

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6755737号
(P6755737)

(45) 発行日 令和2年9月16日 (2020.9.16)

(24) 登録日 令和2年8月28日 (2020.8.28)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 C 3/06 (2006.01)

G O 1 C 3/06 1 2 O P

請求項の数 10 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-146929 (P2016-146929)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成28年7月27日 (2016.7.27)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2018-17568 (P2018-17568A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成30年2月1日 (2018.2.1)	(74) 代理人	110002860
審査請求日	令和1年7月22日 (2019.7.22)		特許業務法人秀和特許事務所
		(74) 代理人	100085006
			弁理士 世良 和信
		(74) 代理人	100100549
			弁理士 川口 嘉之
		(74) 代理人	100131532
			弁理士 坂井 浩一郎
		(74) 代理人	100125357
			弁理士 中村 剛
		(74) 代理人	100131392
			弁理士 丹羽 武司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離測定装置、撮像装置、および距離測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

結像光学系の第一の瞳領域を通過した光束に対応する第一の信号からなる第一の像と、
前記結像光学系の前記第一の瞳領域とは異なる第二の瞳領域を通過した光束に対応する第
二の信号からなる第二の像と、のあいだの像ズレ量を取得する第一の取得手段と、

前記像ズレ量に基づいて距離情報を取得する第二の取得手段と、

を備え、

前記第一の取得手段は、歪曲を含んだ前記第一の像および前記第二の像に基づいて前記
像ズレ量を取得し、

前記第二の取得手段は、前記第一の取得手段が取得した前記像ズレ量に対して、画素位
置に応じて異なる値を保持する係数マップに基づいて、像ズレ量から歪曲による影響を補
正して前記距離情報を取得し、

前記係数マップは、前記第一の取得手段が像ズレ量の取得において利用する手法に応じ
て異なる値を保持する、

距離測定装置。

【請求項 2】

前記係数マップは、前記第一の取得手段によって取得される像ズレ量に応じて異なる値
を保持する、

請求項 1 に記載の距離測定装置。

【請求項 3】

10

20

前記係数マップは、歪曲を含む前記第一および第二の像から得られる像ズレ量を、歪曲を補正した第一および第二の像から得られる像ズレ量に補正する像ズレ補正量を記憶し、
前記第二の取得手段は、像ズレ量を距離情報に変換するための換算係数を記憶しており、

前記第二の取得手段は、前記第一の取得手段が取得する前記像ズレ量と、前記換算係数と、前記係数マップに記憶される前記像ズレ補正量に基づいて、前記距離情報を計算し、歪曲を含む画像に対応する距離情報マップを出力する、

請求項 1 または 2 に記載の距離測定装置。

【請求項 4】

前記係数マップは、歪曲を含む前記第一および第二の像から得られる像ズレ量を、歪曲を補正した第一および第二の像から得られる像ズレ量に補正する像ズレ補正量と、像ズレ量を距離情報に変換するための換算係数であって画素位置に応じて異なる値を有する換算係数との積を記憶しており、

前記第二の取得手段は、前記第一の取得手段が取得する前記像ズレ量と、前記係数マップに記憶される前記像ズレ補正量と前記換算係数の積に基づいて、前記距離情報を計算し、歪曲を含む画像に対応する距離情報マップを出力する、

請求項 1 または 2 に記載の距離測定装置。

【請求項 5】

前記第二の取得手段によって取得された距離情報のマップに対して、歪曲補正を施す幾何変形手段をさらに備える、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の距離測定装置。

【請求項 6】

前記第二の取得手段によって取得された距離情報のマップに対して、前記第一の取得手段が前記像ズレ量を取得する際に基準とされた第一の像または第二の像の画素位置を、前記第一の像および第二の像を混合して得られる混合像における対応位置に移動させる座標変換を施す幾何変形手段をさらに備える、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の距離測定装置。

【請求項 7】

前記幾何変形手段は、補間手法としてスプライン補間、Lanczos-n補間、またはカイ自乗補間を用いる、

請求項 5 または 6 に記載の距離測定装置。

【請求項 8】

結像光学系と、

前記結像光学系の第一の瞳領域を通過した光束に対応する第一の信号および、前記結像光学系の前記第一の瞳領域とは異なる第二の瞳領域を通過した光束に対応する第二の信号とを取得する撮像素子と、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の距離測定装置と、
を備える撮像装置。

【請求項 9】

距離測定装置における距離測定方法であって、

結像光学系の第一の瞳領域を通過した光束に対応する第一の信号からなる第一の像と、前記結像光学系の前記第一の瞳領域とは異なる第二の瞳領域を通過した光束に対応する第二の信号からなる第二の像と、のあいだの像ズレ量を取得する像ズレ量取得ステップと、
前記像ズレ量に基づいて距離情報を取得する距離情報取得ステップと、
を含み、

前記像ズレ量取得ステップでは、歪曲を含んだ前記第一の像および前記第二の像に基づいて前記像ズレ量を取得し、

前記距離情報取得ステップでは、画素位置に応じて異なる値を保持する係数マップに基づいて、像ズレ量から歪曲による影響を補正して前記距離情報を取得し、

前記係数マップは、前記像ズレ量取得ステップでの像ズレ量の取得において利用する手

10

20

30

40

50

法に応じて異なる値を保持する、

距離測定方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法の各ステップをコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は距離測定技術に関し、特にデジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラに好適に適用可能な距離測定技術に関する。

【背景技術】

10

【0002】

デジタルスチルカメラやビデオカメラに適用可能な距離測定技術として、位相差方式による距離測定技術が知られている。この方式は異なる瞳領域を通過した光束により形成される光像(以下、それぞれ「A像」、「B像」という)を取得する。このA像とB像の相対的な位置ズレ量である像ズレ量(視差ともいう)が算出され、基線長をもとにした変換係数を介してデフォーカス量に変換される。デフォーカス量からさらに、被写体までの距離を算出できる(特許文献1)。

【0003】

また、上記のようにして得られた距離画像を、RGBカラー画像とともに利用して(以下該組み合わせをRGBD画像と呼ぶ)、物体の3Dモデルを取得する3Dモデリングや移動しながら空間の地図を取得する空間マッピングを実現する場合がある。この場合、例えば1つの視野に収まらないような大きな被写体を撮影したり、高精細な情報を得るために接写したりする状況では、複数の3次元モデルデータのつなぎ合わせが必要となる(特許文献2)。そのためには、いわゆるピンホールモデルに従うような歪曲がないRGBD画像を3Dモデル化処理の入力としなければならない。

20

【0004】

一方、A像、B像それぞれに対して適当な歪曲補正量を用いて異なる歪曲補正を行ってから像ズレ量探索を行うことを特許文献1は提案する。これにより、像ズレ量探索で問題となるエピポーラ線の湾曲を解消できる。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第5192096号公報

【特許文献2】特開2014-110043号公報

【特許文献3】特開2016-099247号公報

【特許文献4】特開2015-203756号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、最終的に得たいRGBD画像は、A像、B像を混合して得られるRGB画像(全開口すなわち瞳領域全体を透過した光束により形成される光像)と距離値のD画像とのセットである場合が多い。だがこの全開口を利用したAB混合像に合わせてA像およびB像に歪曲補正を施しても、歪曲量が大きいとエピポーラ線を水平に改善することはできない。また、歪曲量がさらに大きい場合には、エピポーラ線が補正前よりも大きくずれてしまい、例えば上下方向にずれたり水平から大きく曲がったりすることもある。結果、例えば領域ベースの相関手法等によるずれ量の算出が複雑あるいは困難になる。

40

【0007】

一方、A像、B像それぞれに対して歪曲補正を行って歪みのない座標系で像ズレ量を算出しようとする、A像、B像、AB混合像の歪曲補正処理やこれらのあいだの座標変換処理が必要となる。これらの処理は通常のカメラにおいて必要な処理とは異なるので、新た

50

な処理が必要となりしたがって回路規模の増大や演算時間の長時間化につながる。また、適用した複数の変換処理における誤差が重なって精度が低下し、これを避けるためには必要な処理量や回路が一気に増大してシステムが複雑になってしまう。また撮像装置内での処理を考えると、歪曲補正によるタイムラグが生じることや、歪曲を含んだファインダー像に距離画像を重畳する際には距離画像に歪曲を再度付加する必要性が生じることが問題となる。

【 0 0 0 8 】

上記のような課題を考慮し、本発明は、複雑な処理や大規模な回路を必要とせずに、歪曲を含む撮影画像に対しても精度良く距離測定を可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【 0 0 0 9 】

本発明の第一の態様に係る距離測定装置は、

結像光学系の第一の瞳領域を通過した光束に対応する第一の信号からなる第一の像と、前記結像光学系の前記第一の瞳領域とは異なる第二の瞳領域を通過した光束に対応する第二の信号からなる第二の像と、のあいだの像ズレ量を取得する第一の取得手段と、

前記像ズレ量に基づいて距離情報を取得する第二の取得手段と、

を備え、

前記第一の取得手段は、歪曲を含んだ前記第一の像および前記第二の像に基づいて前記像ズレ量を取得し、

前記第二の取得手段は、前記第一の取得手段が取得した前記像ズレ量に対して、画素位置に応じて異なる値を保持する係数マップに基づいて、像ズレ量から歪曲による影響を補正して前記距離情報を取得し、

