$ である。 $d_1 \& d_2$ は半径 d_1 の球面を表す点集合と、半径 d_2 の球面を表す点集合と、の交点により表される点集合 (円弧) である。最後に図 8 の $d_0 \& d_1$ により表される円弧と、 $d_1 \& d_2$ により表される円弧との交点 C を求めることにより、第 1 カメラ座標を算出することができる。すなわち理論的には第 1 距離情報が 3 つあれば第 1 カメラ座標を算出することができる。

【 0 0 3 6 】

しかしながら距離計測装置 2 2 の計測誤差を考慮すると、より多くの計測点 2 3 (本実施形態では 4 つ) を使用して第 1 カメラ座標を算出することが望ましい。そのため第 1 カメラ位置算出部 3 2 は、例えば次式 (2) による最小二乗近似を行って交点 C を算出することにより第 1 カメラ座標を算出する。

【 0 0 3 7 】

【数 2】

$$E_1(p) = \sum_{i=1}^n (|p_i - p| - d_i)^2 \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 8 】

ここで、 n は計測点 2 3 の個数である。 p_i は i 番目の計測点 2 3 の 3 次元座標である。 d_i は距離計測装置 2 2 により計測された i 番目の計測点 2 3 から第 1 カメラ 1 までの距離である。

【 0 0 3 9 】

図 6 に戻り、第 1 カメラ位置算出部 3 2 は被写体座標系を使用して算出した第 1 カメラ座標を第 1 カメラ方位算出部 3 3 に入力する。また第 1 カメラ位置算出部 3 2 は被写体座標系を使用して算出した第 1 カメラ座標を距離算出部 3 6 に入力する。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

第1カメラ方位算出部33は第1撮影画像と、被写体座標系における距離計測装置22（計測点23）の3次元座標情報とを受付部31から受け付ける。また第1カメラ方位算出部33は被写体座標系を使用して算出した第1カメラ座標を第1カメラ位置算出部32から受け付ける。

【0041】

第1カメラ方位算出部33はカメラ座標系を使用して、計測点23（23a, 23b, 23c, 23d）の3次元座標と、第1撮影画像上の計測点23（23a, 23b, 23c, 23d）の像の2次元座標と、第1カメラ1の焦点距離と、から第1カメラ1の向き（光軸方向）を算出する。具体的には、まず第1カメラ方位算出部33は、被写体座標系を使用して算出された計測点23の3次元座標を、第1カメラ1の光学中心 O_0 を原点としたカメラ座標系に変換する。すなわち、このカメラ座標系はピンホールカメラモデルにおけるピンホールの位置を原点とした座標である。なお、この時点のカメラ座標系は、まだ第1カメラの向きのずれに起因するカメラ座標系の向きになっていない。次に第1カメラ方位算出部33は当該カメラ座標系を、第1カメラの向きのずれに起因するカメラ座標系の向きに合わせるための3軸回転角 $r = (\alpha, \beta, \gamma)$ を算出する。

10

【0042】

図9は第1実施形態の第1カメラ1のカメラ座標系の例を示す図である。計測点23（被写体）の3次元座標を (x, y, z) とし、撮像面40上の2次元座標を (u, v) とし、第1カメラ1の焦点距離を f とする。このとき計測点23の撮像面40上の像41の位置は次式(3)により表すことができる。

20

【0043】

【数3】

$$(u, v) = \left(f \frac{x}{z}, f \frac{y}{z} \right) \quad \dots(3)$$

【0044】

一般に、カメラの光学中心の位置、当該カメラの焦点距離 f 、計測点23の3次元座標 $p = (x, y, z)$ 、及びカメラ方向（3軸回転角 $r = (\alpha, \beta, \gamma)$ ）から、式(3)を利用して撮像面40上の2次元座標 (u, v) を算出することができる。なお α はX軸に対する回転角、 β はY軸に対する回転角、 γ はZ軸に対する回転角を示す。

30

【0045】

逆に、カメラの光学中心の位置、当該カメラの焦点距離 f 、計測点23の3次元座標 $p = (x, y, z)$ 、及び撮像面40上の2次元座標 (u, v) から、式(3)を利用してカメラ方向（3軸回転角 $r = (\alpha, \beta, \gamma)$ ）を特定することができる。

【0046】

式(3)の関係をを利用して、3軸回転角 $r = (\alpha, \beta, \gamma)$ 、及び計測点23の3次元座標 $p = (x, y, z)$ から、撮像面40上の2次元座標 (u, v) を算出する関数を F とする $((u, v) = F(r, p))$ 。

40

【0047】

第1カメラ方位算出部33は次式(4)による最小二乗近似を行うことにより3軸回転角 $r = (\alpha, \beta, \gamma)$ を算出する。

【0048】

【数4】

$$E_2(r) = \sum_{i=1}^n |F(r, p_i) - (u_i, v_i)|^2 \quad \dots(4)$$

【0049】

50

ここで、 n は計測点23の個数である。 p_i は i 番目の計測点23の3次元座標である。 (u_i, v_i) は i 番目の計測点23に対応する撮像面40上の2次元座標である。

【0050】

なおカメラ方向(3軸回転角 r)は3変数なので、束縛条件としては撮像面40上の2点の2次元座標があれば式(3)からカメラ方向を決定することができる。第1カメラ方位算出部33が、式(4)によって3軸回転角 $r = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ を算出する理由は、第1撮影画像がフロントガラス越しに撮影されているためである。すなわち第1撮影画像はフロントガラスに起因する歪みを含んでいるため、多数の計測点23を用いて、式(4)により最小二乗近似して3軸回転角 $r = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ を算出することが望ましい。

10

【0051】

なお (u, v) により歪みが異なる場合、例えば画面中央に比べ画像周辺部の歪みが大きいことが予め想定されていれば、それに応じて、計測点23が第1撮影画像の中央部に映るように計測点の位置を配置してもよい。また式(4)において、計測点23に応じて加重をかけたりしてもよい。

【0052】

また計測点23として距離計測装置22の計測点23を利用したが、被写体座標系において既知の座標であれば任意の計測点23を利用してもよい。例えば計測用具20上の計測に適した任意の計測点23や、計測用具20上にない計測に適した任意の計測点23を利用してもよい。

20

【0053】

図6に戻り、第1カメラ方位算出部33は、上述の式(4)により算出した第1カメラ1の向き(3軸回転角 $r = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$)を距離算出部36に入力する。

【0054】

第2カメラ位置算出部34は複数(本実施形態では4つ)の第2距離情報から、第2カメラ2の光学中心 O_2 の位置を示す3次元座標(以下「第2カメラ座標」という。)を、被写体座標系を使用して算出する。第2カメラ座標の算出方法は第1カメラ座標の算出方法と同じであるため詳細な説明を省略する。第2カメラ位置算出部34は被写体座標系を使用して算出した第2カメラ座標を第2カメラ方位算出部35に入力する。また第2カメラ位置算出部34は被写体座標系を使用して算出した第2カメラ座標を視差算出部38に入力する。

30

【0055】

第2カメラ方位算出部35は第2撮影画像と、被写体座標系における距離計測装置22(計測点23)の3次元座標情報とを受付部31から受け付ける。また第2カメラ方位算出部35は被写体座標系を使用して算出した第2カメラ座標を第2カメラ位置算出部34から受け付ける。

【0056】

第2カメラ方位算出部35はカメラ座標系を使用して、計測点23($23a, 23b, 23c, 23d$)の3次元座標と、第2撮影画像上の計測点23($23a, 23b, 23c, 23d$)の像の2次元座標と、第2カメラ2の焦点距離と、から第2カメラ2の向き(光軸方向)を算出する。第2カメラ2の向きの算出方法は第1カメラ1の向きの算出方法と同じであるため詳細な説明を省略する。第2カメラ方位算出部35は第2カメラ2の向き(3軸回転角 $r = (\theta_2, \theta_2, \theta_2)$)を距離算出部36に入力する。

40

【0057】

距離算出部36は、被写体座標系における複数のマーク21の3次元座標情報を受付部31から受け付ける。また距離算出部36は、被写体座標系を使用して算出した第1カメラ座標を第1カメラ位置算出部32から受け付ける。また距離算出部36は、第1カメラ1の向き(3軸回転角 $r = (\theta_1, \theta_1, \theta_1)$)を第1カメラ方位算出部33から受け付ける。また距離算出部36は、被写体座標系を使用して算出した第2カメラ座標を第2カメラ位置算出部34から受け付ける。また距離算出部36は、第2カメラ2の向き(3

50

軸回転角 $r = (\quad 2, \quad 2, \quad 2)$ を第 2 カメラ方位算出部 3 5 から受け付ける。

【 0 0 5 8 】

距離算出部 3 6 は複数のマーク 2 1 のそれぞれについて、第 1 カメラ座標と第 1 カメラ 1 の向きとに基づく第 1 カメラ座標系を使用して、第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 と複数のマーク 2 1 との第 1 カメラ 1 の光軸方向の距離 d を算出する。

