

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6071257号
(P6071257)

(45) 発行日 平成29年2月1日 (2017.2.1)

(24) 登録日 平成29年1月13日 (2017.1.13)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 2 B 7/28 (2006.01)	GO 2 B 7/28	Z
HO 4 N 5/232 (2006.01)	HO 4 N 5/232	Z
GO 2 B 7/30 (2006.01)	HO 4 N 5/232	H
GO 3 B 15/00 (2006.01)	GO 2 B 7/30	
	GO 3 B 15/00	H

請求項の数 16 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2012-129865 (P2012-129865)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年6月7日 (2012.6.7)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-254097 (P2013-254097A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成25年12月19日 (2013.12.19)	(74) 代理人	100125254
審査請求日	平成27年6月4日 (2015.6.4)		弁理士 別役 重尚
		(72) 発明者	松岡 正明
			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	荒井 良子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置及びその制御方法、並びにプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第1の距離情報を算出する第1の算出手段と、前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第2の距離情報を算出する第2の算出手段と、

前記第1の算出手段により算出された前記第1の距離情報と、前記第2の算出手段により算出された前記第2の距離情報とを用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が2次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成手段と、

を備え、

10

前記生成手段は、被写界深度が第1の被写界深度である場合に、前記第1の被写界深度より浅い第2の被写界深度である場合に比べて、前記第1の距離情報により大きい重みがつくように、前記合成距離情報を生成することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記被写界深度を検出する検出手段を備えた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】

前記生成手段は、前記被写界深度に基づいて決まる重みを用いて、前記第1の距離情報および前記第2の距離情報が示す距離を対応する領域同士で加重平均することにより、前

20

記合成距離情報の各領域の距離情報を生成することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記生成手段は、前記被写界深度に対して前記第 1 の距離情報につける重みが単調増加となるように当該重みを設定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記生成手段は、前記被写界深度が第 1 の閾値が示す被写界深度より深い場合、前記第 1 の距離情報のみを用いて前記合成距離情報を生成することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

10

【請求項 6】

前記生成手段は、前記被写界深度が第 2 の閾値が示す被写界深度より浅い場合、前記第 2 の距離情報のみを用いて前記合成距離情報を生成することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記生成手段は、前記撮像手段により撮像される画像の 1 つを基準画像とし、該基準画像を撮像したときの被写界深度に基づいて前記第 1 の距離情報につける重みを決めることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記生成手段は、前記第 1 の距離情報の各領域に対応する距離情報が前記被写界深度内に含まれる場合、当該距離情報が前記被写界深度内に含まれない場合に比べて大きい重みを当該距離情報につけることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

20

【請求項 9】

前記生成手段は、異なる複数の焦点位置又は異なる絞り値で撮像された画像における複数の被写界深度に基づいて、前記第 1 の距離情報の各領域に対応する距離情報が前記複数の被写界深度のうちのいずれかに含まれる場合、当該距離情報が前記複数の被写界深度のいずれにも含まれない場合に比べて大きい重みを当該距離情報につけることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

30

前記被写界深度は、被写体距離、前記光学結像手段と前記撮像手段で決定される焦点距離、絞り値、及び許容錯乱円径により定まることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

前記撮像手段で撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像は、前記光学結像手段の焦点位置及び絞り値の一方がそれぞれ異なる画像からなることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第 1 の距離情報を算出する第 1 の算出手段と、

40

前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第 2 の距離情報を算出する第 2 の算出手段と、

前記第 1 の算出手段により算出された前記第 1 の距離情報と、前記第 2 の算出手段により算出された前記第 2 の距離情報とのいずれか 1 つを選択的に用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が 2 次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成手段と、を備え、

前記生成手段は、被写界深度が第 1 の被写界深度である場合に前記第 1 の距離情報を選択し、前記第 1 の被写界深度より浅い第 2 の被写界深度である場合に前記第 2 の距離情報を選択することを特徴とする画像処理装置。

50

【請求項 1 3】

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第 1 の距離情報を算出する第 1 の算出ステップと、

前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第 2 の距離情報を算出する第 2 の算出ステップと、

前記第 1 の算出ステップにより算出された前記第 1 の距離情報と、前記第 2 の算出ステップにより算出された前記第 2 の距離情報とを用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が 2 次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成ステップと、

を備え、

前記生成ステップでは、被写界深度が第 1 の被写界深度である場合に、前記第 1 の被写界深度より浅い第 2 の被写界深度である場合に比べて、前記第 1 の距離情報により大きい重みがつくように、前記合成距離情報を生成することを特徴とする画像処理装置の制御方法。

【請求項 1 4】

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第 1 の距離情報を算出する第 1 の算出ステップと、

前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第 2 の距離情報を算出する第 2 の算出ステップと、