20

前記係数マップは、前記第一の取得手段が像ズレ量の取得において利用する手法に応じて異なる値を保持する、

ことを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

本発明の第二の態様に係る距離測定方法は、

距離測定装置における距離測定方法であって、

結像光学系の第一の瞳領域を通過した光束に対応する第一の信号からなる第一の像と、前記結像光学系の前記第一の瞳領域とは異なる第二の瞳領域を通過した光束に対応する第二の信号からなる第二の像と、のあいだの像ズレ量を取得する像ズレ量取得ステップと、

30

前記像ズレ量に基づいて距離情報を取得する距離情報取得ステップと、

を含み、

前記像ズレ量取得ステップでは、歪曲を含んだ前記第一の像および前記第二の像に基づいて前記像ズレ量を取得し、

前記距離情報取得ステップでは、画素位置に応じて異なる値を保持する係数マップに基づいて、像ズレ量から歪曲による影響を補正して前記距離情報を取得し、

前記係数マップは、前記像ズレ量取得ステップでの像ズレ量の取得において利用する手法に応じて異なる値を保持する、

ことを特徴とする。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、本発明は、複雑な処理や大規模な回路を必要とせずに、歪曲を含む撮影画像に対しても精度良く距離測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】実施形態 1 に係る撮像装置の概略構成図。

【図 2】測距演算処理の基本的な流れを示すフローチャート。

【図 3】歪曲収差による影響を説明する図。

【図 4】実施形態 1 に係る測距演算処理のフローチャートおよびデータフロー図。

50

- 【図 5】歪曲収差による像ズレ量への影響を説明する図。
【図 6】像ズレ補正量テーブル作成のためのシミュレーションを説明する図。
【図 7】像ズレ補正量テーブル作成処理のフローチャート。
【図 8】像ズレ算出位置に幾何変換を説明する図。
【図 9】歪曲補正の例を説明する図。
【図 10】換算係数マップの幾何変形における線形補間を説明する図。
【図 11】実施形態 2 に係る撮像装置の概略構成図。
【図 12】実施形態 2 に係る測距演算処理のフローチャート。
【発明を実施するための形態】
【0013】

10

以下、図を用いて本発明の実施形態を説明する。ただし、以下の実施形態の説明は本発明を例示的に説明するものであり、本発明を以下の構成に限定するものではない。

- 【0014】
(実施形態 1)
<構成>

図 1 (A) は、本実施形態に係る距離測定装置 102 を備えた撮像装置 100 を示す模式図である。撮像装置 100 は、結像光学系 101 と、本実施形態に係る距離測定装置 102 を備えて構成されている。距離測定装置 102 は、撮像素子 103 と演算処理部 104 とメモリ 105、幾何変形部 140 を有している。

- 【0015】

20

撮像素子 103 は図 1 (B) に示すように、 x y 平面上に配列された多数の測距画素 (以降、単に「画素」とも呼ぶ) 110R、110G、110B が並置されて構成されている。各測距画素は、図 1 (C) に示す断面図のようにマイクロレンズ 111、カラーフィルタ 122R、122G、122B、光電変換部 110Ra、110Rb、110Ga、110Gb、110Ba、110Bb、導波路 113 を含む。それぞれの画素は、カラーフィルタ 122R、122G、122B によって検出する波長帯域に応じた分光特性が与えられ、赤光、緑光、青光を取得する。画素は、図示しない公知の配色パターンによって撮像素子 103 に配置されている。基板 124 は、検出する波長帯域で吸収を有する材料、例えば Si であり、イオン打ち込みなどで、内部の少なくとも一部の領域に各光電変換部が形成される。各画素は、図示しない配線を備えている。

30

- 【0016】

光電変換部 110Ra、110Ga、110Ba は、射出瞳 130 の第 1 の瞳領域 131a を通過した光束 132a を受光し、第 1 の信号を出力する。光電変換部 110Rb、110Gb、110Bb は、射出瞳 130 の第 2 の瞳領域 131b を通過した光束 132b を受光し、第 2 の信号を出力する。A 像を形成する第 1 の信号を取得する光電変換部 110Ra、110Ga、110Ba を A 画素と呼び、B 像を形成する第 2 の信号を取得する光電変換部 110Rb、110Gb、110Bb を B 画素と呼ぶ。各光電変換部で取得された信号は、演算処理部 104 に伝送され測距演算処理が行われる。

- 【0017】

40

演算処理部 104 は、A 像と B 像のあいだの像ズレ量の算出、像ズレ量に基づく距離情報の算出を行う。ここで、演算処理部 104 は、像ズレ量の算出は歪曲を含む A 像と B 像を対象として行い、像ズレ量から距離情報を算出する際に歪曲による影響を補正する。ここでいう距離情報とは、撮像位置から被写体までの距離に換算可能な情報であれば任意の形式の情報であって構わない。距離情報は、例えば、フォーカス位置から被写体までの相対的な距離、または撮影時の撮像装置から被写体までの絶対距離であってもよい。なお、絶対距離あるいは相対距離は、像面側での距離、物体側での距離のどちらであってもよい。また、距離は、実空間距離で表されてもよいし、デフォーカス量や視差量など実空間距離に換算できる量で表されていてもよい。以下では、距離情報から構成されるマップのことを距離マップと称する。

- 【0018】

50

幾何変形部 1 4 0 では算出された距離マップに幾何変形演算を行う。演算処理部 1 0 4 および幾何変形部 1 4 0 は、A S I C (Application Specific Integrated Circuit) のような論理回路によって構成される。

【 0 0 1 9 】

以下の説明では、結像光学系 1 0 1 の光軸 1 0 8 方向を z 方向とし、第 1 の瞳領域 1 3 1 a の中心から第 2 の瞳領域 1 3 1 b の中心に向かう方向を x 方向とする。

【 0 0 2 0 】

< 基本的な測距演算処理 >

図 2 は、基本的な測距演算処理を示すフローチャートである。この測距演算処理は、像ズレ量算出ステップ S 1 0 1、距離算出ステップ S 1 0 2、距離マップ歪曲補正ステップ S 1 0 3 からなる。

10

【 0 0 2 1 】

像ズレ量算出ステップ S 1 0 1 では、演算処理部 1 0 4 が、A 像 (第 1 の信号の像) と B 像 (第 2 の信号の像) の間の相対的な位置ズレ量である像ズレ量を算出する。像ズレ量の算出は公知の手法を用いることができる。演算処理部 1 0 4 は、例えば次の (式 1) を用いて、A 像と B 像の像信号データ A (i)、B (i) から相関値 S (j) を算出する。

【 数 1 】

$$S(j) = \sum_{i=p}^q |A(i+j) - B(i)| \quad (\text{式 1})$$

20

【 0 0 2 2 】

(式 1) において、S (j) は像シフト量 j における 2 つの像の間の相関度を示す相関値、i は画素番号、j は 2 つの像の相対的な像シフト量である。p 及び q は、相関値 S (j) の算出に用いる対象画素範囲を示している。相関値 S (j) の極小値を与える像シフト量 j が、A 像と B 像のあいだの像ズレ量である。

【 0 0 2 3 】

なお、像ズレ量の算出方法は、本実施形態の方法に限定されるものではなく、他の公知の手法を用いてもよい。

【 0 0 2 4 】

30

距離算出ステップ S 1 0 2 では、演算処理部 1 0 4 が、像ズレ量から距離情報 (例えば、デフォーカス量) を算出する。被写体 1 0 6 の像は、結像光学系 1 0 1 を介して撮像素子 1 0 3 に結像される。図 1 (A) では射出瞳 1 3 0 を通過した光束が結像面 1 0 7 で焦点を結び、焦点がデフォーカスした状態を示している。尚、デフォーカスとは結像面 1 0 7 と、撮像面 (受光面) とが一致せず、光軸 1 0 8 方向にズレた状態のことをいう。デフォーカス量は、撮像素子 1 0 3 の撮像面と結像面 1 0 7 との間の距離を示す。本実施形態に係る距離測定装置では、このデフォーカス量に基づいて被写体 1 0 6 の距離が検出される。A 像と B 像との相対的な位置ズレを示す像ズレ量 r と、デフォーカス量 L とは、(式 2) の関係を有している。

【 数 2 】

40

$$\Delta L = \frac{rL}{W - r} \quad (\text{式 2})$$

【 0 0 2 5 】

(式 2) において、W は基線長、L は撮像素子 (撮像面) 1 0 3 から、射出瞳 1 3 0 までの距離である。基線長 W は後述する画素の入射角に対する感度分布を射出瞳 1 3 0 面上に投影した瞳感度分布の重心間隔に相当する。

【 0 0 2 6 】

(式 2) は、換算係数 K を用いて、(式 3) のように簡略化して書くことができる。

50

【数 3】

$$\Delta L \cong K \cdot r \quad (\text{式 3})$$

【 0 0 2 7 】

像ズレ量をデフォーカス量に変換する係数を以下、「換算係数」と呼ぶ。換算係数は、例えば、前述の比例係数 K あるいは基線長 W のことを言う。基線長 W の補正は換算係数の補正と技術的に等価である。なお、デフォーカス量の算出方法は、本実施形態の方法に限定されるものではなく、他の公知の手法を用いてもよい。