【 0 0 5 9 】

具体的には、まず距離算出部 3 6 は第 1 カメラ座標を原点とするカメラ座標系を、第 1 カメラ 1 の向き (3 軸回転角 $r = (\quad 1, \quad 1, \quad 1)$) だけ回転させることにより第 1 カメラ座標系に変換する。すなわち第 1 カメラ座標系は第 1 カメラ座標を原点とし、第 1 カメラ 1 の光軸方向を Z 軸とし、原点を含む Z 軸と垂直な平面の水平方向の原点を通る直線を X 軸とし、原点を含む Z 軸と垂直な平面の垂直方向の原点を通る直線を Y 軸とした座標系である。次に距離算出部 3 6 は第 1 カメラ座標系及び式 (1) を使用して、第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 と複数のマーク 2 1 との第 1 カメラ 1 の光軸方向の距離 d を算出する (図 3 参照)。以上により、被写体 (複数のマーク 2 1) と、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0) との相対位置が明確になる。距離算出部 3 6 は複数のマーク 2 1 の各々とステレオカメラ 1 0 との当該距離 d を示す距離情報を理想視差算出部 3 7 に入力する。

10

【 0 0 6 0 】

なお距離算出部 3 6 は第 2 カメラ座標と第 2 カメラ 2 の向きに基づく第 2 カメラ座標系を使用して、第 2 カメラ 2 の光学中心 O_1 と複数のマーク 2 1 との第 2 カメラ 2 の光軸方向の距離 d を算出してもよい。

20

【 0 0 6 1 】

理想視差算出部 3 7 は上述の距離情報を距離算出部 3 6 から受け付ける。理想視差算出部 3 7 は上述の距離情報に基づいて第 1 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 と、第 2 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 との理想の視差を示す理想視差を、複数のマーク 2 1 毎に式 (1) を使用して算出する。理想視差算出部 3 7 は理想視差を決定部 3 9 に入力する。

【 0 0 6 2 】

視差算出部 3 8 は第 1 撮影画像と第 2 撮影画像とを受付部 3 1 から受け付ける。視差算出部 3 8 は第 1 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 と、第 2 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 との視差を、複数のマーク 2 1 毎に算出する。視差算出部 3 8 は視差を決定部 3 9 に入力する。

30

【 0 0 6 3 】

決定部 3 9 は理想視差を理想視差算出部 3 7 から受け付け、視差を視差算出部 3 8 から受け付ける。また決定部 3 9 は第 1 撮影画像と第 2 撮影画像とを受付部 3 1 から受け付ける。決定部 3 9 は第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像を補正する校正パラメータを、視差と理想視差とに基づいて決定する。例えば決定部 3 9 は視差と理想視差との差分が 0 になるように補正するための校正パラメータを決定する。

【 0 0 6 4 】

なお決定部 3 9 は垂直方向 (Y 軸方向) に視差が生じている場合、被写体 (複数のマーク) との距離によらずに、当該縦方向の視差を 0 にする補正をするための校正パラメータを決定する。この理由は、視差は水平方向 (X 軸方向) のみに生じることを前提としているためである。

40

【 0 0 6 5 】

図 1 0 は第 1 実施形態における校正方法の全体概略フローチャートである。ステレオカメラ 1 0 が、撮影画像を取得する (ステップ S 1 0 1)。具体的には、第 1 カメラ 1 が、第 1 撮影画像を取得し、第 2 カメラ 2 が、第 2 撮影画像を取得する。

【 0 0 6 6 】

次に、校正装置 3 0 が、ステレオカメラ 1 0 と被写体との相対位置を計測する (ステップ S 1 0 2)。具体的には、校正装置 3 0 が、ステレオカメラ 1 0 の第 1 カメラ 1 の光学

50

中心 O_0 と、計測用具20上の複数のマーク21との相対位置を、後述のステップS6～ステップS10により計測する。

【0067】

次に、校正装置30が、相対位置に基づく校正パラメータを決定する(ステップS103)。具体的には、校正装置30が、第1撮影画像に含まれる複数のマーク21と、第2撮影画像に含まれる複数のマーク21との視差が、ステップS102で計測された相対位置に基づく理想の視差を示す理想視差と一致するように、第1撮影画像及び第2撮影画像の少なくとも一方を補正する校正パラメータを決定する。

【0068】

次にフローチャートを参照して本実施形態の校正装置30における校正方法の詳細について説明する。図11は第1実施形態の校正装置30における校正方法の例を示すフローチャートである。

【0069】

受付部31は計測用具20上の座標情報を受け付ける(ステップS1)。当該座標情報は被写体座標系における複数の(本実施形態では5つ)のマーク21の3次元座標情報と、被写体座標系における複数の(本実施形態では4つ)の距離計測装置22(計測点23)の3次元座標情報である。また受付部31は複数の(本実施形態では4つ)の第1距離情報を受け付ける(ステップS2)。また受付部31は複数の(本実施形態では4つ)の第2距離情報を受け付ける(ステップS3)。また受付部31は計測用具20を被写体として含む第1撮影画像を受け付ける(ステップS4)。また受付部31は計測用具20を被写体として含む第2撮影画像を受け付ける(ステップS5)。

【0070】

次に、第1カメラ位置算出部32は、複数の第1距離情報と、被写体座標系における距離計測装置22(計測点23)の3次元座標情報とから、第1カメラ1の光学中心 O_0 の位置を示す第1カメラ座標を、被写体座標系を使用して算出する(ステップS6)。

【0071】

次に、第2カメラ位置算出部34は、複数の第2距離情報と、被写体座標系における距離計測装置22(計測点23)の3次元座標情報とから、第2カメラ2の光学中心 O_1 の位置を示す第2カメラ座標を、被写体座標系を使用して算出する(ステップS7)。

【0072】

次に、第1カメラ方位算出部33はカメラ座標系を使用して、計測点23(23a, 23b, 23c, 23d)の3次元座標と、第1撮影画像上の計測点23の像の2次元座標と、第1カメラ1の焦点距離と、から第1カメラ1の向き(光軸方向)を算出する(ステップS8)。

【0073】

次に、第2カメラ方位算出部35はカメラ座標系を使用して、計測点23(23a, 23b, 23c, 23d)の3次元座標と、第2撮影画像上の計測点23の像の2次元座標と、第2カメラ2の焦点距離と、から第2カメラ2の向き(光軸方向)を算出する(ステップS9)。

【0074】

次に、距離算出部36は複数のマーク21のそれぞれについて、第1カメラ座標と第1カメラ1の向きとに基づく第1カメラ座標系を使用して、第1カメラ1の光学中心 O_0 と複数のマーク21との第1カメラ1の光軸方向の距離 d を算出する(ステップS10)。ステップS6～ステップS10により、被写体(複数のマーク21)と、ステレオカメラ10(第1カメラ1の光学中心 O_0)との相対位置が明確になる。

【0075】

次に、理想視差算出部37はステップS10で算出した第1カメラ1の光軸方向の距離 d に基づいて、第1撮影画像に含まれる複数のマーク21と、第2撮影画像に含まれる複数のマーク21との理想の視差を示す理想視差を、複数のマーク21毎に式(1)を使用して算出する(ステップS11)。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

次に、視差算出部 3 8 は第 1 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 と、第 2 撮影画像に含まれる複数のマーク 2 1 との視差を、複数のマーク 2 1 毎に算出する（ステップ S 1 2）。

【 0 0 7 7 】

次に、決定部 3 9 は第 1 撮影画像と第 2 撮影画像とを、視差と理想視差との差分が 0 になるように補正するための校正パラメータを決定する（ステップ S 1 3）。

【 0 0 7 8 】

なお上述のステップ S 1 0 において、距離算出部 3 6 は第 2 カメラ座標と第 2 カメラ 2 の向きに基づく第 2 カメラ座標系を使用して、第 2 カメラ 2 の光学中心 O_1 と複数のマーク 2 1 との第 2 カメラ 2 の光軸方向の距離 d を算出してもよい。

10

【 0 0 7 9 】

次に、上述の計測用具 2 0、及び上述の校正装置 3 0 を使用した本実施形態の校正方法の全体フローについて説明する。図 1 2 は第 1 実施形態の校正方法の全体フローの例を示すフローチャートである。

【 0 0 8 0 】

まず、計測用具 2 0 を、ステレオカメラ 1 0 を搭載した車両の前方に、ほぼ正対するように設置する（ステップ S 2 1）。次に、計測用具 2 0 が、ステレオカメラ 1 0 の光学中心 O_0 と、計測用具 2 0 上の複数の計測点 2 3 との距離を計測する（ステップ S 2 2）。具体的には、計測用具 2 0 四隅の距離計測装置 2 2 を適宜回転し、車両のフロントガラス越しにステレオカメラ 1 0 の光学中心 O_0 までの距離を計測する。次に、ステレオカメラ 1 0 が、計測用具 2 0 の位置をそのままにして、フロントガラス越しに計測用具 2 0 を撮影する（ステップ S 2 3）。

20

【 0 0 8 1 】

次に、ステップ S 2 2 で計測された計測データを校正装置 3 0 に入力する（ステップ S 2 4）。このとき、計測用具 2 0 上の複数のマーク 2 1 を示す被写体座標系の座標、及び計測用具 2 0 上の複数の計測点 2 3 を示す被写体座標系の座標も同時に入力する。次に、ステップ S 2 3 で撮影した撮影画像を校正装置 3 0 に入力する（ステップ S 2 5）。

【 0 0 8 2 】

次に、校正装置 3 0 が、計測用具 2 0 と、ステレオカメラ 1 0 の光学中心 O_0 と、の相対位置を算出する（ステップ S 2 6）。具体的には、校正装置 3 0 が、ステレオカメラ 1 0 の位置、及び方向を算出する（図 1 1 のステップ S 6 ~ ステップ S 9）。そして、校正装置 3 0 が、計測用具 2 0（複数のマーク 2 1）と、ステレオカメラ 1 0 の光学中心 O_0 と、の第 1 カメラ 1 の光軸方向の距離 d を算出する（図 1 1 のステップ S 1 0）。