前記第 1 の算出ステップにより算出された前記第 1 の距離情報と、前記第 2 の算出ステップにより算出された前記第 2 の距離情報とのいずれか 1 つを選択的に用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が 2 次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成ステップと、

を備え、

前記生成ステップでは、被写界深度が第 1 の被写界深度である場合に前記第 1 の距離情報を選択し、前記第 1 の被写界深度より浅い第 2 の被写界深度である場合に前記第 2 の距離情報を選択することを特徴とする画像処理装置の制御方法。

【請求項 1 5】

画像処理装置の制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記制御方法は、

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第 1 の距離情報を算出する第 1 の算出ステップと、

前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第 2 の距離情報を算出する第 2 の算出ステップと、

前記第 1 の算出ステップにより算出された前記第 1 の距離情報と、前記第 2 の算出ステップにより算出された前記第 2 の距離情報とを用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が 2 次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成ステップと、

を備え、

前記生成ステップでは、被写界深度が第 1 の被写界深度である場合に、前記第 1 の被写界深度より浅い第 2 の被写界深度である場合に比べて、前記第 1 の距離情報により大きい重みがつくように、前記合成距離情報を生成することを特徴とするプログラム。

【請求項 1 6】

撮像装置の制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記制御方法は、

光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の

10

20

30

40

50

画像から、該被写体像に示される被写体の第 1 の距離情報を算出する第 1 の算出ステップと、

前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第 2 の距離情報を算出する第 2 の算出ステップと、

前記第 1 の算出ステップにより算出された前記第 1 の距離情報と、前記第 2 の算出ステップにより算出された前記第 2 の距離情報とのいずれか 1 つを選択的に用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が 2 次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成ステップと、

を備え、

10

前記生成ステップでは、被写界深度が第 1 の被写界深度である場合に前記第 1 の距離情報を選択し、前記第 1 の被写界深度より浅い第 2 の被写界深度である場合に前記第 2 の距離情報を選択することを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置及びその制御方法、並びにプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、コンピュータビジョン等の分野では、撮像した画像から距離情報を得ることが求められている。

20

【0003】

例えば、視差を有した複数の画像から相関を用いて対応点探索を行って距離情報を推定する技術が開示されている（例えば、特許文献 1、非特許文献 1 参照）。

【0004】

また、焦点位置の異なる複数の画像から合焦度の変化量を計算して距離情報を推定する技術が開示されている（例えば、特許文献 2 参照）。

【0005】

特許文献 1 ではさらに、結像光学系の被写界深度から外れた対象物に対しても精度よく距離情報を推定するために、複数の焦点位置で画像を撮像することでそのような対象物が被写界深度から外れないようにして距離情報を推定する技術が開示されている。

30

【0006】

図 2 1 は、複数の焦点位置を説明するための図である。図 2 1 において、距離測定装置 9 1 1 7 は、視差を有した複数の画像を撮像する。距離測定装置 9 1 1 7 の結像光学系の被写界深度は、以下の式で計算される。

【0007】

【数 1】

$$D_f = \frac{r \cdot Av \cdot Z^2}{f^2 + r \cdot Av \cdot Z} \dots (\text{式 1})$$

40

$$D_b = \frac{r \cdot Av \cdot Z^2}{f^2 - r \cdot Av \cdot Z} \dots (\text{式 2})$$

$$D = D_f + D_b \dots (\text{式 3})$$

ここで、 D_f は前方被写界深度、 D_b は後方被写界深度、 D は被写界深度、 r は許容錯乱円径、 Av は絞り値、 Z は被写体距離、 f は焦点距離である。

【0008】

50

例えば、許容錯乱円径を0.03328mm、絞り値を2.8、焦点距離を50mmとし、1m～20mの距離範囲で被写界深度から外れる被写体が存在しないように複数の焦点位置を決定したとする。このとき、式1, 2より、各々の焦点位置に対応する被写界深度の範囲は図21に示される矢印の範囲となる。図21における矢印9101～9116は各被写界深度範囲の境界を示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開平6-74762号公報

【特許文献2】特開2010-183174号公報

10

【非特許文献1】Gary Bradski, Adrian Kaebler (著)、松田晃一 (訳)、「詳解OpenCV」、オライリー・ジャパン、オーム社、2009年8月、p.377 466

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、上述の特許文献1に開示された従来技術では、距離測定装置の結像光学系の絞り値や距離測定する距離範囲によっては距離測定する焦点位置の数が増大してしまい、処理時間の増大を招いてしまう。