【 0 0 2 8 】

座標変換ステップ S 1 0 3 では、ステップ S 1 0 2 において算出した距離マップの各算出座標を歪曲補正による座標変換で移動させて、歪曲ひずみのない距離マップを生成する。

10

【 0 0 2 9 】

上記で説明した基本的な方法においては、広角・短焦点側の光学系で大きくなる歪曲収差の影響を考慮していない。したがって、ステップ S 1 0 3 の座標変換処理において、単なる座標変換によって歪曲歪みのない距離マップを生成しても、距離の値が正しくない距離マップが生成されてしまう。

【 0 0 3 0 】

また、ケラレを伴う実際の光学系においては、A 像、B 像は異なる歪曲収差の影響を受ける。このため、後述のように像ズレの方向は水平から傾いた方向になる。結果、A 像または B 像における該位置から A 像と B 像の混合像におけるデフォーカスによるボケも考慮した対応位置への座標変換は、単に水平方向にシフトさせるのではなく、画角歪曲の影響を想定して行わなければならない。

20

【 0 0 3 1 】

図 3 (D) は、歪曲収差による影響を説明する図である。図 3 (D) において、実線 3 5 0 は、格子状の被写体の理想像を示しており、破線 3 5 1 は、歪曲収差の影響を受けた被写体の像を示している。結像光学系 1 0 1 の歪曲収差により、被写体像 3 5 1 は樽型に歪曲し、像ズレ方向および像ズレ量が理想像 3 5 0 から変化する。

【 0 0 3 2 】

図 3 (A) は、撮像素子 1 0 3 を上面から見た様子を模式的に示した図である。第 1 の位置 3 0 1 は、撮像素子 1 0 3 の中心画素の位置、すなわち、結像光学系 1 0 1 の光軸 1 0 8 と撮像素子 1 0 3 の交点を示す。第 2 の位置 3 0 2 は、撮像素子 1 0 3 の周辺像高の画素の位置を示す。

30

【 0 0 3 3 】

図 3 (B) は、第 1 の位置 3 0 1 から結像光学系 1 0 1 の射出瞳 1 3 0 を見た様子を示す図である。また、図 3 (C) は、第 2 の位置 3 0 2 から結像光学系 1 0 1 の射出瞳 1 3 0 を見た様子を示す図である。

【 0 0 3 4 】

ここでは、A 像を形成する光束が通過する瞳領域を領域 3 1 0、B 像を形成する光束が通過する瞳領域を領域 3 2 0 と称する。なお、図面では領域 3 1 0 と領域 3 2 0 が完全に分離しているように示しているが、これは説明の簡略化のためであり実際にはこれらの領域が一部重なっていてもよい。

40

【 0 0 3 5 】

第 1 の位置 3 0 1 から見た射出瞳 1 3 0 (図 3 (B)) では、領域 3 1 0 の重心位置 3 1 1 から領域 3 2 0 の重心位置 3 2 1 に向かうベクトル 3 3 0 が x 軸と平行になる。すなわち、第 1 の位置 3 0 1 においては、A 像および B 像における被写体 1 0 6 位置のズレ (像ズレ) の方向は x 方向となる。

【 0 0 3 6 】

一方、歪曲収差が発生すると、周辺像高の第 2 の位置 3 0 2 に対する射出瞳 1 3 0 上の重心位置 3 1 1 を通過した光線は、撮像素子 1 0 3 上の - y 方向にシフトした位置に到達

50

する。他方、重心位置 3 2 1 を通過した光線は、撮像素子 1 0 3 上の + y 方向にシフトした位置に到達する。従って、周辺像高である第 2 の位置 3 0 2 では、歪曲収差によって像ズレ方向が斜めになる。ちなみに、周辺像高においては歪曲収差の他にコマ収差の影響によっても像ズレ方向が斜めになる。よって、第 2 の位置 3 0 2 に対する射出瞳 1 3 0 (図 3 (C)) では、収差の影響により、重心位置 3 1 1 から重心位置 3 2 1 に向かうベクトル 3 4 0 は、x 成分と y 成分を有するベクトルとなる。すなわち、合焦距離から外れた被写体の像に対する像ズレ方向は、第 1 の位置 3 0 1 とは異なり斜め方向になる。

【 0 0 3 7 】

特許文献 1 は、この斜め方向の像ズレを解消するために、A 像、B 像それぞれに対して異なる歪曲補正を行い、歪曲のない A 像および B 像を生成することを提案している。しかし、像ズレ量探索のためだけに A 像および B 像のそれぞれに特別な歪曲補正を行うので、演算回路等のリソース、電力、計算量やその演算時間等の面で大きな負荷となる。さらには最終出力の A B 混合像の座標空間への座標変換も必要となる。

10

【 0 0 3 8 】

< 本実施形態に係る測距演算処理 >

図 4 (A) は、本実施形態に係る測距演算処理のフローチャートの一例を示す図である。図 4 (B) は、本実施形態に係る測距演算処理のデータフローを示す図である。本実施形態に係る測距演算処理は、像ズレ量算出ステップ S 2 0 1、歪曲収差による影響を考慮した距離算出ステップ S 2 0 2、距離マップ歪曲補正ステップ S 2 0 3 からなる。歪曲収差による影響を考慮した距離算出ステップ S 2 0 2 は、像ズレ量補正ステップ S 2 0 2 1 および距離算出ステップ S 2 0 2 2 からなる。

20

【 0 0 3 9 】

像ズレ量算出ステップ S 2 0 1 では、演算処理部 1 0 4 が、第 1 の信号の像である A 像と第 2 の信号の像である B 像の間の相対的な位置ズレ量である像ズレ量の算出を行う。ここで処理対象とする A 像および B 像は、歪曲補正を施していない状態の画像であり、したがって、歪曲収差の影響を受けた画像である。なお、像ズレ量算出ステップ (像ズレ量取得ステップ) S 2 0 1 を実行する演算処理部 1 0 4 が、本発明における第一の取得手段に相当する。

【 0 0 4 0 】

ステップ S 2 0 1 における像ズレ算出の具体的な処理は、適宜選択することができる。例えば、(式 4) のように 2 次元探索を行うことで、上下方向の像ズレも含めた算出が可能である。A 像と B 像の像信号データ A (i)、B (i) から相関値 S (j , l) を算出する。

30

【 数 4 】

$$S(j,l) = \sum_{k=p}^q \sum_{i=p}^q |A(i+j,k+l) - B(i,k)| \quad (\text{式 4})$$

【 0 0 4 1 】

また、エピポーラ線を考慮して (式 4) の探索側の A 像の上下位置 l を順次ずらして一次元探索を行っても良い。画像中の像ズレ探索座標位置に対するエピポーラ線は、光学系の設計値や光学的あるいは画像的な計測値から事前に算出可能である。

40

【 0 0 4 2 】

さらに、歪曲により生じる上下方向の像ズレ量がごく小さいとみなせる場合は、(式 1) にしたがって水平方向のみのズレ量探索を行ってもよい。上下ズレの影響で相関スコアは悪化するが、近似的に上下方向の像ズレを無視した像ズレ量を算出可能である。

【 0 0 4 3 】

A 像と B 像のあいだの像ズレ量を求める方法は、これら以外の方法であっても良い。たとえば、A 像、B 像それぞれで上下方向に画素加算を行うことで、上下方向の像ズレを軽減できる。あるいは、特許文献 3 に示すように、像をシフトさせるフィルタを適用するこ

50

とで、上下方向の像ズレを軽減した相関演算が可能となる。さらに、特許文献5に示すように、A像、B像間の加減算によりA+B像やA-B像を生成して上下方向の像ズレを軽減した相関演算を行うこともできる。

【0044】

ここで、像ズレ量算出の具体的な手法を複数説明したが、ステップS201において使用する手法を、複数の手法の中から選択可能としても良い。すなわち、演算処理部104は、像ズレ量算出方法を選択する選択手段としての機能を有することも好ましい。この選択は、撮影時の撮影条件や画像中の被写体に応じて、演算処理部104が自動的に選択することが好ましい。

【0045】

上述のように、A像、B像間の歪曲収差によって生じる像ズレ方向が斜めになる影響には比較的簡単に対応可能であり、像ズレ量を精度良く求めることができる。しかしながらこれらの処理では、像面歪曲による像の拡大縮小の影響には対応できない。例えば収差が樽型の場合、周辺像高においては像の縮小が生じ、局所的な像ズレ量は、理想像面と比較して小さくなってしまう。このため、(式3)のような単純な変換式に則ってデフォーカス量や距離値を算出する場合には、相関演算により得られる像ズレ量を、測距画素の位置に応じた歪曲量に基づいて補正しなければならない。

【0046】

図5(A)は、歪曲収差がある撮像装置によって撮影された、同じ距離にある2つの同一サイズの被写体の像351を示す。同一サイズの被写体であっても、樽型の歪曲収差が発生している場合、像面上では周辺像高の被写体は縮小して撮影されてしまう。