30

【 0 0 8 3 】

次に、校正装置 3 0 が、ステップ S 2 6 で算出された相対位置に基づいて理想視差を算出する（ステップ S 2 7）。具体的には、校正装置 3 0 は図 1 1 のステップ S 1 1 の方法で理想視差を算出する。次に、校正装置 3 0 が、ステップ S 2 5 で入力された撮影画像に基づいて視差を算出する（ステップ S 2 8）。具体的には、校正装置 3 0 は図 1 1 のステップ S 1 2 の方法で視差を算出する。次に、校正装置 3 0 が、相対位置と、撮影画像と、に基づいてステレオカメラ 1 0 を校正する校正パラメータを決定する（ステップ S 2 9）。具体的には、校正装置 3 0 が、相対位置から算出された理想視差と、撮影画像から算出された視差と、に基づいてステレオカメラ 1 0 で撮影された撮影画像を校正する校正パラメータを決定する（図 1 1 のステップ S 1 3）。

40

【 0 0 8 4 】

以上説明したように、第 1 実施形態の校正方法では、ステレオカメラ 1 0 の撮影範囲に入るように設置された計測用具 2 0 と、ステレオカメラ 1 0 との相対位置を計測し、当該相対位置と、ステレオカメラ 1 0 により撮影された、計測用具 2 0 を被写体として含む撮影画像と、に基づいてステレオカメラ 1 0 を校正する校正パラメータを決定する。これにより設置位置精度の確保が難しい車両搭載状態のステレオカメラ 1 0 に対しても高精度な

50

校正パラメータを算出することができる。

【 0 0 8 5 】

なお第1実施形態では、自動車に搭載されたステレオカメラ10を校正する場合について説明した。しかしながら自動車などの車両（移動体）に限られない任意の物体に搭載されたステレオカメラ10に、第1実施形態の校正方法を適用してもよい。また、物体に搭載されていないステレオカメラ10に対しても、より高精度な校正を実施したければ、本実施形態の方法が適用できる。

【 0 0 8 6 】

（第1実施形態の変形例）

次に第1実施形態の校正方法の変形例について説明する。第1実施形態の変形例の校正方法は、距離計測装置22が第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心までの距離を計測せずに、第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心との間にある中間計測点までの距離を計測する。これは、一般にカメラの光学中心が、レンズ内部に位置するため、直接計測することが困難であるためである。

10

【 0 0 8 7 】

図13は第1実施形態の変形例の距離計測装置22が、中間計測点を使用して第1カメラ1（第2カメラ2）との距離を計測する場合の例を説明するための図である。図13の例は、中間計測点61を計測装置20と垂直な方向にとり、第1カメラ1（第2カメラ2）の位置62の近傍にとる場合の例である。例えば中間計測点61はフロントガラス上にとる。

20

【 0 0 8 8 】

距離計測装置22は、第1カメラ1の光学中心近傍に設けられた中間計測点と、計測用具20上の計測点23との距離を示す距離情報（以下「第1中間距離情報」という。）を計測する。また距離計測装置22は、第2カメラ2の光学中心近傍に設けられた中間計測点と、計測用具20上の計測点23との距離を示す距離情報（以下「第2中間距離情報」という。）を計測する。

【 0 0 8 9 】

受付部31は、第1中間距離情報及び第2中間距離情報を受け付ける。また受付部31は、中間計測点61から第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心までの距離は、計測した値や設計値などから別途取得された距離情報として受け付ける。

30

【 0 0 9 0 】

第1カメラ位置算出部32（第2カメラ位置算出部34）は、まず式（2）により中間計測点61の位置を示す座標を決定する。次に第1カメラ位置算出部32（第2カメラ位置算出部34）は、中間計測点61の位置を示す座標と、中間計測点61から第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心までの距離を示す距離情報と、により第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心の座標を算出する。

【 0 0 9 1 】

なお中間計測点61から第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心までの距離は、計測用具20の被写体座標系を使用せずに、カメラ座標系により独立に計測してもよい。またカメラ光軸63の方向と、計測用具20と垂直な直線との方向の差分が小さいときは、計測用具20と垂直な直線上にある位置65を、第1カメラ1（第2カメラ2）の光学中心の位置とみなしてもよい。これは実際の第1カメラ1（第2カメラ2）の位置との誤差64は無視できる程小さくなるためである。

40

【 0 0 9 2 】

また中間計測点61と計測用具20の計測点23との間の距離は、距離計測装置22を使用せずに巻尺などにより計測してもよい。

【 0 0 9 3 】

（第2実施形態）

次に第2実施形態について説明する。第2実施形態では、ステレオカメラ10の校正に使用される計測用具が第1実施形態と異なる。第2実施形態のステレオカメラ10の校正

50

では、第1カメラ1又は第2カメラ2のいずれか一方を使用する。第2実施形態の説明では第1カメラ1を使用して説明するが、第2カメラ2を使用してもよい。

【0094】

図14は第2実施形態の計測用具120と、ステレオカメラ10と、校正装置30との関係の例を示す図である。第2実施形態では、計測用具20ではなく計測用具120が使用される。ステレオカメラ10及び校正装置30の説明は、図1の説明と同じなので省略する。計測用具120は、第1実施形態の計測用具20と同様に、ステレオカメラ10との相対位置を計測するために使用されるが、第1実施形態の計測用具20とは形態が異なる。第2実施形態の計測用具120は、角度計測板101及び第1部材102を備える。角度計測板101は水平方向に傾いた計測用具120のずれを示す角度、及び垂直方向に傾いた計測用具120のずれを示す角度の計測に使用される。第1部材102はステレオカメラ10を校正するためのチャートとして使用される。

10

【0095】

図15A乃至図16を参照して計測用具120の構成について詳細に説明する。図15Aは第2実施形態の角度計測板101の断面を示す断面図である。図15Bは第2実施形態の角度計測板101の正面を示す正面図である。図16は第2実施形態の第1部材102の正面図である。

【0096】

角度計測板101は光源103及び第2部材104を備える。光源103は一様な輝度分布を持つ平面状の拡散光源である。すなわち光源103は第1部材102の面上の位置に依らずに一様な強度の光(面上の位置に依る光の強度の差が所定の範囲内の光)を放射する。

20

【0097】

第2部材104は光源103を被覆するように設置されており、複数の穴105から光源103の光を放射する。それぞれの穴105は第1部材102の面に垂直な方向に所定の間隔で開けられている。図15Bの例では、直径bの円形の穴105が、ピッチaで縦横に整列するように開けられている。なお穴105の数、形及び配列の仕方は図15Bの形態に限られず任意でよい。また第2部材104の材質は任意でよい。第2部材104の材質は、例えば金属である。

【0098】

角度計測板101(第2部材104)は第1部材102の面の中央に配置されている。また第1部材102は角度計測板101(第2部材104)の上部にマーク111を有する。マーク111は第1部材102(計測用具120)と校正対象のステレオカメラ10(第1カメラ1)との間の距離を算出するための基準点として使用される。また第1部材102の表面は、第1実施形態の計測用具20の表面と同様に、第1撮影画像上の点に対応する第2撮影画像上の対応点を検出し易くするための濃淡模様を有する。

30

【0099】

図17は第1カメラ1の光学中心 O_0 の位置から第2部材104に開けられた穴106、穴107及び穴108を見た場合を説明するための図である。穴106の位置では、光学中心 O_0 の位置からの視線と、第2部材104の面との角度が直交するため、第2部材104の背後にある光源103の光が図18Aの形に見える。穴107の位置では、光学中心 O_0 の位置からの視線が第2部材104の穴107に斜めに進入するため、第2部材104の背後にある光源103の光が図18Bの形に見える。穴108の位置では、光学中心 O_0 の位置からの視線が第2部材104の穴108に進入しないため、第2部材104の背後にある光源103の光が見えなくなる(図18C)。

40

【0100】

すなわち穴のピッチaに比べ十分高い解像度の第1カメラ1で角度計測板101(第2部材104)を撮影すれば、第1カメラ1の光学中心 O_0 からの視線と第2部材104の面とが直交している箇所付近の穴の像の面積は大きく写る。そして第1カメラ1の光学中心 O_0 からの視線と第2部材104の面とが直交している箇所から離れるに従って穴の

50

像の面積が欠けてゆき、十分大きく離れた位置では穴の像が写らなくなる。

【 0 1 0 1 】

ここで第 2 部材 1 0 4 の穴 1 0 5 のピッチ a について説明する。図 1 5 B の穴 1 0 5 のピッチ a は、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の解像限界よりも狭く設定する。例えば (半) 視野角 2 0 度、撮影距離 (校正距離) 2 m、6 4 0 × 4 8 0 画素センサという条件の場合、下記式 (5) より、ピッチ a がおよそ 2 m m 以下であれば、画素ピッチよりも小さくなる。

【 0 1 0 2 】

【 数 5 】

$$\tan(20[\text{deg}]) \times 2000/320 \approx 2.3 \quad \dots(5)$$

10

【 0 1 0 3 】

ピッチ a が画素ピッチよりも小さい場合、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) により角度計測板 1 0 1 (第 2 部材 1 0 4) を撮影すると、撮影画像は図 1 9 A のようになる。しかしながら現実には画素開口特性、結像光学系のボケ、カラーカメラの場合の光学 L P F (Low Pass Filter) 等の光学ボケの影響により、ピッチ a がおよそ 2 m m 以下であっても解像限界を超えることになる。すると、撮影画像上では、個々の穴は判別できず、図 1 9 A の画像をぼかした形の図 1 9 B のような大きな一つの輝度の山 (輝度分布) となる。図 1 9 B の輝度の山の頂点は、例えば図 1 7 の穴 1 0 6 付近に対応する。また図 1 9 B の輝度の山の裾野は、例えば図 1 7 の穴 1 0 8 付近に対応する。