【0011】

例えば図21に示されるような、距離測定する焦点位置が15か所の場合、デジタルカメラなど即時性が要求される装置に対し、従来技術は不向きである。

20

【0012】

また、非特許文献1に開示された従来技術では、結像光学系の被写界深度から外れた対象物に対して精度よく距離情報を推定することができない。

【0013】

さらに、特許文献2に開示された従来技術では、距離測定装置の結像光学系の絞り値や距離測定する距離範囲によっては被写界深度が深くなり、焦点位置の違いによる合焦度の変化量が小さくなってしまい、距離精度が低下してしまう。

【0014】

そこで、本発明の目的は、結像光学系の絞り値や測定距離範囲の影響で、撮像する焦点位置の数が増大したり、距離精度が低下したりすることがない画像処理装置及びその制御方法、並びにプログラムを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記目的を達成するために、請求項1の画像処理装置は、光学結像手段により結像された被写体像を撮像手段により異なる視点で撮像した複数の画像から、該被写体像に示される被写体の第1の距離情報を算出する第1の算出手段と、前記光学結像手段により結像された被写体像を前記撮像手段により撮像して得られる合焦度が異なる複数の画像から、前記被写体の第2の距離情報を算出する第2の算出手段と、前記第1の算出手段により算出された前記第1の距離情報と、前記第2の算出手段により算出された前記第2の距離情報とを用いて、前記被写体の各領域に対応する距離情報が2次元上に並んだ合成距離情報を生成する生成手段と、を備え、前記生成手段は、被写界深度が第1の被写界深度である場合に、前記第1の被写界深度より浅い第2の被写界深度である場合に比べて、前記第1の距離情報により大きい重みがつくように、前記合成距離情報を生成することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、結像光学系の絞り値や測定距離範囲の影響で、撮像する焦点位置の数が増大したり、距離精度が低下したりすることがない画像処理装置及びその制御方法、並びにプログラムを提供することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施の形態に係る画像処理装置の概略構成を示す図である。

【図2】図1における信号処理部の概略構成を示す図である。

【図3】被写界深度Dに対する合成係数を決定するグラフを示す図であり、(A)は連続的に変化するように合成係数を決定する場合のグラフを示し、(B)合成係数を2値のいずれかに決定する場合のグラフを示している。

【図4】図2におけるステレオ方式距離画像生成部の概略構成を示す図である。

【図5】左右の視点が形成する撮像系をピンホールモデルで表現した図である。

【図6】ホモグラフィ H_L および H_R の写像手順を説明するための図である。

【図7】撮像された画像を、ステレオ平行化された左右画像へ写像する手順を説明するための図である。

【図8】ステレオ対応点探索で用いるブロックマッチング手法を説明するための図である。

【図9】図1におけるシステム制御部により実行される合成距離画像生成処理の手順を示す図である。

【図10】画像上におけるAF測距枠の位置を説明するための図である。

【図11】図9におけるステップS105のステレオ方式距離画像生成処理の手順を示すフローチャートである。

【図12】図9におけるステップS106のDFD方式距離画像生成処理の手順を示すフローチャートである。

【図13】図12におけるステップS304の合焦評価値演算処理の手順を示すフローチャートである。

【図14】図13の合焦評価値演算処理の処理概要を説明するための図である。

【図15】被写界深度Dに対するK1を決定するグラフを示す図である。

【図16】K2を決定するグラフを示す図である。

【図17】画面上におけるAF測距枠の位置を説明するための図である。

【図18】図1におけるシステム制御部により実行される合成距離画像生成処理の手順を示す図である。

【図19】K2_C、K2_L、K2_Rを決定するグラフを示す図である。【図20】K1_C、K1_L、K1_Rを決定するグラフを示す図である。

【図21】複数の焦点位置を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳述する。

【0019】

〔第1の実施の形態〕

図1は、本発明の実施の形態に係る画像処理装置100の概略構成を示す図である。

【0020】

図1において、結像光学系101はレンズや絞りなどからなり、フォーカス調節や焦点距離調整を行う。撮像素子102は光学像を電気信号に変換する。この撮像素子102には例えばCCDが用いられる。上記結像光学系101は、被写体像を結像する光学結像手段に対応する。また、撮像素子102は、結像光学系101により結像された被写体像を撮像する撮像手段に対応する。

【0021】

A/D変換部103は撮像素子102から出力されたアナログ画像信号をデジタル画像信号に変換する。信号処理部104はA/D変換部103から出力されたデジタル画像信号に対して信号処理を施す。

【0022】

表示部109は撮像素子102で撮像された画像などを表示する。AF評価値取得部1

10

20

30

40

50

08は結像光学系101のオートフォーカス(AF)調整用のAF評価値を取得する。メモリ制御部105はメモリ(例えばDRAM)106との間で画像信号データなどの記憶または読み出しを行う。