【0047】

図5(B)は、像351に歪曲補正を施して、歪曲収差の影響を除去した場合の像353を示す。周辺像高の被写体は歪曲補正により中心像高の被写体と同じサイズとなる。このように歪曲補正したA像およびB像を用いて像ズレ量、さらには距離情報(デフォーカス量または距離値)を算出すれば、(式3)に示す単純な変換式を用いても算出精度がよい。像中でのエピポーラ線を注目点と同じスキャンラインに設定できる上、歪曲収差に伴う像のサイズも補正されているからである。しかしながら、前述したように像ズレ算出のためにA像、B像それぞれの歪曲補正量を考慮した歪曲補正が必要となり、システムの複雑化を招いてしまう。さらに、像ズレ量算出用の入力画像に歪曲補正を実施してしまうと幾何補正の回路の性能や制約に基づく誤差により距離情報にその誤差が乗ってしまう可能性があるため、入力画像への歪曲補正はできるだけ避けたいという要請がある。

【0048】

また、撮像装置においては、歪曲を含むRGB画像に対応する距離画像が必要とされる場合がある。たとえば、プレビュー画像として歪曲を含むRGB画像を表示する場合、これに重畳して表示する距離画像は歪曲が補正されていない方がよい。上述のようにA像、B像の歪曲補正をして距離画像を求めた場合には、その後さらに歪曲の影響を加えるという無駄な処理が生じる。

【0049】

そこで、本実施形態のステップS202の距離算出処理においては、歪曲収差を含むA像とB像間で算出された像ズレ量に対し、画角毎における像の縮小量に基づく像ズレ量の補正を(式5)のように適用する。

【数5】

$$r_n = R_n(x_d, y_d, r_d) \cdot r_d \quad (\text{式5})$$

【0050】

ステップS202は歪曲収差の影響を考慮した距離算出ステップであり、ステップS2021の像ズレ量補正ステップとステップS2022の距離算出ステップからなる。なお、距離算出ステップ(距離情報取得ステップ)S202を実行する演算処理部104が、

10

20

30

40

50

本発明における第二の取得手段に相当する。

【0051】

R_n は、歪曲を含む画像上で算出した像ズレ量 r_d を、歪曲補正して歪曲がない画像上で算出した場合に得られべき像ズレ量 r_n に補正するための補正係数である。 $R_n(x_d, y_d, r_d)$ は、当該補正係数の演算関数を表す。 R_n は、像高位置 (x_d, y_d) における歪曲収差による像の縮小拡大率に依存するので、像面内の位置に応じて異なる値をとる関数である。また、 R_n は、歪曲を含む画像上での像ズレ量 r_d にも依存するので、像ズレ量 r_d に応じて異なる値をとる関数である。

【0052】

また、 $R_n(x_d, y_d, r_d)$ には、ステップ S 2 0 1 の像ズレ算出で選択した手法特有の誤差を補正する補正值の寄与を含んでも良い。上述したように、ステップ S 2 0 1 における像ズレ算出の具体的な方法は複数あり、それぞれの手法に応じて算出される像ズレ量に誤差が含まれる。例えば、水平方向のみのズレ量探索を行ったり、A像、B像それぞれで上下方向に画素加算を行うことで上下方向の像ズレを軽減したりする手法を選択した場合には、無視した垂直方向の像ズレ量が誤差となる。また特許文献 3 に示すような像シフトフィルタを適用した場合、シフトで失われた垂直方向の像ズレ量が誤差となり、またフィルタのタップ数の制限等によっても誤差が生じる。したがって、 $R_n(x_d, y_d, r_d)$ はこのような誤差を補正する補正值の寄与を含むことが好ましい。距離測定装置は、像ズレ算出手法に応じて複数の R_n を保持するように構成し、ステップ S 2 0 1 において選択した手法に対応する R_n を用いてステップ S 2 0 2 1 において像ズレ量の補正を行うとよい。

【0053】

このように、ステップ S 2 0 2 の距離算出処理においては、歪曲収差による像の歪みで生じる像ズレ量の変動、および選択した算出手法により混入する誤差の影響を考慮した像ズレ量の補正が行われる。したがって、歪曲収差を含むA像とB像を用いて像ズレ量を算出しても、最終的に正しい距離値を得ることができる。像に含まれる歪曲量およびステップ S 2 0 1 の像ズレ算出手法に応じて、像ズレ量補正を行う。

【0054】

ステップ S 2 0 2 2 の距離値算出においては、距離算出処理ステップ S 1 0 2 と同様に(式 6)に基づき、換算係数 K と S 2 0 2 1 の像ズレ量補正後の像ズレ量 r_n からデフォーカス量を算出する。

【数 6】

$$\begin{aligned}\Delta L &\cong K \cdot r_n \\ &= K \cdot R_n(x_d, y_d, r_d) \cdot r_d\end{aligned}\quad (\text{式 6})$$

【0055】

< 補正值テーブルの作成方法 >

本実施形態では、各像高位置に対する補正係数 R_n をあらかじめ求めておき、テーブルとして保持する。各像高位置に対する補正係数 R_n は、例えば、CG画像上のシミュレーション探索により算出することができる。

【0056】

図 6 (A) - 6 (D) に CG シミュレーションによる補正值テーブル作成の概要を示す。図 6 (A) は、A 像を形成するカメラと B 像を形成するカメラをステレオ光学系で近似したモデルを示す。ここでは図 6 (A) の左側を A 像を形成する光学系 6 1、右側を B 像を形成する光学系 6 2 とする。図 6 (A) に示すように、A 像に射影される光線 6 3 に沿って被写体点の奥行きを変化させることで、A 像上での位置を変化させることなく、B 像上の位置、および A 像と B 像間のずれ量を任意に変化させることができる。歪のない光学系間のずれ量は、例えばフォーカスが無限遠の場合、平行配置のステレオカメラと近似的にみなすことができるため、以下の(式 7)で表せる。

【数 7】

$$r_n = Wf/d \quad (\text{式 7})$$

【 0 0 5 7 】

ここで、Wは基線長、fはカメラの焦点距離、dは被写体点のカメラからの奥行き距離、 r_n は無歪系における像のずれ量である。

【 0 0 5 8 】

図 6 (B) は歪曲収差のない理想的な光学系での無歪画像を示す。図 6 (C) は歪曲収差のある現実の光学系での歪曲画像を示す。光学系の歪曲量が既知であれば、無歪画像上での写像位置と、歪曲画像上での写像位置を相互に変換可能である。

10

【 0 0 5 9 】

例えば、歪曲量が次のような形式で表現できる。

【数 8】

$$\begin{aligned} x_d &= x_n(1 + k_1 c_n^2 + k_2 c_n^4 + k_3 c_n^6) \\ y_d &= y_n(1 + k_1 c_n^2 + k_2 c_n^4 + k_3 c_n^6) \end{aligned} \quad (\text{式 8})$$

$$\text{ここで、} c_n^2 = (x_n^2 + y_n^2)$$

20

【 0 0 6 0 】

このような歪曲量を既存の画像処理機能（例えば、OpenCV）に適用することによって、歪曲の影響を受けた画像と歪曲の影響のない画像のあいだの可逆的な変換が可能となる。つまり、図 6 (B) で示した無歪像における写像位置と、図 6 (C) で示す歪曲を受けた像における写像位置を相互変換可能となる。

【 0 0 6 1 】

これにより、基準とする画像（例えばA像）の歪曲画像上の任意の位置（ x, y ）および任意の奥行き距離d（あるいは無歪画像上での像ズレ量 r_n ）により決定される位置に存在する被写体の、他方の画像（例えばB像）上での位置を求めることができる。具体的には、図 6 (C) の歪曲画像に位置（ x, y ）を設定し、図 6 (A) に示すように被写体点の奥行き距離dを任意に変化させて、歪曲のないB像での写像位置を求め、それを座標変換により歪曲のあるB像での写像位置に変換すればよい。

30

【 0 0 6 2 】

このようにして形成される歪曲のあるA像およびB像に対して、像ズレ算出ステップS201で行うのと同じ処理によって、像ズレ量 r_d を求める。これにより、歪曲画像の任意の位置（ x_d, y_d ）において得られる像ズレ量 r_d と、同じ被写体についての無歪画像上での像ズレ量 r_n とを対応付けることができる。

【 0 0 6 3 】

ここで、歪曲画像上での写像位置が既に求まっており、したがってこれに基づいて像ズレ量 r_d を決定できるにもかかわらず上記の処理を行うのは、像ズレ算出ステップS201において実際に算出される像ズレ量を求めるためである。言い換えると、像ズレ算出ステップにおいて算出される像ズレ量には含まれる誤差の影響を考慮するためである。したがって、像ズレ算出ステップS201において複数の像ズレ算出手法を選択可能とする場合には、各手法について像ズレ量 r_d を求めることが望ましい。

40

【 0 0 6 4 】

このようにして得られた（ x_d, y_d, r_d ）および r_n から、（ x_d, y_d, r_d ）を引数として、 r_n を出力とするテーブルを形成することができる。図 6 (E) はある画素位置（ x_d, y_d ）における r_d と r_n の関係である。テーブルにおいては、（ x_d, y_d, r_d ）空間上の離散的な点について r_n が定義されるので、テーブルにおいて定義

50

されていない点については線形補間やスプライン補間のような多項式補間を用いて r_n を取得すればよい。

【0065】

なお、像ズレ算出ステップS201における算出手法の選択には、探索が1次元か2次元か、相関値をどう定義するか、歪曲の影響に対する補正を行うか否か以外にも、ウィンドウサイズの値や探索範囲の広さなども含まれる。したがって、補正值テーブルを作成する際には、ウィンドウサイズや探索範囲の種々の値についてシミュレーションを実施すると良い。さらには、フォーカス位置や焦点距離やf値のような撮影パラメータによっても像ズレ量が変わるので、これらのパラメータをも変動させてシミュレーションを実施することが好ましい。このように、撮像装置における可変なパラメータのうち像ズレ量に対して影響を与えるものについては、パラメータを変動させてシミュレーションを実施することが望ましい。