20

【 0 1 0 4 】

図 2 0 は図 1 9 B の輝度の山の裾野の半径 c の大きさを説明するための図である。第 2 部材 1 0 4 の厚さを 4 0 m m、穴 1 0 8 の直径を 1 m m とする。またステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の (半) 視野角を 2 0 度、画素センサを 6 4 0 × 4 8 0 ピクセルとする。このとき輝度の山の裾野の半径 c は下記式 (6) よりおよそ 2 2 ピクセルになる。

【 0 1 0 5 】

【 数 6 】

$$c = f/40 \times 1 = 320/\tan(20[\text{deg}])/40 \approx 22 \quad \dots(6)$$

30

【 0 1 0 6 】

このように、図 1 5 B の個々の穴 1 0 5 の像ではなく、それをならした連続的な大きな輝度の山を考えることで、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の光学中心 O_0 が穴 1 0 5 のちょうど真上ではない位置が、角度計測板 1 0 1 の面と垂直な方向に対応する場合でも、輝度ピークの位置が角度計測板 1 0 1 の面と垂直な方向を表しているといえることができる。これによりステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の光学中心 O_0 の位置に依らずに、角度計測板 1 0 1 を撮影した撮影画像の輝度の山 (輝度分布) の輝度ピークの位置が、角度計測板 1 0 1 の面と垂直な方向を表しているといえることができる。

【 0 1 0 7 】

なお輝度の山全体を、例えばガウス関数 ($\exp(-r^2)$) のような関数で近似し、多数の画素値の平均的な分布を推定することにより、個々の画素値に含まれるランダムノイズの影響を低減し、輝度ピークの位置を正確に推定することができる。

40

【 0 1 0 8 】

図 2 1 は撮像面 4 0 の輝度ピークの位置と、角度計測板 1 0 1 の傾きとの関係を説明するための図である。撮像面 4 0 の座標を撮像面 4 0 の中央を原点とし、画素単位で表す。このとき撮像面 4 0 (撮影画像) 上の輝度ピークの位置の座標 (i_p, j_p) が、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の光学中心 O_0 から角度計測板 1 0 1 へ下ろした垂線の足の位置を示す。したがって角度計測板 1 0 1 と、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) とが正対しているならば、つまり計測用具 1 2 0 の面に対する法線と、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の光軸が平行ならば、輝度ピークの位置は撮影画像の中央 (原点) にな

50

るはずである。すなわち輝度ピークの位置 (i_p, j_p) が撮影画像の中央（原点）からずれていれば、その輝度ピークの位置を示す撮影画像（撮像面 40）の座標 (i_p, j_p) から、正対方向から傾いている計測用具 120 の水平方向のずれを示す角度、及び垂直方向のずれを示す角度がわかる。つまりステレオカメラ 10（第 1 カメラ 1）の焦点距離（画素単位）を f とすると、 (i_p, j_p, f) により角度計測板 101 の法線の方法を決定することができる。言い換えると、正対方向から傾いて設置されている角度計測板 101 に正対するステレオカメラ 10（第 1 カメラ 1）の向きがわかる。

【0109】

次に角度計測板 101（計測用具 120）の位置を示す平面の方程式を決定する方法を具体的に説明する。図 22 は計測用具 120 の位置を示す平面の方程式を決定する方法を説明するための図である。ステレオカメラ 10（第 1 カメラ 1）の光学中心 O_0 を原点とした座標系で計測用具 120 を表す平面の方程式を下記式（7）で表す。

10

【0110】

【数 7】

$$ax + by + cz + d = 0 \quad \dots(7)$$

【0111】

角度計測板 101 の法線の方法は図 21 で説明したように (i_p, j_p, f) と表すことができる。したがって、この平面の法線ベクトルは (i_p, j_p, f) により決定できるので、 $(a, b, c) = (i_p, j_p, f)$ である。次に平面の方程式の変数 d を決定するために、計測用具 120（第 1 部材 102）のマーク 111 をレーザー距離計などで計測し、この距離を d_c とする。また撮影画像上のマーク 111 の位置を示す座標を (i_c, j_c) とする。ステレオカメラ 10（第 1 カメラ 1）の焦点距離（画素単位）を f とすると、ベクトル (i_c, j_c, f) 方向の距離 d_c の点 (x_c, y_c, z_c) がマーク 111 の位置を示す座標となる。すなわちマーク 111 の位置を示す平面上の座標 (x_c, y_c, z_c) は下記式（8）により算出することができる。

20

【0112】

【数 8】

$$(x_c, y_c, z_c) = \frac{d_c}{\sqrt{i_c^2 + j_c^2 + f^2}} (i_c, j_c, f) \quad \dots(8)$$

30

【0113】

したがって下記式（9）から下記式（10）により平面の方程式の変数 d を決定することができる。以上により計測用具 120 を表す平面の方程式 (a, b, c, d) を決定することができる。

【0114】

【数 9】

$$ax_c + by_c + cz_c + d = 0 \quad \dots(9)$$

40

【0115】

【数 10】

$$d = -i_p x_c - j_p y_c - f z_c \quad \dots(10)$$

【0116】

なお角度計測板 101 の撮影画像からは、角度計測板 101 の水平方向に傾いたずれを示す角度、及び垂直方向に傾いたずれを示す角度を算出することができるが、角度計測板 101 までの距離はわからない。そのため上述の説明では、マーク 111 の撮影画像上の

50

位置、及び、マーク 1 1 1 までの距離情報 d_c を使用した。これ以外の方法として、図 2 2 の d_1 等を実測するという方法も可能である。またステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の校正の許容精度に対して計測用具 1 2 0 の位置精度が高ければ(かつ角度精度が悪ければ)、マーク 1 1 1 とステレオカメラ 1 0 との間の距離を実際に計測せずに、距離情報として固定値を使用してもよい。

【 0 1 1 7 】

次に上述の方法を使用してステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) を校正する第 2 実施形態の校正装置 3 0 の構成について説明する。図 2 3 は第 2 実施形態の校正装置の構成の例を示す図である。第 2 実施形態の校正装置 3 0 は、受付部 1 3 1、計測部 1 3 6、理想視差算出部 1 3 7、視差算出部 1 3 8 及び決定部 1 3 9 を備える。

10

【 0 1 1 8 】

受付部 1 3 1 はステレオカメラ 1 0 により撮影された計測用具 1 2 0 を被写体として含む撮影画像(第 1 カメラ 1 により撮影された第 1 撮影画像及び第 2 カメラ 2 により撮影された第 2 撮影画像)を受け付ける。また受付部 1 3 1 は上述の距離情報 d_c (図 2 2 参照)を受け付ける。受付部 1 3 1 は第 1 撮影画像及び距離情報 d_c を計測部 1 3 6 に入力する。また受付部 1 3 1 は撮影画像(第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像)を視差算出部 1 3 8 に入力する。

【 0 1 1 9 】

計測部 1 3 6 は受付部 1 3 1 から第 1 撮影画像及び距離情報 d_c を受け付ける。計測部 1 3 6 は計測用具 1 2 0 (角度計測板 1 0 1) の面と垂直な方向(法線ベクトル)を、第 1 撮影画像の最大輝度の位置に基づいて図 2 1 で説明した方法で決定する。これにより計測部 1 3 6 はステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の正対位置からの計測用具 1 2 0 の向きのずれ(水平方向に傾いたずれを示す角度及び垂直方向に傾いたずれを示す角度)を計測する。また第 1 カメラ座標系(第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 を原点とした座標系)で計測用具 1 2 0 の位置を表す平面の方程式を、法線ベクトル及び距離情報 d_c に基づいて図 2 2 で説明した方法で決定する。計測部 1 3 6 は当該平面の方程式を示す情報を理想視差算出部 1 3 7 に入力する。

20

【 0 1 2 0 】

理想視差算出部 1 3 7 は計測部 1 3 6 から計測用具 1 2 0 の位置を表す平面の方程式を受け付ける。理想視差算出部 1 3 7 は当該方程式により表される平面を撮影した場合の視差を示す理想視差を図 3 で説明した方法により算出する。理想視差算出部 1 3 7 は理想視差を決定部 1 3 9 に入力する。

30

【 0 1 2 1 】

視差算出部 1 3 8 は受付部 1 3 1 から撮影画像(第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像)を受け付ける。視差算出部 1 3 8 は計測用具 1 2 0 (第 1 部材 1 0 2) の濃淡模様等を使用して、第 1 撮影画像の点に対応する第 2 撮影画像の対応点を検出することにより視差を算出する。視差算出部 1 3 8 は視差を決定部 1 3 9 に入力する。

【 0 1 2 2 】

決定部 1 3 9 は理想視差を理想視差算出部 1 3 7 から受け付け、視差を視差算出部 1 3 8 から受け付ける。また決定部 1 3 9 は第 1 撮影画像と第 2 撮影画像とを受け付け、第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像を補正する校正パラメータを、視差と理想視差とに基づいて決定する。決定部 1 3 9 は、例えば視差と理想視差との差分が 0 になるように、第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像のうち少なくとも一方を補正するための校正パラメータを決定する。