【0023】

操作部110はユーザからの指示を受け付ける。システム制御部107は画像処理装置100全体の動作を制御する。

【0024】

このように構成された画像処理装置100において、結像光学系101のフォーカス調整をオートフォーカスで実現するためには、一般によく知られている山登りコントラストAFの技術を利用すればよい。

【0025】

つまり、結像光学系101を通過した被写体光束を撮像素子102で受光し、AF測距枠として指定した領域内で撮像出力のコントラスト(AF評価値)が極大となるようにフォーカス調整することでオートフォーカスを実現することができる。

【0026】

また、フォーカス調整された結像光学系101の焦点位置から、AF測距枠中の合焦被写体までの距離Zを求めることができる。

【0027】

図2は、図1における信号処理部104の概略構成を示す図である。

【0028】

図2において、基準画像201はステレオ方式距離画像生成部210とDFD(Depth From Defocus)方式距離画像生成部224が参照する画像である。また、ステレオ方式参照画像202はステレオ方式距離画像生成部210が参照する画像であり、この画像は基準画像201に対して視差を有している。

【0029】

DFD方式参照画像221, 222は、DFD方式距離画像生成部224が参照する画像であり、これらの画像は基準画像201とは異なる焦点位置で撮像されている。

【0030】

ステレオ方式距離画像生成部210は、視差を有する複数の画像から相関を用いて対応点探索を行うことで距離情報を推定し、ステレオ方式距離画像209を生成する。

【0031】

DFD方式距離画像生成部224は、焦点位置の異なる複数の画像から合焦度の変化量を計算して距離情報を推定し、DFD方式距離画像223を生成する。

【0032】

距離画像合成部243は、ステレオ方式距離画像(第1距離画像)209とDFD方式距離画像(第2距離画像)223を合成することで、合成距離画像241を生成する。

【0033】

この距離画像合成部243において、画像の合成は、以下の式4を用いて行われる。

【数2】

$$Z_{MIX}(x, y) = K \cdot Z_{STR}(x, y) + (1 - K) \cdot Z_{DFD}(x, y) \dots \text{(式4)}$$

ここで、(x, y)は画素位置、 $Z_{MIX}(x, y)$ は合成距離画像の(x, y)での画素値、 $Z_{STR}(x, y)$ はステレオ方式距離画像の(x, y)での画素値、 $Z_{DFD}(x, y)$ はDFD方式距離画像の(x, y)での画素値、Kは合成係数である。

【0034】

距離画像合成部243は、コントラストAFでフォーカスが合った被写体を主要被写体として選択し、主要被写体の被写界深度に応じて合成係数Kを決定する。

【0035】

例えば、許容錯乱円径を0.03328mm、絞り値を2.8、焦点距離を50mmと

10

20

30

40

50

し、主要被写体の被写体距離を 9 m とすると、被写界深度は式 1 ~ 式 3 により、6 . 8 0 m となる。同様に、主要被写体の被写体距離を 1 m とすると、被写界深度は 0 . 0 7 5 m となる。このように、まず被写体像に示される複数の被写体から選択された主要被写体の被写界深度に応じて合成係数が算出される。そして、第 1 距離画像と第 2 距離画像とを、算出された合成係数を用いて合成することで合成距離画像が生成される。

【 0 0 3 6 】

さらに、合成係数 k は、主要被写体の被写界深度が増加するにしたがって単調増加する係数である。式 4 に示されるように、ステレオ方式距離画像及び D F D 方式距離画像における位置 (x, y) に応じて対応するステレオ方式距離画像の画素及び D F D 方式距離画像の画素の、各々の画素値の加重平均を新たな画素値とした画像が合成距離画像として生成される。そして、当該加重平均において合成係数 k はステレオ方式距離画像への画素値に対する重み係数である。

10

【 0 0 3 7 】

また、D F D 方式距離画像への画素値に対する重み係数 $(1 - k)$ は、合成係数 k が増加するにしたがって単調減少する。

【 0 0 3 8 】

なお、上述した単調増加は、書物によっては広義の単調増加または単調非減少と表現されることがある。同様に単調減少は、書物によっては広義の単調減少または単調非増加と表現されることがある。

【 0 0 3 9 】

20

図 3 は、被写界深度 D に対する合成係数を決定するグラフを示す図であり、(A) は連続的に変化するように合成係数を決定する場合のグラフを示し、(B) 合成係数を 2 値のいずれかに決定する場合のグラフを示している。

【 0 0 4 0 】

図 3 (A) (B) において、例えば主要被写体の被写界深度が 6 . 8 0 m であれば合成係数は 1 . 0 となり、式 4 から合成距離画像はステレオ方式距離画像優先となる。また、主要被写体の被写界深度が 0 . 0 7 5 m であれば合成係数は 0 . 0 となり、式 4 から合成距離画像は D F D 方式距離画像優先となる。