10

【0066】

このような手法によって、測距装置の動作に必要な補正量の変換テーブルを得ることができる。なお、 (x_d, y_d) と r_d との関係は、ステレオカメラの物理的なパラメータ f, W, d や画素サイズに依存するが、 (x_d, y_d, r_d) と r_n の関係は歪曲量のみに依存する。

【0067】

図7は、上記で説明した像ズレ補正量テーブルの作成処理を示すフローチャートである。ここでは、像ズレ算出においてA像を基準としてB像内で探索を行うものとして説明する。まず、ステップS71において、基準となる歪曲A像上の画素位置 (x_d, y_d) を選択する。ステップS72において、この画素位置に対応する無歪曲A像上の画素位置 (x_n, y_n) を求める。ステップS73において、被写体距離 d を選択する。ステップS74において、CGシミュレーションによって、無歪曲B像上での当該被写体の像を計算する。ステップS75では、無歪曲A像と無歪曲B像のあいだで当該被写体の像ズレ量 r_n を求める。ステップS76では、無歪曲B像を歪曲B像に変換する。ステップS77では、像ズレ量算出ステップS201と同じ方法で、歪曲A像の点 (x_d, y_d) に対応する歪曲B像上の点を求め、その像ズレ量 r_d を算出する。なお、ステップS201において複数の手法が選択可能である場合には、それぞれの手法を用いて像ズレ量 r_d を算出するとよい。ステップS78では、ステップS77で求めた像ズレ量 r_d とステップS75で求めた像ズレ量 r_n に基づいて、像ズレ補正量 $R_n(x, y_d, r_d)$ を決定する。ステップS79では、算出対象の距離範囲について処理が完了したかを判定し、完了していなければステップS73に戻り被写体距離 d を変更して上記の処理を繰り返す。ステップS80では、算出対象の画素全てについて処理が完了したかを判定し、完了していなければステップS71に戻り対象画素 (x_d, y_d) を変更して上記の処理を繰り返す。以上の処理により、像ズレ補正量テーブル R_n が作成できる。

20

30

【0068】

図4(A)のフローチャートの説明に戻る。ステップS203の距離マップ座標変換処理では、ステップS202において算出した距離情報マップにおける算出位置座標を、A B混合像における対応位置に変換する。ステップS202では、基準としたA像またはB像の各算出位置(画素)に対して距離情報が求められる。A像とB像を混合することで被写体位置が移動するので、ステップS202において算出した距離情報マップとA B混合像の位置がずれる。そこで、ステップS203において、演算処理部104は、このズレを解消するための座標変換処理を距離マップに対して施す。

40

【0069】

ステップS203において、演算処理部104はさらに、3Dモデル算出等の後処理で矛盾なく使えるように距離情報マップに対し歪曲補正を行う。また、同一視点で撮影したRGB画像に同時に歪曲補正を施しても良い。

【0070】

ステップS203は必須ではなく、実施の有無を任意に切り替え可能にしても良い。こ

50

の場合、A B 混合像の対応座標への座標変換と、マップへの歪曲補正とは、それぞれ個別に実施有無を切り替え可能にすると良い。

【 0 0 7 1 】

また、歪曲補正を行う前の距離情報マップを、中間データとして記憶・出力することも好ましい。歪曲補正前の距離情報マップは、歪曲 R G B 画像への重畳表示に用いたり、歪曲 R G B 像に直接適用される被写体セグメンテーションや被写体追跡処理の補助情報として用いたりすることができる。

【 0 0 7 2 】

以下、ステップ S 2 0 3 の幾何歪曲補正処理の詳細を具体的に説明する。演算処理部 1 0 4 は、まず、基準として A 像または B 像と A B 混合像のあいだの位置のズレを補正する
10
ための座標変換処理を、ステップ S 2 0 2 において算出した距離情報マップに対して施す。

【 0 0 7 3 】

図 8 (A) ~ 8 (C) はこの座標変換処理の概要を説明する図である。以下では、S 2 0 2 において A 像が基準とされたものとして説明する。A 像上の位置 8 1 と当該位置に対応する B 像上の位置 8 2 は、像ズレ量 r_d だけずれている(図 8 (A) および 8 (B))。そして、A B 混合像においては位置 8 1 および位置 8 2 の像ズレ方向(エピポーラ線)に沿った中央位置 8 2 を、被写体の射影位置とみなすことができる。そこで、A 像上の位置 8 1 と B 像上の対応位置 8 2 または像ズレ量 r_d に基づき、A 像上の位置 8 1 を A B 混合
20
像上の対応位置へと変換する幾何変換を施す。

【 0 0 7 4 】

単純には、瞳分割光学系の場合は基線長が短く像ズレ量もごく小さいため、エピポーラ線の湾曲を近似的に直線 8 4 とみなしてもよい。この場合の座標変換処理は、A 像上の位置 8 1 を、A 像上の位置 8 1 と B 像上の対応位置 8 2 の中点座標 8 3 に移動させる幾何変換となる。

【 0 0 7 5 】

厳密には、エピポーラ線は曲線となるので、A B 混合像上の射影位置はこの曲線 8 6 上での中間点として求める必要がある。エピポーラ線は非歪曲像では水平である(図 6 (B)) が、歪曲像では図 6 (D) や図 7 (C) に示した歪曲像のように湾曲する。そこで、湾曲したエピポーラ線を多項式近似して表し、エピポーラ線上の中点 8 5 を算出すれば A
30
B 混合像上の座標点をより厳密に算出することができる。

【 0 0 7 6 】

次に、歪曲補正処理について説明する。歪曲補正においては、演算処理部 1 0 4 は、距離情報マップの座標を、歪曲収差を除去した画像座標に変換する。距離情報マップの幾何変形は、各算出位置での値をなるべく変化させず、歪曲の影響を受けた算出位置のみを移動させる処理である。歪曲補正は放射歪や倍率色収差といった光学系の収差により生じる幾何学的な歪を補正する処理である。画像的には主に放射歪を補正する。歪曲の影響を受けた画像座標と歪曲のない画像座標の関係は例えば、(式 8) で表される。

【 0 0 7 7 】

歪曲によるピクセルの移動量は連続的に変化するため、移動量がサブピクセル値となる
40
ことがある。その際は補間を用いてサンプリング値を再作成しその位置のデフォーカス値または距離値を取得する。一例として、線形補間を利用する歪曲補正の方法を図 9 (A) (B) に示す。図 9 (A) は元画像 9 1、図 9 (B) は歪曲を補正した画像 9 2 をそれぞれ示す。図中の一点鎖線 9 3 は方形の被写体の像である。出力マップのデータに欠陥が生じないよう、バックワードマッピングによりマップの再作成を実現する。バックワードマッピングでは、入力マップ上の座標を基にサンプリングし、補間により出力マップのデータを生成する。補間手法に応じ、演算した入力マップ上のサンプリング座標の近傍の画素値を用いて補間処理をおこなう。補間処理には例えば 4 近傍を用い線形補間を行うバイリニア補間処理、16 近傍を用い 3 次補間をおこなうバイキュービック補間処理等の補間方法が想定される。また、歪曲収差の影響により像高に対し画素の移動量の変化は連続的で
50

あるが非線形に変化する。補間により生じる誤差をさらに効果的に低減するために、線形補間ではなくスプライン補間やLanczos-n補間、カイ自乗補間等を使っても良い。

【 0 0 7 8 】

図 1 0 を用いて、典型的な例としてバイリニア補間の様子を説明する。出力マップ座標それぞれについて行われる後述の座標演算の結果、黒丸で示される入力マップ上のサンプリング座標を中心に周辺データ点がサンプリングされる。サンプリング座標は小数点以下の情報を持つサブピクセル座標で算出される。補間方法がバイリニア補間である場合には、サンプリング座標の 4 近傍画素を読みだすようにメモリからのマップ値の順次読み出し処理を実施する。図 1 0 中の白丸は読みだされた近傍マップデータである。座標値に用いられている $[\cdot]$ は床関数であり、たとえば $[x]$ は x の整数部分を表す。補間は、読みだされたこれら 4 近傍のデータ値を用いて、次式に示すように行われる。

10

【数 9】

$$I(x, y) = ([x]+1-x)([y]+1-y)f([x], [y]) + ([x]+1-x)(y-[y])f([x], [y]+1) \\ + (x-[x])([y]+1-y)f([x]+1, [y]) + (x-[x])(y-[y])f([x]+1, [y]+1) \quad (\text{式 9})$$

【 0 0 7 9 】

ここで、 $I(x, y)$ が補間により生成したマップ値、 f は入力マップ上のマップデータ値である。上記処理を各画素に対して順次行うことにより出力マップを再作成する。

【 0 0 8 0 】

ここまで述べたような処理の実施により、入力画像に対して直接歪曲補正を行うことなく、歪曲補正を適用して得られる歪曲のない A 像および B 像から求められるデフォーカスマップまたは距離マップを作成することができる。本実施形態の処理により得られるデフォーカスマップまたは距離マップは、デフォーカスまたは距離の値も、当該値の算出位置も、歪曲のない画像から得られるマップと同等である。