40

【 0 1 2 3 】

図 2 4 は第 2 実施形態における校正方法の全体概略フローチャートである。ステレオカメラ 1 0 が、撮影画像を取得する(ステップ S 2 0 1)。具体的には、第 1 カメラ 1 が、第 1 撮影画像を取得し、第 2 カメラ 2 が、第 2 撮影画像を取得する。

【 0 1 2 4 】

次に、校正装置 3 0 が、ステレオカメラ 1 0 と被写体との相対位置を計測する(ステッ

50

プ S 2 0 2)。具体的には、校正装置 3 0 が、ステレオカメラ 1 0 の第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 と、計測用具 1 2 0 との相対位置を、後述のステップ S 3 2 ~ ステップ S 3 4 により計測する。

【 0 1 2 5 】

次に、校正装置 3 0 が、相対位置に基づく校正パラメータを決定する (ステップ S 2 0 3)。具体的には、校正装置 3 0 が、計測用具 1 2 0 (第 1 部材 1 0 2) の濃淡模様等を利用して、第 1 撮影画像の点に対応する第 2 撮影画像の対応点を検出することにより算出される視差が、ステップ S 2 0 2 で計測された相対位置に基づく理想の視差を示す理想視差と一致するように、第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像の少なくとも一方を補正する校正パラメータを決定する。

10

【 0 1 2 6 】

次にフローチャートを参照して第 2 実施形態の校正装置 3 0 における校正方法の詳細について説明する。図 2 5 は第 2 実施形態の校正装置 3 0 における校正方法の例を示すフローチャートである。

【 0 1 2 7 】

受付部 1 3 1 は計測用具 1 2 0 を被写体として含む撮影画像 (第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像) を受け付ける (ステップ S 3 1)。また受付部 1 3 1 は距離情報 d_c を受け付ける (ステップ S 3 2)。

【 0 1 2 8 】

次に、計測部 1 3 6 はステレオカメラ 1 0 の正対位置からの計測用具 1 2 0 の向きを計測する (ステップ S 3 3)。具体的には、計測部 1 3 6 は計測用具 1 2 0 (角度計測板 1 0 1) の面と垂直な方向 (法線ベクトル) を、第 1 撮影画像の最大輝度の位置に基づいて図 2 1 で説明した方法で決定することにより、計測用具 1 2 0 の向きを計測する。

20

【 0 1 2 9 】

次に、計測部 1 3 6 は第 1 カメラ座標系 (第 1 カメラ 1 の光学中心 O_0 を原点とした座標系) で計測用具 1 2 0 の位置を表す平面の方程式を、法線ベクトル及び距離情報 d_c に基づいて図 2 2 で説明した方法で決定する (ステップ S 3 4)。

【 0 1 3 0 】

次に、理想視差算出部 1 3 7 はステップ S 3 4 で決定した方程式により表される平面を撮影した場合の視差を示す理想視差を図 3 で説明した方法により算出する (ステップ S 3 5)。次に、視差算出部 1 3 8 は計測用具 1 2 0 (第 1 部材 1 0 2) の濃淡模様等を利用して、第 1 撮影画像の点に対応する第 2 撮影画像の対応点を検出することにより視差を算出する (ステップ S 3 6)。

30

【 0 1 3 1 】

次に、決定部 1 3 9 は第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像のうち少なくとも一方を、視差と理想視差との差分が 0 になるように補正するための校正パラメータを決定する (ステップ S 3 7)。

【 0 1 3 2 】

上述の計測用具 1 2 0、及び上述の校正装置 3 0 を使用した第 2 実施形態の校正方法の全体フローは、第 1 実施形態の図 1 2 の説明と同様のため説明を省略する。

40

【 0 1 3 3 】

以上説明したように、第 2 実施形態の校正方法では、ステレオカメラ 1 0 の正対位置からの計測用具 1 2 0 の向きを、第 1 撮影画像の最大輝度の位置に基づいて計測する。また第 1 撮影画像及び第 2 撮影画像から算出された視差と、計測用具 1 2 0 の向きが考慮された理想視差と、に基づいてステレオカメラ 1 0 を校正する校正パラメータを決定する。これにより設置位置精度の確保が難しい車両搭載状態のステレオカメラ 1 0 に対しても高精度な校正パラメータを容易に算出することができる。また、本実施形態によれば車両搭載等されていないステレオカメラ 1 0 に対しても、より高精度な校正を簡便な態様で実現することができる。なお、本実施形態において角度計測板の穴は丸穴としてい

50

るが、この限りではない。例えば、角穴等も利用し得る。

【 0 1 3 4 】

(第 3 実施形態)

次に第 3 実施形態について説明する。第 3 実施形態では、第 2 実施形態の計測用具 1 2 0 (角度計測板 1 0 1) の構成を変えた計測用具 2 2 0 (角度計測板 1 0 1) を使用する場合について説明する。第 3 実施形態の説明では、第 2 実施形態と異なる箇所について説明する。

【 0 1 3 5 】

図 2 6 は第 3 実施形態の角度計測板 2 0 1 の断面を示す断面図である。角度計測板 2 0 1 の正面図は図 1 5 B と同じなので省略する。角度計測板 2 0 1 は、光源 1 0 3、遮光板 2 0 2、透明ガラス 2 0 3 及び遮光板 2 0 4 を備える。光源 1 0 3 については第 2 実施形態と同じなので説明を省略する。遮光板 2 0 2、透明ガラス 2 0 3 及び遮光板 2 0 4 は、第 2 実施形態の第 2 部材 1 0 4 に相当する。

【 0 1 3 6 】

第 3 実施形態の角度計測板 2 0 1 は、両面に不透明な遮光領域 (遮光板 2 0 2 及び遮光板 2 0 4) を配置した透明なガラス板を使用する。透明ガラス 2 0 3 は遮光板 2 0 2 及び遮光板 2 0 4 の位置を固定するために配置されている。遮光板 2 0 2 及び遮光板 2 0 4 との間をガラスで充填することにより、機械的なずれに強く、温度や経時的な変形等による計測誤差を低減することができる。なお透明ガラス 2 0 3 は透明な任意の物体でもよい。

【 0 1 3 7 】

第 3 実施形態の角度計測板 2 0 1 は表裏両面の遮光面の穴によって、角度計測板 2 0 1 にはほぼ直交する方向に入射する光が、向かい合う穴 (例えば穴 2 0 8 及び穴 2 0 9) を通り透過するという点では第 1 実施形態の角度計測板 1 0 1 と同様である。しかしながら光が透明ガラス 2 0 3 と空気との境界面で屈折するため、撮影画像の輝度分布が第 2 実施形態とは異なる。

【 0 1 3 8 】

図 2 7 は光の屈折の角度について説明するための図である。周知 (スネル則) の通り、ガラス - 空気境界面の屈折により、透過した光が射出する方向が変化する。比屈折率 R とすると、図 2 7 の角度 θ_1 と θ_2 との関係は下記式 (1 1) となる。

【 0 1 3 9 】

【 数 1 1 】

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = R \quad \dots(11)$$

【 0 1 4 0 】

したがって遮光板 2 0 2、透明ガラス 2 0 3 及び遮光板 2 0 4 の合計の厚さが、実施形態 2 の第 2 部材 1 0 4 と同じ板厚と穴径ならば、ガラスの屈折によって、より遠くの穴も見えるようになる (図 2 8 参照)。そのため撮影画像の輝度分布の山の裾野の大きさは第 2 実施形態と比べ大きくなる。しかしながら輝度ピークの位置が、ステレオカメラ 1 0 (第 1 カメラ 1) の光学中心 O_0 の位置に依らず遮光板 2 0 4 の法線方向に対応するという性質は同じである。

【 0 1 4 1 】

また第 1 実施形態の第 2 部材 1 0 4 と異なり、第 3 実施形態の角度計測板 2 0 1 は、正面方向以外に、図 2 8 の点線で示す方向の、正対していない穴を通る光も透過する。例えば穴 2 0 7 では、穴 2 0 8 と向かい合う穴 2 0 9 の光も屈折の影響で穴 2 0 7 を透過する。

【 0 1 4 2 】

したがって角度計測板 2 0 1 を撮影した画像には、第 2 実施形態の場合と異なり、明暗が周期的に繰り返すモアレ模様が観察される。そのため撮影範囲内に複数の輝度ピークが

10

20

30

40

50

存在する可能性がある。しかしながら予めステレオカメラ 10（第 1 カメラ 1）と計測用具 220 との設置角度の精度が分かっているならば、設置ずれの範囲に応じた輝度ピーク的位置の移動範囲に対応するモアレの周期を考慮することで、正対している穴の輝度ピーク的位置を、隣接する穴に対応する輝度ピークと取り違えることを避けることができる。

【 0 1 4 3 】

図 29 は計測用具 220 の傾きと、輝度ピーク的位置のずれとの関係を説明するための図である。図 29 のように、計測用具 220 の設置角度が正対方向から $\pm X$ 度以下の角度ずれを持つ場合、輝度ピーク的位置も正対位置（画面中央）から X 度以下の範囲に存在する。つまり図 30 のように、予測される輝度ピーク的位置ずれの 2 倍以上離れた位置に隣接する穴の輝度ピークが来るように穴の間隔を調整すればよい。隣接する穴の輝度ピーク