【 0 0 4 1 】

さらに、図 3 (A) において、被写界深度が 4 . 0 m ~ 5 . 0 m の場合は、D F D 方式距離画像優先からステレオ方式距離画像優先へと徐々に変化する。

30

【 0 0 4 2 】

図 4 は、図 2 におけるステレオ方式距離画像生成部 2 1 0 の概略構成を示す図である。

【 0 0 4 3 】

図 4 におけるステレオ方式距離画像生成部 2 1 0 の説明に先立ち、ステレオ方式距離画像の生成について非特許文献 1 では、以下のステップでステレオ方式距離画像を生成することができるが示されている。

【 0 0 4 4 】

まず、左右の異なる視点で撮像された 2 つの画像に対して、結像光学系 1 0 1 により生じる歪み補正を行う。次いで、左右の異なる視点間でカメラの角度と距離を調整するために、左右画像を写像する (ステレオ平行化)。そして、左右のカメラのビューで同じ特徴を求めることで、視差画像を生成する (ステレオ対応点探索)。左右のカメラの幾何学的な位置情報を用いて、視差画像を距離画像に変換する (3 D 再投影)。

40

【 0 0 4 5 】

図 4 において、左右のカメラで撮像された画像は、基準画像 2 0 1 とステレオ方式参照画像 2 0 2 である。

【 0 0 4 6 】

また、ホモグラフィ推定部 2 0 3 はステレオ平行化のためのホモグラフィを推定する。ここでのホモグラフィ推定処理においては、結像光学系 1 0 1 による歪みが補正された座標系を用いる必要がある。

50

【 0 0 4 7 】

その座標変換式は以下の式 5 である。

【 数 3 】

$$\begin{aligned} x_{corrected} &= x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\ y_{corrected} &= y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \dots \text{(式 5)} \end{aligned}$$

ここで、 (x, y) は歪まされた点の元の位置であり、 $(x_{corrected}, y_{corrected})$ は補正の結果得られる新しい位置である。さらに、 r は歪まされた点の元の位置におけるレンズ中心からの距離であり、 k_1 、 k_2 、 k_3 はレンズの形状から決定される歪み補正係数である。

10

【 0 0 4 8 】

ここでの歪み補正は半径方向歪みのみを補正するものとしたが、それだけに限定されるものではなく、例えば円周方向歪みも補正するようにしてもよい。

【 0 0 4 9 】

図 5 は、左右の視点が形成する撮像系をピンホールモデルで表現した図である。

【 0 0 5 0 】

図 5 において O_L 及び O_R は左右の視点の投影中心位置、 P は被写体位置、 p_L 及び p_R は左右の視点の投影平面に投影される被写体の結像位置、 e_L 及び e_R は左右の視点におけるエピポール、 p_L 、 e_L 及び p_R 、 e_R は左右の視点におけるエピポーラ線である。

20

【 0 0 5 1 】

エピポーラ拘束により、1つの画像内の特徴点を与えられると、もう1つの画像内で対応する点是对应するエピポーラ線上に存在する。

【 0 0 5 2 】

このため、ステレオ対応点探索はエピポーラ線に沿って対応点探索することになるが、2つの画像でエピポーラ線を平行にして対応点の高さを合わせると水平方向の1次元での対応点探索となる。この場合、2次元で探索するよりも計算量が大幅に軽減されるし、結果の信頼度も高い。

30

【 0 0 5 3 】

2つの画像でエピポーラ線を平行にして対応点の高さを合わせる座標変換が、ステレオ平行化である。ステレオ平行は以下の順に処理が実行される。

(1 - 1) 2つの画像で対応する8点以上の特徴点を求める。

(1 - 2) 対応する8点以上の特徴点から基礎行列 F を求める。

(1 - 3) 基礎行列 F からエピポール e_L および e_R を求める。

(1 - 4) エピポール e_R から右画像のステレオ平行化のためのホモグラフィ H_R を推定する。

(1 - 5) 対応する特徴点、ホモグラフィ H_R 、およびエピポール e_L から左画像のステレオ平行化のためのホモグラフィ H_L を推定する。

40

【 0 0 5 4 】

上記(1 - 1)の処理では、2つの画像間でブロックマッチング手法による2次元の対応点探索を行うことで、必要な対応する特徴点を求める。画素単位で対応点探索するステレオ対応点探索とは異なり、画像一面内で対応する特徴点を最低8点だけ求めればよいので、2次元であっても計算量は少なく、結果の信頼度にも大きな影響はない。

【 0 0 5 5 】

ブロックマッチング手法は、後述するステレオ対応点探索の手法と同様である。ただしステレオ対応点探索のブロックマッチング手法は1次元方向のみの探索なので、ここではその探索範囲を2次元方向に拡張したブロックマッチング手法が適用される。