20

【 0 0 8 1 】

本実施形態によれば、歪曲の影響のないピンホールカメラを想定したデフォーカスマップまたは距離値マップを出力できる。したがって、複数の 3 次元モデルデータのつなぎ合わせが必要となる巨大な被写体の 3 D モデルを取得する 3 D モデリングや接写によるモデリング、移動しながら空間の地図を取得する空間マッピングを高精度に実現できるようになる。

30

【 0 0 8 2 】

また、距離算出ステップ S 2 0 1 後の中間出力を利用すると、歪曲 R G B 像に対して処理を行う際に、余計な追加処理を必要とせず、使い勝手良く用いることができる。歪曲 R G B 像に中間出力の距離マップを使う例として、距離マップの歪曲 R G B 像への重畳表示や、距離マップを補助情報として利用する歪曲 R G B 像上での被写体セグメンテーションや被写体追跡処理が挙げられる。

【 0 0 8 3 】

(実施形態 2)

以下、図を用いて本実施形態における測距方法を説明する。図 1 1 は、本実施形態に係る距離測定装置を備えた撮像装置 2 0 0 を示す模式図である。撮像装置 2 0 0 は撮像装置 1 0 0 と同様に、結像光学系 1 0 1 と、距離測定装置 1 0 2 を備えて構成されている。距離測定装置 1 0 2 は、撮像素子 1 0 3 と演算処理部 1 0 4 とメモリ 1 0 5 を有している。本実施形態に係る距離測定装置 1 0 2 は、実施形態 1 における距離測定装置 1 0 2 から幾何変形部 1 4 0 を省略した構成となっており、演算処理部 1 0 4 で行う処理に変更が加えられている。以下では、実施形態 1 と同様の構成については説明を省略する。

40

【 0 0 8 4 】

図 1 2 (A) は、本実施形態に係る測距演算処理の処理フローの一例を示す図である。図 1 2 (B) は、本実施形態に係る測距演算処理のデータフローを示す図である。本実施形態に係る測距演算処理は、像ズレ算出書霊ステップ S 3 0 1 と、像ズレ量補正・距離算出ステップ S 3 0 2 からなる。

50

【 0 0 8 5 】

像ズレ算出処理ステップ S 3 0 1 においては、実施形態 1 の像ズレ算出処理ステップ S 2 0 1 と同様に、歪曲の影響を含む入力像（ A 像および B 像）から像ズレ量を算出する。

【 0 0 8 6 】

像ズレ量補正・距離算出ステップ S 3 0 2 においては、像ズレ量の補正と距離算出の処理を同時に行う。本実施形態においては、換算係数 K も像高に応じて異なる値とする。撮影レンズがズームレンズの場合、ズームステートの変化により射出瞳位置とセンサ瞳位置が変化すると、射出瞳上の透過率分布形状も変化する。このため、瞳上での透過率分布の重心間隔である基線長 W の値およびこれに関連する換算係数 K も像高に応じて異なる値となる。また、換算係数 K は、被写体距離によっても異なる値となる。そこで、本実施形態ではこれらの変化にも対応する。

10

【 0 0 8 7 】

この場合、実施形態 1 における（式 3）は次のように表し直される。

【数 1 0】

$$\Delta L \cong K(x_n, y_n, r_n) \cdot r_n \quad (\text{式 1 0})$$

$$\text{但し、} r_n = R_n(x_d, y_d, r_d) r_d$$

【 0 0 8 8 】

ここで R_n は、実施形態 1 と同様に、歪曲を含む画像上の位置（ x_d, y_d ）において算出された像ズレ量 r_d を、歪曲のない画像上での像ズレ量 r_n に補正する関数処理である。

20

【 0 0 8 9 】

ここで、（式 8）の関係を用いて座標変換を行うことで、（式 1 0）は次のように表せる。

【数 1 1】

$$\Delta L \cong K'(x_d, y_d, r_n) \cdot R_n(x_d, y_d, r_d) r_d \quad (\text{式 1 1})$$

30

【 0 0 9 0 】

換算係数の補正処理（ K' の算出）および像ズレ量の補正（ R_n の算出）のいずれも、算出位置（ x_d, y_d ）および像ズレ量 r_d に依存する関数処理である。したがって、換算係数の補正と像ズレ量の補正をまとめて、次のように表現することができる。

【数 1 2】

$$\Delta L \cong K''(x_d, y_d, r_d) r_d \quad (\text{式 1 2})$$

【 0 0 9 1 】

K'' は歪曲画像上の座標（ x_d, y_d ）、および歪曲画像上で算出した像ズレ量 r_d にしたがって値が変化する係数マップである。係数 K'' を記憶したテーブルを用いることで、実施形態 1 において像ズレ量補正ステップ S 2 0 2 1 と距離算出ステップ S 2 0 1 の 2 つのステップに分けて行っていた処理を一括で行うことができる。すなわち、係数 K'' は、歪曲収差に伴う像ズレ量の変動を補正するための像ズレ補正量と、像高に応じて変化する換算係数との積を、新たな補正量付き換算係数とみなせる。

40

【 0 0 9 2 】

またさらに、デフォーカス量がゼロになるべきベストピント位置であっても、センサ面の倒れや球面収差、軸上色収差などの影響を受けて像ズレ量がゼロとはならない。また、ベストピント位置は、色（R, G, B）によっても異なるし、像高によっても異なる。換算係数の補正する際には、この影響も考慮することが好ましい。この場合、次式のように

50

係数Mを用いて換算係数を補正する。この係数Mも像高に応じて異なる値となる。

【数 1 3】

$$L \cong K''(x_d, y_d, r_d)r_d + M(x_d, y_d, r_d) \quad (\text{式 1 3})$$

【 0 0 9 3】

係数Mはベストポイント位置の補正を行うための2要素のベクトルパラメータとして画素位置に応じた2次元テーブルとしてメモリ105に記憶される。厳密には、像ズレ量(デフォーカス量)により変化する係数の影響まで考慮すると、画素位置(x_d, y_d)だけでなく像ズレ量 r_d におうじた3次元テーブルに関連付けて補正係数をメモリ105に記憶することになる。

10

【 0 0 9 4】

像ズレ量補正・距離算出処理ステップS302においては、(式13)を用いて、歪曲の影響を含む像ズレ量 r_d を入力として歪曲の影響を補正したデフォーカス量を算出し、必要に応じてデフォーカス量を距離値に変換する。各画素位置に対して上記処理を行うことで、デフォーカスマップまたは距離マップを得ることができる。

【 0 0 9 5】

< テーブルの作成方法 >

換算係数は像光学系101の焦点距離や絞りなどの測距条件あるいは像高(撮像素子103上における測距する位置)に応じて変化する。また補正係数は、歪曲量や、像ズレ算出処理ステップS301で採用された探索手法(前処理含む)に応じて変化する。

20

【 0 0 9 6】

換算係数算出処理における換算係数及び補正パラメータは、例えば以下のように決定する。ここでは、測定により換算係数と補正係数があらかじめ結合した係数マップを得る方法を説明する。焦点距離や絞りの所定の測距条件において、既知の距離にある様々な被写体を撮影する。各被写体から取得した信号より、各画像位置において像ズレ量と所定の算出式(例えば(式14))から換算係数およびオフセット係数を算出する。各被写体の実際の距離と、像ズレ量、換算係数、およびオフセット係数から求まる距離とが近くなるように、換算係数およびオフセット係数の調整を行う。あるいは、同様の手法を、結像光学系101や距離測定装置102の設計値を元にした数値シミュレーションや光学CAD出力を用いたシミュレーションによって行ってもよい。換算係数およびオフセット係数の算出には、多次元変数に対するフィッティング処理を適用すればよい。

30

【 0 0 9 7】

シミュレーション等により像高に応じた換算係数マップを非歪曲画像で算出した場合は、前記デフォーカスマップまたは距離マップへの歪曲補正の逆変換を換算係数マップに適用し、座標に歪曲画像座標を想定した換算係数マップを作製しても良い。この場合、所定の測距条件において、既知の距離にある被写体の撮影を行い、実際の処理と同様にしてデフォーカスマップまたは距離マップを算出し、その結果における正解距離とのズレを補正するように補正值のマップの係数を決定してもよい。あるいは実施形態1で示したCGシミュレーションにより、実際の測定の代わりに入力測定データと正解距離の教師データ(Ground Truth)を用意しても良い。

40

【 0 0 9 8】

本実施形態に係る距離算出フローにおいて、焦点距離、絞り、フォーカス等のカメラパラメータに関係する測距条件に応じて異なる換算係数およびオフセット係数を用いてもよい。例えば、幾つかの測距条件における換算係数およびオフセット係数の数値データテーブルを予めメモリ105に保持しておき、測距時の条件に対応するテーブルから値を読み出して使用してもよい。あるいは、各係数を焦点距離や絞り、像高等といった測距条件を変数とする2次関数で近似し、当該2次関数の係数をメモリ105に格納しておき、測距時の条件での係数を読み出して、換算係数及び補正係数を算出してもよい。また、各測距条件において、補正換算係数の算出式より求まる補正換算係数値をメモリに保持しておき