10

【 0 1 4 4 】

【 数 1 2 】

$$\frac{\sin(\Phi)}{\sin(\arctan(p/d))} = n \quad \dots(12)$$

【 0 1 4 5 】

式 (12) より、下記式 (13) を満たすようにガラス板厚 (d) 及び穴ピッチ (p) を決めればよいことがわかる。

20

【 0 1 4 6 】

【 数 1 3 】

$$\Phi = \arcsin(n \sin(\arctan(p/d))) > 2X \quad \dots(13)$$

【 0 1 4 7 】

上述の説明では、設置角度の精度のみを考慮して隣接輝度ピーク的位置を予測した。しかしながら実際には計測用具 220 の設置角度以外にも、ステレオカメラ 10 の設置角度、計測用具 220 の並進ずれ、及びステレオカメラ 10 の並進ずれ等、想定される全ての設置ずれを考慮して、正対位置を示す輝度ピークの存在範囲を予測する必要がある。そして予測された輝度ピーク位置の範囲内に隣の穴の輝度ピークが入らないように、ガラス板厚 (d) 及び穴ピッチ (p) を決定すれば、ステレオカメラ 10 と正対している穴に対応する予測範囲内の輝度ピーク的位置を一意に決定することができる。

30

【 0 1 4 8 】

遮光板 202 (204) の作成する際には、平板上に遮光領域を形成する方法として、印刷やフォトエッチング等の技術が利用できる。これらの技術では、一般に、ドリルで厚板に穴を開ける等の方法で作成された第 2 実施形態の第 2 部材 104 に比べて、小径の穴や狭ピッチを実現することが容易である。輝度の山の大きさは、穴の径と板厚の比率（と

40

【 0 1 4 9 】

以上説明したように、第 3 実施形態の計測用具 220 では、角度計測板 201 を、第 2 実施形態の角度計測板 101 よりも、より軽量小型の薄い板にしても、第 2 実施形態の角度計測板 101 と同等の校正精度が実現できる。

【 0 1 5 0 】

なお単に光を遮るだけならば、透明ガラス 203 を配置せずに、ガラス両面の遮光領域と同じ位置に遮光板 202 及び遮光板 204 を配置してもよい。

50

【 0 1 5 1 】

最後に第 1 乃至第 3 実施形態の校正装置 3 0 のハードウェア構成の例について説明する。図 3 2 は第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 及び校正装置 3 0 のハードウェア構成の例を示す図である。

【 0 1 5 2 】

第 1 乃至第 3 実施形態の校正装置 3 0 は、制御装置 5 1、主記憶装置 5 2、補助記憶装置 5 3、表示装置 5 4、入力装置 5 5 及び通信装置 5 6 を備える。制御装置 5 1、主記憶装置 5 2、補助記憶装置 5 3、表示装置 5 4、入力装置 5 5 及び通信装置 5 6 は、バス 5 7 を介して互いに接続されている。

【 0 1 5 3 】

第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 は、撮影装置 1 5 1、撮影装置 1 5 2、通信装置 1 5 3、制御装置 1 5 4、主記憶装置 1 5 5、補助記憶装置 1 5 6、表示装置 1 5 7 及び入力装置 1 5 8 を備える。撮影装置 1 5 1、撮影装置 1 5 2、通信装置 1 5 3、制御装置 1 5 4、主記憶装置 1 5 5、補助記憶装置 1 5 6、表示装置 1 5 7 及び入力装置 1 5 8 は、バス 1 5 9 を介して互いに接続されている。

【 0 1 5 4 】

制御装置 5 1 (制御装置 1 5 4) は CPU である。制御装置 5 1 (制御装置 1 5 4) は補助記憶装置 5 3 (補助記憶装置 1 5 6) から主記憶装置 5 2 (主記憶装置 1 5 5) に読み出されたプログラムを実行する。主記憶装置 5 2 (主記憶装置 1 5 5) は ROM や RAM 等のメモリである。補助記憶装置 5 3 (補助記憶装置 1 5 6) は HDD (Hard Disk Drive) やメモリカード等である。表示装置 5 4 (表示装置 1 5 7) は校正装置 3 0 (ステレオカメラ 1 0) の状態などを表示する。入力装置 5 5 (入力装置 1 5 8) はユーザーからの入力を受け付ける。校正装置 3 0 の通信装置 5 6 と、ステレオカメラ 1 0 の通信装置 1 5 3 は、有線又は無線のネットワークを介して通信する。

【 0 1 5 5 】

撮影装置 1 5 1 は第 1 カメラ 1 (図 2 参照) に対応する。撮影装置 1 5 2 は第 2 カメラ 2 (図 2 参照) に対応する。

【 0 1 5 6 】

第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 及び校正装置 3 0 で実行されるプログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルで CD-ROM、メモリカード、CD-R、DVD (Digital Versatile Disk) 等のコンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶されてコンピュータ・プログラム・プロダクトとして提供される。

【 0 1 5 7 】

また、第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 及び校正装置 3 0 で実行されるプログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成してもよい。また第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 及び校正装置 3 0 で実行するプログラムをダウンロードさせずにインターネット等のネットワーク経由で提供するように構成してもよい。

【 0 1 5 8 】

また、第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 及び校正装置 3 0 のプログラムを、ROM 等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

【 0 1 5 9 】

第 1 実施形態の校正装置 3 0 で実行されるプログラムは、上述した各機能ブロック (受付部 3 1、第 1 カメラ位置算出部 3 2、第 1 カメラ方位算出部 3 3、第 2 カメラ位置算出部 3 4、第 2 カメラ方位算出部 3 5、理想視差算出部 3 7、視差算出部 3 8 及び決定部 3 9) を含むモジュール構成となっている。また第 2 乃至第 3 実施形態の校正装置 3 0 で実行されるプログラムは、上述した各機能ブロック (受付部 1 3 1、計測部 1 3 6、理想視差算出部 1 3 7、視差算出部 1 3 8 及び決定部 1 3 9) を含むモジュール構成となっている。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 0 】

また第 1 乃至第 3 実施形態のステレオカメラ 1 0 で実行されるプログラムは、上述した各機能ブロック（補正部 5 及び算出部 6）を含むモジュール構成となっている。

【 0 1 6 1 】

上述の各機能ブロックは、実際のハードウェアとしては、制御装置 5 1（制御装置 1 5 4）が上記記憶媒体からプログラムを読み出して実行することにより、上記各機能ブロックが主記憶装置 5 2（主記憶装置 1 5 5）上にロードされる。すなわち上記各機能ブロックは、主記憶装置 5 2（主記憶装置 1 5 5）上に生成される。

【 0 1 6 2 】

なお、上述した各機能ブロックの一部又は全部を、ソフトウェアにより実現せずに、I

10

C (I n t e g r a t e d C i r c u i t) 等のハードウェアにより実現してもよい。

【符号の説明】

【 0 1 6 3 】

- | | | |
|-------|-----------------|----|
| 1 | 第 1 カメラ | |
| 2 | 第 2 カメラ | |
| 3 | 記憶部 | |
| 4 | 外部 I / F | |
| 5 | 補正部 | |
| 6 | 算出部 | |
| 1 0 | ステレオカメラ | 20 |
| 2 0 | 計測用具 | |
| 2 1 | マーク | |
| 2 2 | 距離計測装置 | |
| 2 3 | 計測点 | |
| 2 4 | レーザー光 | |
| 3 0 | 校正装置 | |
| 3 1 | 受付部 | |
| 3 2 | 第 1 カメラ位置算出部 | |
| 3 3 | 第 1 カメラ方位算出部 | |
| 3 4 | 第 2 カメラ位置算出部 | 30 |
| 3 5 | 第 2 カメラ方位算出部 | |
| 3 6 | 距離算出部 | |
| 3 7 | 理想視差算出部 | |
| 3 8 | 視差算出部 | |
| 3 9 | 決定部 | |
| 5 1 | 制御装置 | |
| 5 2 | 主記憶装置 | |
| 5 3 | 補助記憶装置 | |
| 5 4 | 表示装置 | |
| 5 5 | 入力装置 | 40 |
| 5 6 | 通信装置 | |
| 5 7 | バス | |
| 1 0 1 | 角度計測板 | |
| 1 0 2 | 第 1 部材 (チャート) | |
| 1 0 3 | 光源 | |
| 1 0 4 | 第 2 部材 (遮光板) | |
| 1 2 0 | 計測用具 | |
| 1 3 1 | 受付部 | |
| 1 3 6 | 計測部 | |
| 1 3 7 | 理想視差算出部 | 50 |

- 1 3 8 視差算出部
- 1 3 9 決定部
- 2 0 1 角度計測板
- 2 0 2 遮光板
- 2 0 3 透明ガラス
- 2 0 4 遮光板
- 2 2 0 計測用具