【 0 0 5 6 】

50

次の(1-2)の処理では、8点の特徴点から 3×3 行列の基礎行列Fを求める。また、特徴点の座標は式5で歪み補正されたものを用いる。以下の式6は一般にエピポラ方程式と呼ばれている方程式である。

【0057】

【数4】

$$(p_r)^T E p_l = 0 \dots \text{(式6)}$$

ここで、Eは、 3×3 行列の基本行列である。また 3×3 行列のカメラ内部行列Mを用いると、一般に以下の式7で3次元物理座標pを投影平面の2次元ピクセル座標qに変換

10

【数5】

$$q = Mp \dots \text{(式7)}$$

またカメラ内部行列Mを用いると、一般に以下の式8で基本行列Eを基礎行列Fに変換できることが知られている。

【数6】

$$F = (M_r^{-1})^T E M_l^{-1} \dots \text{(式8)}$$

20

上述した式6から式8を用いると、基礎行列Fに関する以下の式9を導くことができる。

【数7】

$$(q_r)^T F q_l = 0 \dots \text{(式9)}$$

【0058】

基礎行列Fは 3×3 行列で、かつスカラの自由度を持つので、9個の行列要素のうちの8個が変数となる。このため式9に左右画像において対応する特徴点の q_l 及び q_r の8点分を代入すれば、単なる連立1次方程式となり、この連立1次方程式を解くことで基礎行列Fを求めることができる。

30

【0059】

このように、本実施の形態では、基礎行列Fを求めるのに左右画像において対応する8点の特徴点の q_l 及び q_r を用いているが、これに限定されるものではない。例えば非特許文献1で開示されているように8点以上の特徴点を用いた最小二乗法によって基礎行列Fを推定してもよい。

【0060】

次の(1-3)の処理では、基礎行列Fからエピポール e_l 及び e_r を求める。基礎行列Fとエピポール e_l 及び e_r の関係は一般に以下の式10で表されることが知られており、この式10に求めた基礎行列Fを代入することでエピポール e_l 及び e_r を求めることができる。

40

【0061】

【数8】

$$F e_l = 0$$

$$(e_r)^T F = 0 \dots \text{(式10)}$$

【0062】

50

(1 - 4) の処理では、エピポール e_r からホモグラフィ H_r を推定する。

【 0 0 6 3 】

図 6 は、ホモグラフィ H_l および H_r の写像手順を説明するための図である。

【 0 0 6 4 】

図 6 において、網掛けされた三角形は、右画像の投影平面におけるオブジェクトの結像イメージを示している。

【 0 0 6 5 】

そして、図 6 (A) では、エピポール e_r のピクセル座標 (x_e, y_e) が示されている。まず、エピポール e_r を x 軸上の $(k, 0)$ に写像する回転行列 R を求める。つまり、以下の式 1 1 のようになる。

10

【 0 0 6 6 】

【数 9】

$$\begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_e}{x_e}\right) \quad \dots \text{(式 1 1)}$$

20

式 1 1 をエピポール e_r に適用すると、以下の式 1 2 のようになる。

【数 1 0】

$$\begin{bmatrix} k \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_e}{x_e}\right) \quad \dots \text{(式 1 2)}$$

30

【 0 0 6 7 】

図 6 (B) は、(A) に対して回転行列 R を適用したピクセル座標系を示している。次に、 x 軸上に写像されたエピポール $(k, 0)$ を無限遠点 $(\infty, 0)$ に写像するホモグラフィ G を求める。つまり、ホモグラフィ G は以下の式 1 3 のようになる。

【 0 0 6 8 】

【数 1 1】

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1/k & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ 1 \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ 1 \end{bmatrix} \dots \text{(式 1 3)}$$

40

このようなホモグラフィは、すべてのエピポーラ線を x 軸に対して平行な直線に写像する。

【 0 0 6 9 】

図 6 (C) は、(B) に対してホモグラフィ G を適用したピクセル座標系を示している。(C) におけるエピポーラ線は x 軸に対して平行な直線に写像されている。

【 0 0 7 0 】

式 1 1 から式 1 3 により、ホモグラフィ H_r は以下の式 1 4 のようになる。

【数 1 2】

$$H_r = GR \dots (\text{式 } 14)$$

【0 0 7 1】

(1 - 5) の処理では、特徴点の対応、ホモグラフィ H_r 、およびエピポール e_l から左画像のステレオ平行化のためのホモグラフィ H_l を推定する。このようなホモグラフィ H_l は、左画像のすべてのエピポーラ線を x 軸に対して平行な直線に写像し、左右画像の対応するエピポーラ線の高さを揃える。