50

、補正パラメータの値に応じて、補正換算係数の値を適時読み出してもよい。

【 0 0 9 9 】

これらの手法により、測距時の条件に応じて、適切な算出式及び基準換算係数及び補正係数を用いることができ、より正確に換算係数を算出し、高精度な距離の算出が可能となる。

【 0 1 0 0 】

本実施形態において、算出した距離マップは、実施形態 1 と同様に、歪曲 R G B 像への重畳表示に使われたり、歪曲入力 R G B 像に直接適用される被写体セグメンテーションや被写体追跡処理の補助情報として用いたりすることができる。

【 0 1 0 1 】

また第 1 に実施形態と同様に、幾何変形部 1 4 0 を用いて、デフォーカスマップまたは距離マップの各画素位置を A B 混合像に合わせて座標変換したり、歪曲補正を行ってもよい。これらの処理により、R G B 像 (A B 混合像) とマップの対応が取れ、かつ、歪曲がなくなり 3 D モデル算出唐の後処理で矛盾なくマップを利用できるようになる。また、同一視点で撮影した R G B 画像を同時に歪曲補正しても良い。A B 混合像に合わせる座標変換、および歪曲補正は、それぞれ個別に有効無効を切り替えられるようにしてもよい。

【 0 1 0 2 】

本実施形態は、以下の点で実施形態 1 と相違する。ただし、これらの変更は一括して採用する必要はなく、それぞれ個別に実施形態 1 に対して適用することも可能である。

- ・ 距離情報マップに対する歪曲補正 (幾何変形処理) の省略
- ・ 像ズレ量の補正と距離算出を同時に実行
- ・ 位置および像ズレ量に応じた換算係数の補正
- ・ 距離情報算出におけるベストポイント位置の補正

【 0 1 0 3 】

(他の実施形態)

上記の実施形態における撮像素子においては、一つの測距画素が、第 1 の瞳領域を透過した光束を受光する第 1 の光電変換部と、第 2 の瞳領域を透過した光束を受光する第 2 の光電変換部とを備えるが、この構成は必須ではない。第 1 の瞳領域を透過した光束に基づく第 1 の像 (A 像) と、第 2 の瞳領域を透過した光束に基づく第 2 の像 (B 像) を取得可能であれば、撮像素子の構成は適宜変更可能である。例えば、一部の画素は、第 1 の瞳領域を透過した光束を受光する第 1 の光電変換部を有し、他の一部の画素が、第 2 の瞳領域を透過した光束を受光する第 2 の光電変換部を有していてもよい。あるいは、一部の画素は、第 1 の瞳領域を透過した光束を受光する第 1 の光電変換部を有し、他の画素は、結像光学系の射出瞳の全体を透過した光束を受光する第 3 の光電変換部を有していてもよい。この場合、第 1 の光電変換部は A 像を取得し、第 3 の光電変換部が A + B 像を取得するので、差分を取ることで B 像が得られる。

【 0 1 0 4 】

上記の実施形態では、ロジック回路を用いて各機能を実現しているが、汎用プロセッサとソフトウェアプログラムの組み合わせによって本発明を実施することもできる。すなわち、距離測定装置を、C P U や M P U のような汎用プロセッサと、上記機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを記憶した記憶媒体から構成することができる。この場合、プロセッサが記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行することによって、上記機能を実現する。記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラム、これを格納した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【 0 1 0 5 】

また、読み出したプログラムコードをコンピュータが実行することにより、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているオペレーティングシステム (O S) などが実際の処理の一部または全部を実行する。その処理によって前述した実施形態の機能が実現される実施形態も本発明に含まれる。更に、記憶媒体から読み出されたプ

10

20

30

40

50

プログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張カードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書込まれてもよい。当該プログラムコードの指示に基づき、その機能拡張カードや機能拡張ユニットに備わるCPUなどが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される実施形態も本発明に含まれる。

【0106】

本発明は、距離測定を専用に行う距離測定装置（一眼レフカメラ等で用いられる）として実現してもよいが、デジタルカメラなどの撮像装置への適用を考えると、撮像装置の撮像部の機能を用いて距離測定を行うことが好ましい。撮像装置の撮像部を用いて距離測定を行う手法は、撮像面測距と称される。本発明は、撮像面測距装置に好適に適用できる。

10

【0107】

上述した様に、本発明の距離測定装置における演算部は、半導体素子を集積化した集積回路を用いて構成することができ、IC、LSI、システムLSI、マイクロ処理ユニット（MPU）、中央演算装置（CPU）等で構成することができる。演算部をマイクロ処理ユニットや中央演算装置（CPU）等で構成する場合には、演算部は、コンピュータとして捉えることが可能である。本発明のプログラムは、所定の結像光学系と、所定の撮像部、コンピュータと、を備えた撮像装置のコンピュータにインストールすることによって、撮像装置を高精度の距離測定が可能なものとなすことができる。本発明のプログラムは、記録媒体の他、インターネットを通じて頒布することも可能である。

【0108】

20

本発明により検出される距離を用いて、撮像装置にて得られる画像と対応する距離分布（距離マップ）を生成することができる。また、画像内の被写体のボケ量はデフォーカス量に依存するので、得られた画像に対して距離分布に基づく処理を行うことで、任意のボケ付加処理、撮影後のリフォーカス処理（任意の位置にピントを合わせる処理）等の画像処理などを適切に行うことができる。また、被写体のセグメンテーションや被写体追尾の補助情報として、有効に活用することが可能である。