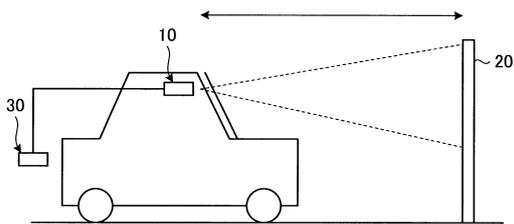
【先行技術文献】

【特許文献】

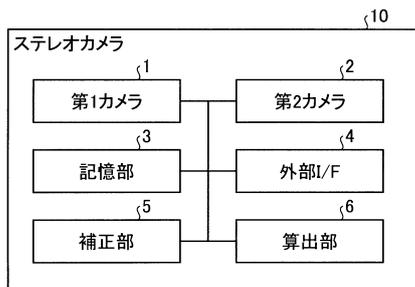
【0164】

【特許文献1】特許第4109077号公報

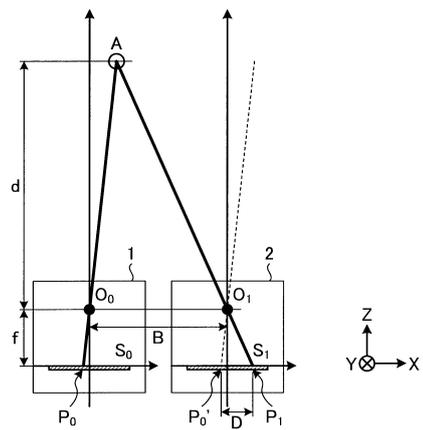
【図1】



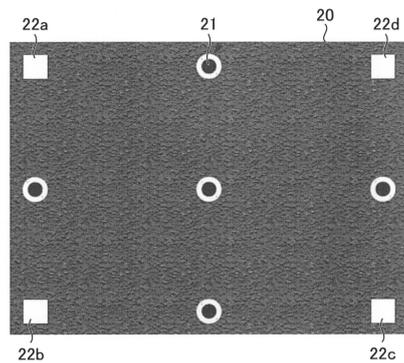
【図2】



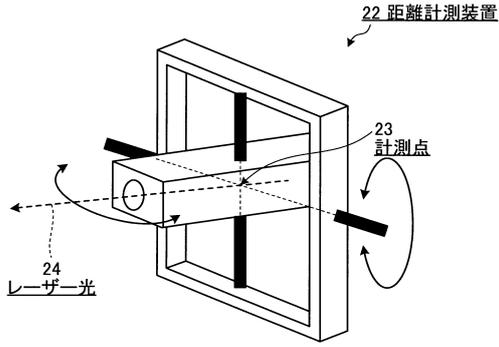
【図3】



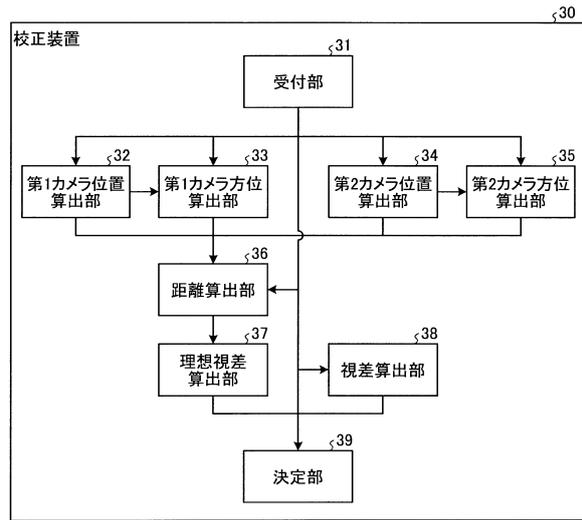
【図4】



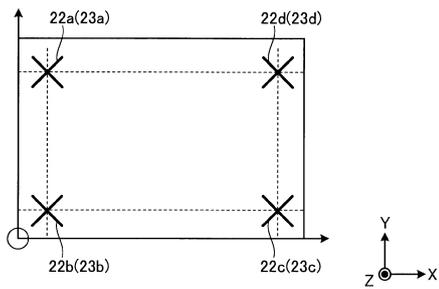
【図5】



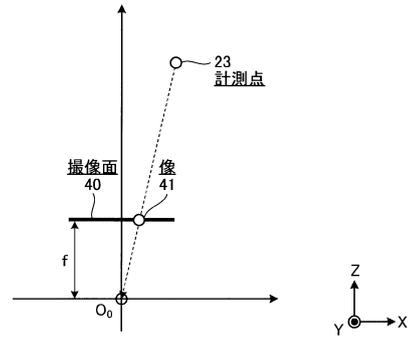
【図6】



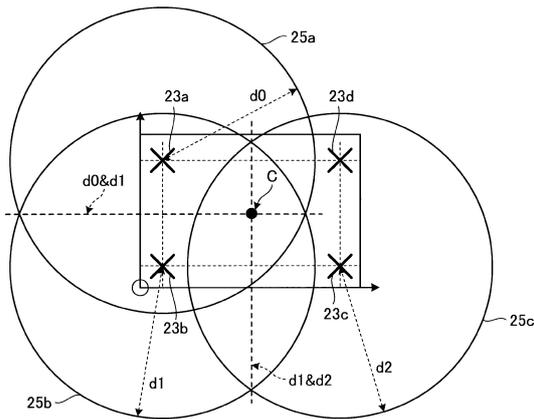
【図7】



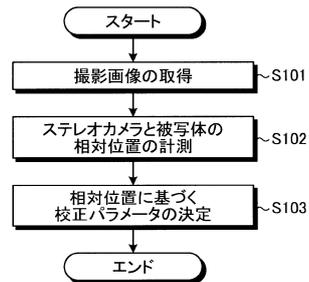
【図9】



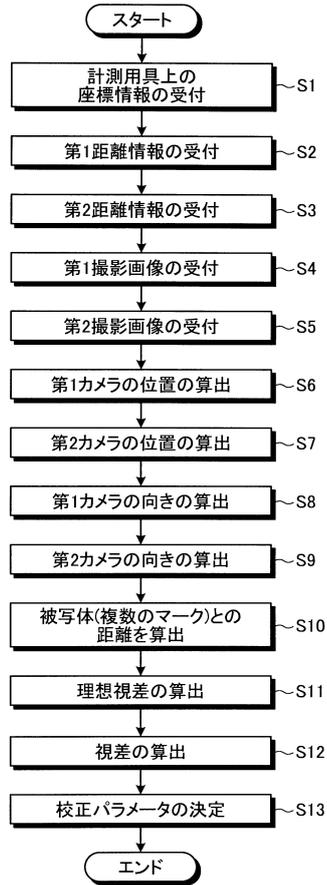
【図8】



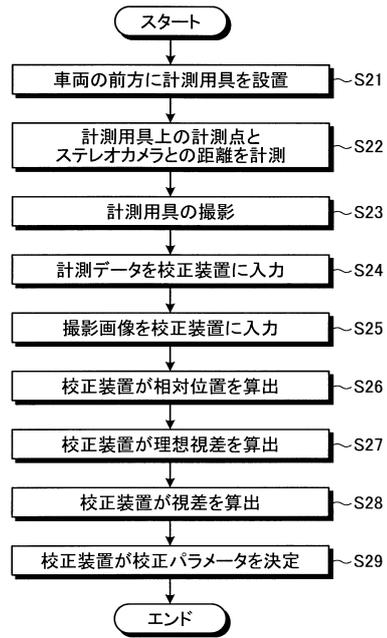
【図10】



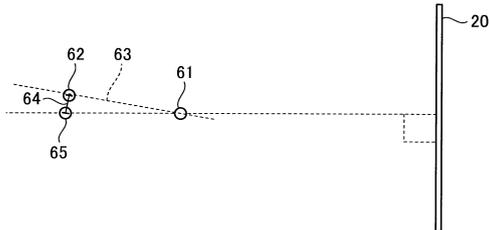
【図11】



【図12】



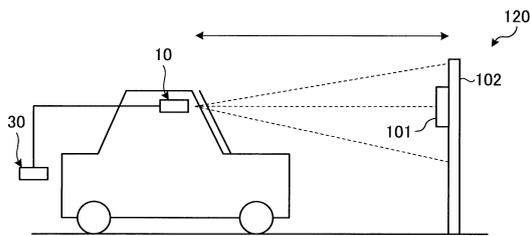
【図13】



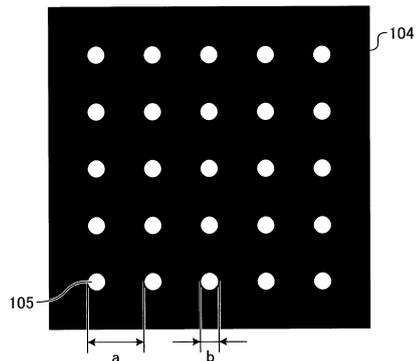
【図15A】



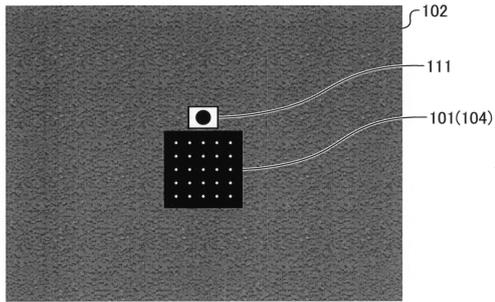
【図14】



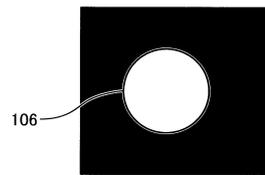
【図15B】



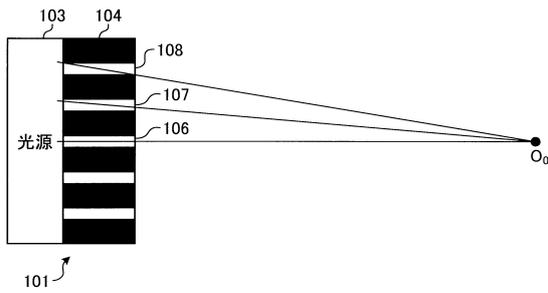
【図16】



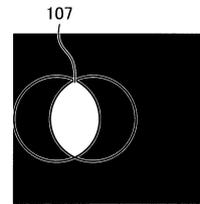
【図18A】



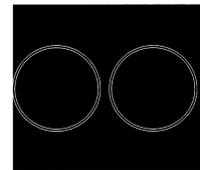
【図17】