【0 0 7 2】

左画像のすべてのエピポーラ線を x 軸に対して平行な直線に写像する手順は、(1 - 4) の処理と同様の手順で実現することができる。また同様の手順で左画像に対して求められた行列を、 G' 及び R' とする。

【0 0 7 3】

左右画像の対応するエピポーラ線の高さを揃えることは、左右画像間に存在し、対応する特徴点において、特徴点間距離の総和が最小になるようなホモグラフィ K を推定することで実現することができる。つまり、推定したいホモグラフィ H_l は以下の式 15 ようになる。

【0 0 7 4】

【数 1 3】

$$H_l = KG'R' \dots (\text{式 } 15)$$

さらに、ホモグラフィ K を推定するために、以下の式 16 を用いる。

【数 1 4】

$$\frac{\partial}{\partial K} \left(\sum_i dd(H_l q_i^l, H_r q_i^r) \right) = 0 \dots (\text{式 } 16)$$

なお式 16 の $dd(Q, R)$ は、2 つのピクセル座標 Q, R 間の距離自乗和を表している。また対応する特徴点の組は (q_i^l, q_i^r) は、(1 - 1) の処理で求められたものを用いればよい。

【0 0 7 5】

図 4 の説明に戻り、逆写像処理部 204, 205 は、ステレオ平行化のためのホモグラフィを用いて、左画像（基準画像 201）および右画像（ステレオ方式参照画像 202）をステレオ平行化する。このステレオ平行化のための逆写像処理の手法は非特許文献 1 に示される手法と同様である。

【0 0 7 6】

図 7 は、撮像された画像（図では生画像）を、ステレオ平行化された左右画像へ写像する手順を説明するための図である。

【0 0 7 7】

図 7 において、逆写像処理は、(C) に示されるステレオ平行化された画像内の各整数座標に対して、(B) に示される歪み補正された画像内の座標を求め、それらを用いて (A) に示される生画像内の小数点座標を参照することで実現できる。

【0 0 7 8】

つまり、この小数点座標を用いて生画像内で画素補間処理を行い、(C) に示されるステレオ平行化画像内での画素値を求める。

【0 0 7 9】

なお、図中の $DIST()$ は、式 5 の $(x_{corrected}, y_{corrected})$ から (x, y) を求める式 (2) の逆変換処理である。また、(D) は切り出された視差画像を示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

図 4 の説明に戻り、ステレオ対応点探索部 2 0 6 はステレオ平行化された左画像と右画像から視差画像を生成する。ステレオ対応点探索の手法は非特許文献 1 に示される手法と同様である。

【 0 0 8 1 】

図 8 は、ステレオ対応点探索で用いるブロックマッチング手法を説明するための図である。

【 0 0 8 2 】

ブロックマッチングは差分絶対値和 (S A D) ウィンドウを行方向にスライドすることで行われる。具体的にブロックマッチングは、左の画像内でそれぞれの特徴に対して、右の画像で対応する行から最もよくマッチするものを探す。

10

【 0 0 8 3 】

左右画像はステレオ平行化されていて各行がエピポーラ線になっており、右の画像内でマッチングする箇所は左の画像内の同じ行にあるため、探索方向は図 8 に示されるように、例えば (x_0, y_0) から行方向だけに限定することができる。

【 0 0 8 4 】

左の画像内のある特徴点の x 座標 x_l に対して、対応する右の画像内の対応点の x 座標 x_r までの距離 $d = (x_l - x_r)$ が、 x 座標 x_l に対応する視差量となる。

【 0 0 8 5 】

図 8 では、基準画像 2 0 1 が左の画像の場合を示しているが、基準画像が右の画像の場合は、右の画像内の特徴点を基準に視差量を計算する。つまり、右の画像内のある特徴点の x 座標 x_r に対して、対応する左の画像内の対応点の x 座標 x_l までの距離 $d = (x_l - x_r)$ を、 x 座標 x_r に対応する視差量とする。

20

【 0 0 8 6 】

図 4 の説明に戻り、3 D 再投影部 2 0 7 は視差画像からステレオ方式距離画像 2 0 9 を生成する。

【 0 0 8 7 】

3 D 再投影の手法は非特許文献 1 の手法と同様である。三角測量の手法により、距離 Z と視差量 d の関係は一般に以下の式 1 7 で表されることが知られている。

【 数 1 5 】

30

$$Z = \frac{fT}{d} \dots (\text{式 1 7})$$

ここで、 f は撮像系の焦点距離、 T は左右 2 つの視点の投影中心の距離である。この式 1 7 を用いて 3 D 再投影部 2 0 7 により生成されたステレオ方式距離画像 2 0 9 は、メモリ制御部 1 0 5 によってメモリ 1 0 6 に記憶される。