【0109】

（その他の実施例）

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

30

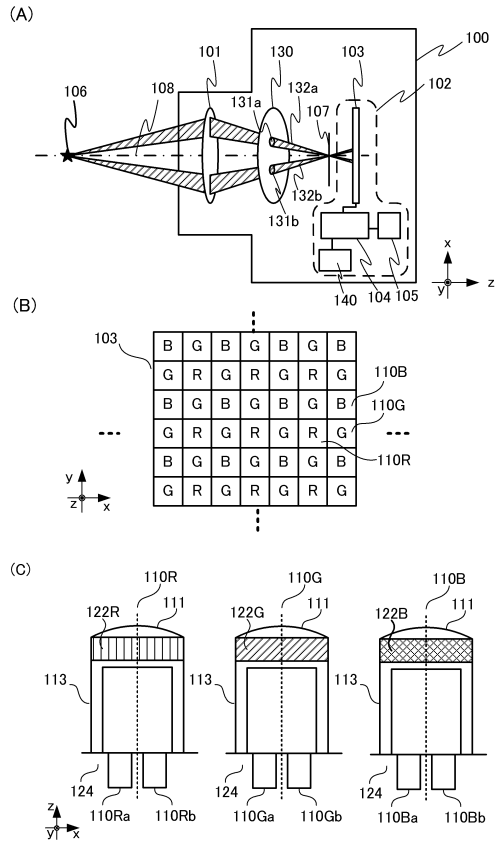
【符号の説明】

【0110】

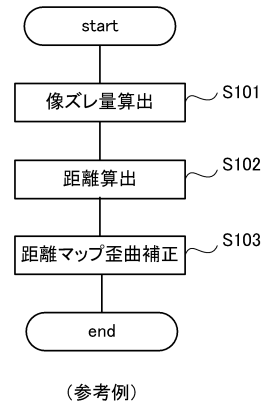
102 距離測定装置

104 演算処理部

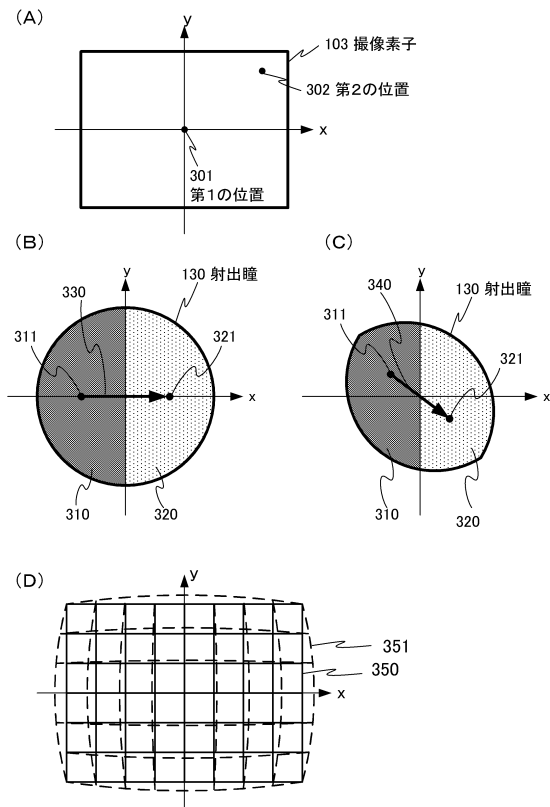
【図 1】



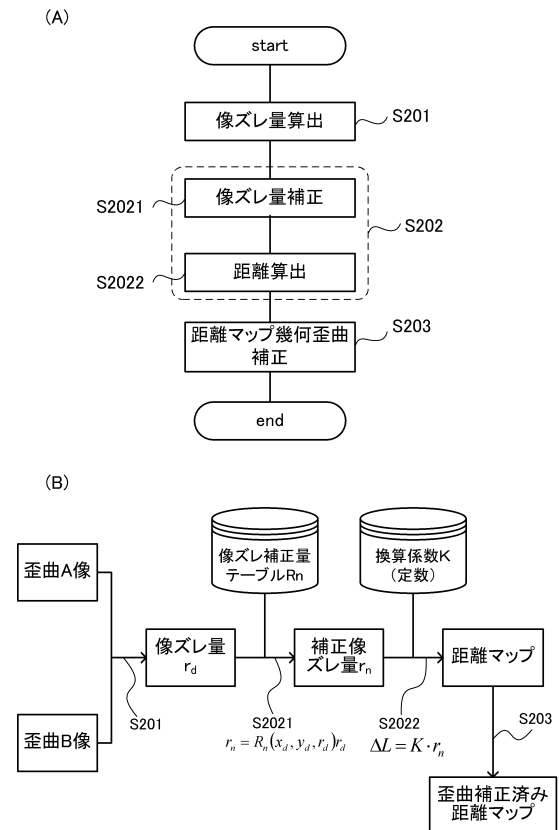
【図 2】



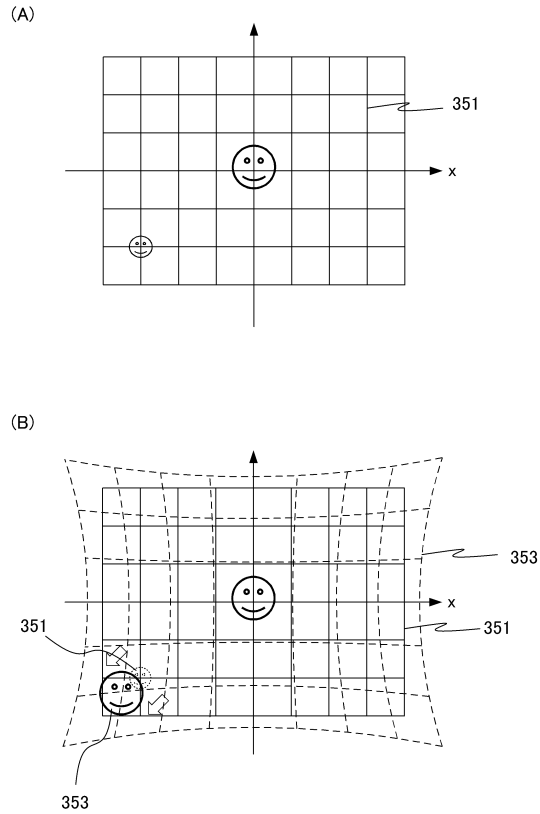
【図 3】



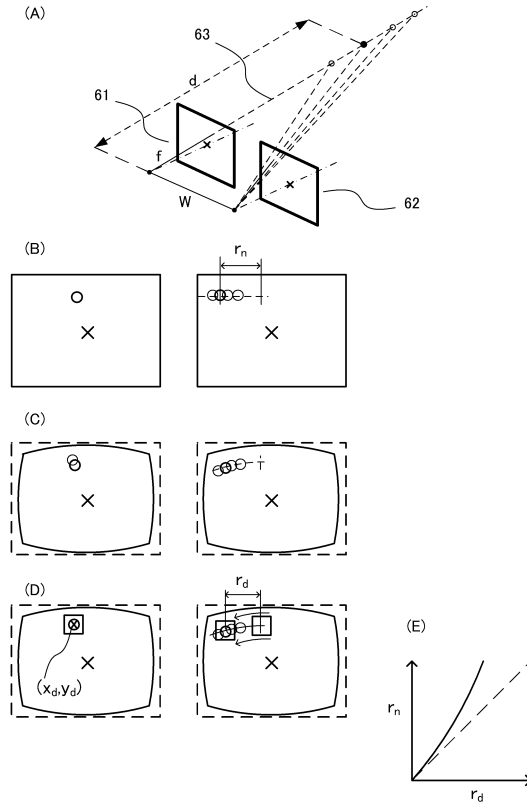
【図 4】



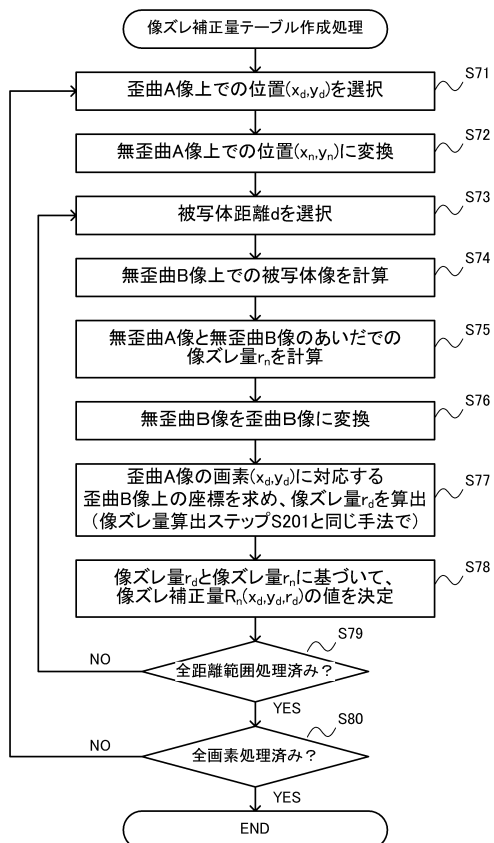
【図 5】



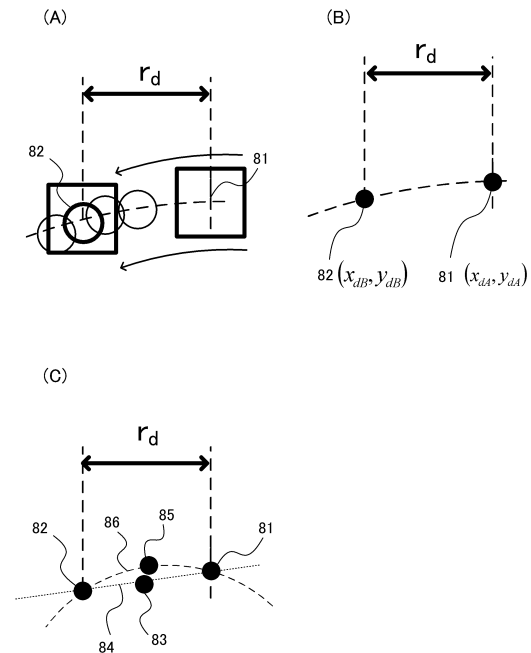
【図 6】



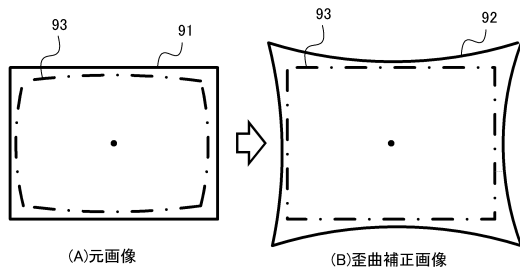
【図 7】



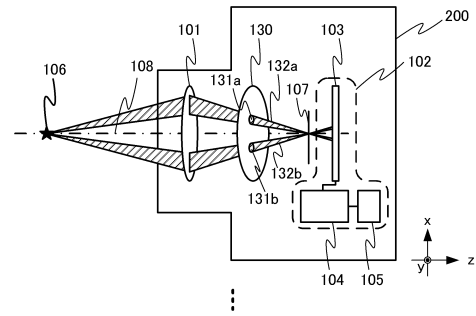
【図 8】



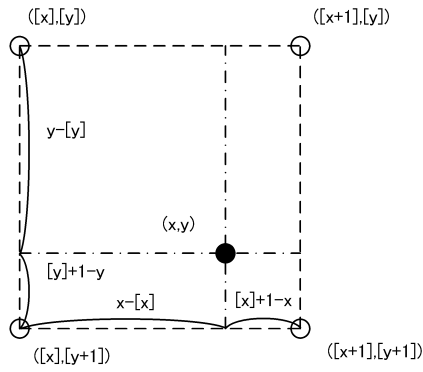
【図 9】



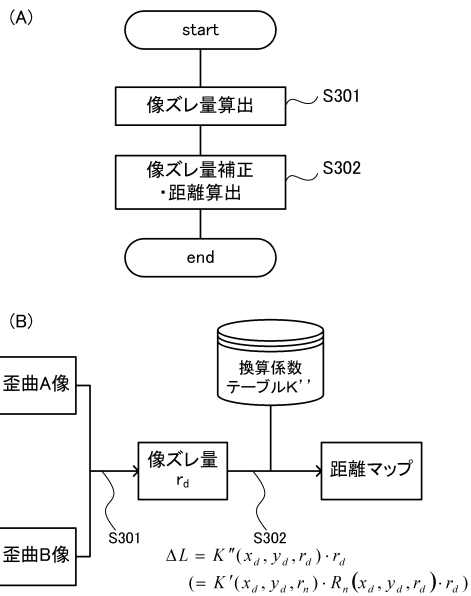
【図 11】



【図 10】



【図 12】



フロントページの続き

(74)代理人 100155871

弁理士 森廣 亮太

(72)発明者 椿 秀敏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特開2014-006179(JP,A)

特開2009-288042(JP,A)

特開2014-028008(JP,A)

特許第5192096(JP,B2)

特開2008-298589(JP,A)

特開2010-041418(JP,A)

特開2013-224920(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 3/06

G01B 11/00 - 11/30

H04N 5/222 - 5/257