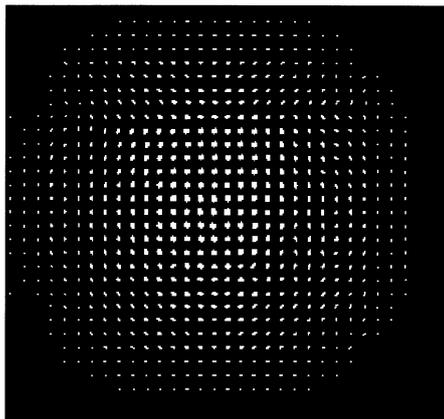
【図18B】



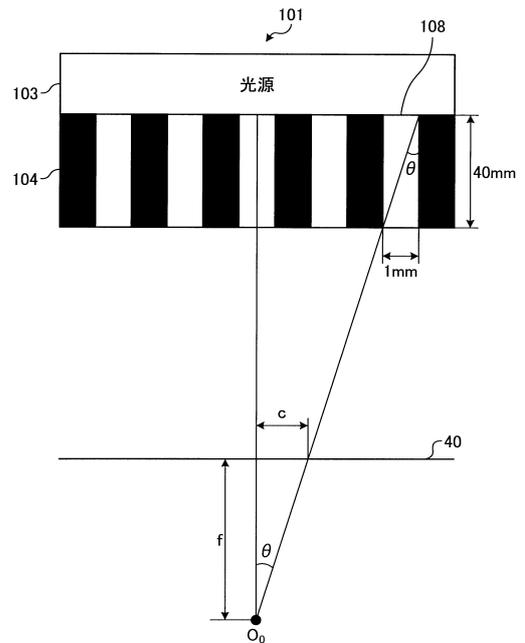
【図18C】



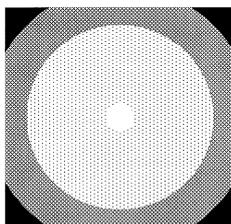
【図19A】



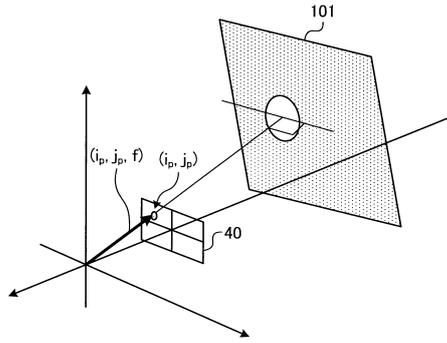
【図20】



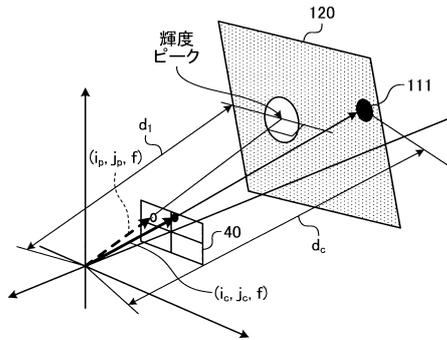
【図19B】



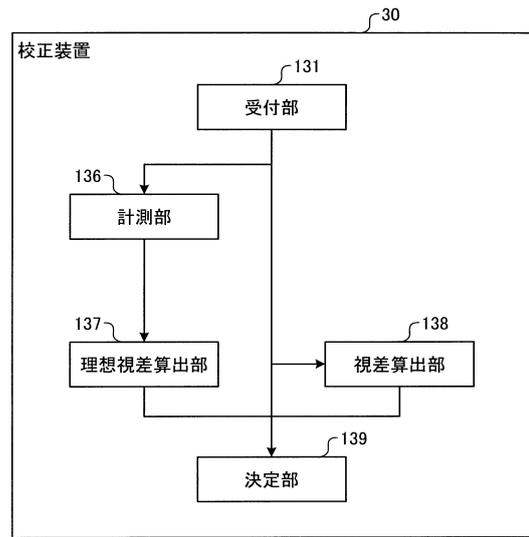
【図 2 1】



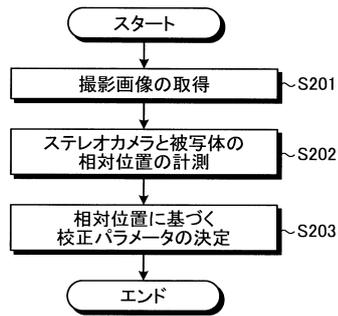
【図 2 2】



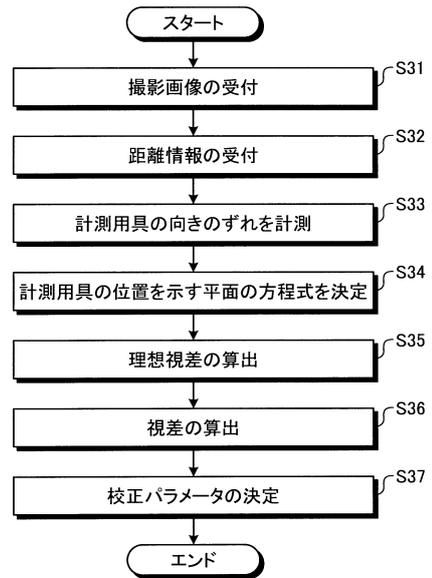
【図 2 3】



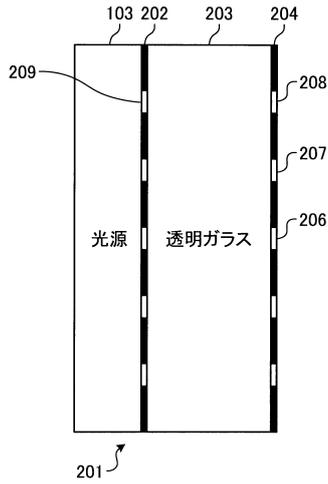
【図 2 4】



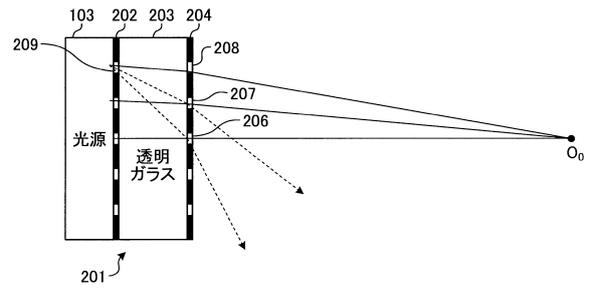
【図 2 5】



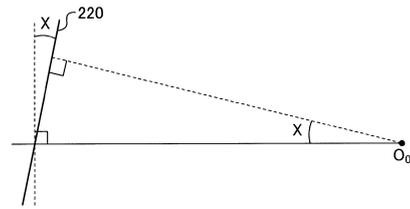
【図26】



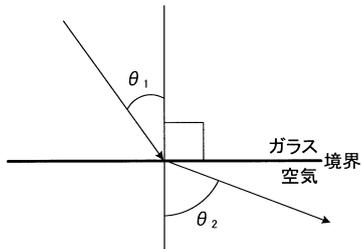
【図28】



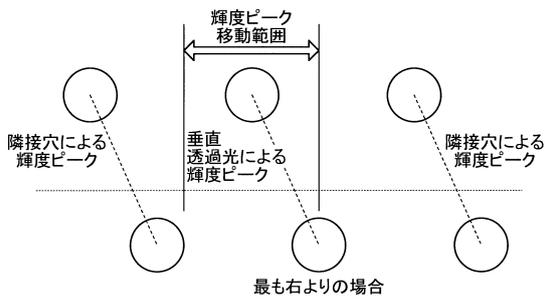
【図29】



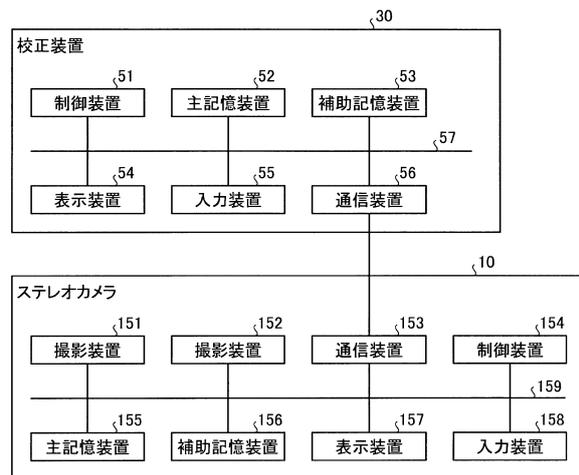
【図27】



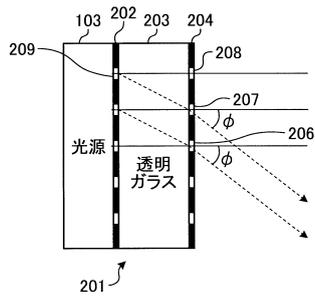
【図30】



【図32】



【図31】



フロントページの続き

(72)発明者 岸和田 潤
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

審査官 河内 悠

(56)参考文献 特開2011-112401(JP,A)
特開2014-006179(JP,A)
特開2012-167944(JP,A)
特開2012-058045(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 3/00 - 3/06
11/00 - 11/36
15/06
G01B 11/00 - 11/30