【 0 0 8 8 】

以上説明した構成により実行される処理について、以下フローチャートを用いて説明する。

【 0 0 8 9 】

40

図 9 は、図 1 におけるシステム制御部 1 0 7 により実行される合成距離画像生成処理の手順を示す図である。

【 0 0 9 0 】

図 9 において、まずステレオ方式参照画像を撮像し、更新する (ステップ S 1 0 1) 。焦点位置は、ステップ S 1 0 1 の撮像前に予め A F 評価値取得部 1 0 8 によるコントラスト A F で調整しておく。図 1 0 は画像上における A F 測距枠の位置を説明するための図であり、A F 測距枠 3 0 1 が示されている。

【 0 0 9 1 】

このステップ S 1 0 1 の処理は、ユーザによって撮像指示が操作部 1 1 0 で操作されるまで行われる。

50

【 0 0 9 2 】

撮像指示が操作部 1 1 0 で操作されると (ステップ S 1 0 2 で Y E S)、基準画像を撮像し、更新する (ステップ S 1 0 3)。このようにユーザにより撮像指示が操作されるまでの間、ユーザはフレーミング動作で画像処理装置 1 0 0 の位置を移動させている。そして、撮像指示が操作された後は画像処理装置 1 0 0 の位置を確定させるため、撮像指示が操作された前後で撮像したステレオ方式参照画像と基準画像との間にはユーザのフレーミング動作に応じた視差が発生している。

【 0 0 9 3 】

続いて、焦点位置を変えて、D F D 方式参照画像を撮像する (ステップ S 1 0 4)。撮像時の焦点位置は、被写体距離が 1 m と 2 0 m に対応する焦点位置としている。

10

【 0 0 9 4 】

次いで、ステレオ方式距離画像生成部 2 1 0 によるステレオ方式距離画像生成処理によって、異なる視差を有する複数の画像からステレオ方式距離画像が生成される (ステップ S 1 0 5)。このステップ S 1 0 5 は、撮像手段により撮像された異なる視差を有する複数の画像からステレオ方式距離画像を生成する第 1 距離画像生成手段に対応する。

【 0 0 9 5 】

さらに、D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 による D F D 方式距離画像生成処理によって、撮像手段により撮像された画像内の各位置で合焦度が異なる複数の画像から D F D 方式距離画像が生成される (ステップ S 1 0 6)。このステップ S 1 0 6 は、撮像手段により撮像された画像内の各位置で合焦度が異なる複数の画像から D F D 方式距離画像を生成する第 2 距離画像生成手段に対応する。

20

【 0 0 9 6 】

そして、生成されたステレオ方式距離画像と D F D 方式距離画像は、距離画像合成部 2 4 3 により合成され、合成距離画像が生成され (ステップ S 1 0 7)、本処理を終了する。ここでは、上述したように合成係数が算出され、合成距離画像を生成するので、このステップ S 1 0 7 は、算出手段及び生成手段に対応する。

【 0 0 9 7 】

図 1 1 は、図 9 におけるステップ S 1 0 5 のステレオ方式距離画像生成処理の手順を示すフローチャートである。

【 0 0 9 8 】

30

図 1 1 において、まず視差画像を生成する (ステップ S 2 0 1)。上述したように、視差画像は、逆写像処理部 2 0 4、2 0 5 でステレオ平行化された左右画像を、ステレオ対応点探索部 2 0 6 で処理することで生成される。

【 0 0 9 9 】

次いで、A F 測距枠 3 0 1 でオートフォーカスされた被写体の被写体距離 Z_0 と視差量 d_0 から、投影中心の並進移動量を取得する (ステップ S 2 0 2)。上記式 1 7 から、並進移動量 $T = (Z_0 \cdot d_0 / f)$ となる。なお、被写体距離 Z_0 は、ステップ S 1 0 1 の撮像前に予め A F 評価値取得部 1 0 8 によるコントラスト A F で算出されている。また、視差量 d_0 は、ステップ S 2 0 1 の視差画像から抽出される。

【 0 1 0 0 】

40

そして、視差画像の画素ごとに式 1 7 を適用することで距離画像を生成し (ステップ S 2 0 3)、本処理を終了する。

【 0 1 0 1 】

図 1 2 は、図 9 におけるステップ S 1 0 6 の D F D 方式距離画像生成処理の手順を示すフローチャートである。

【 0 1 0 2 】

図 1 2 において、D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 は、基準画像及び参照画像のうちから、画像の合焦度を示す合焦評価値を求めるための処理に用いる処理対象画像を指定する (ステップ S 3 0 3)。なお、ここでは D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 は、基準画像及び参照画像のすべてを結像光学系 1 0 1 の焦点位置及び絞り値の一方が異なる画像からな

50

る処理対象画像として順次指定してゆくものとする。

【 0 1 0 3 】

次いで、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、合焦評価値演算処理を実行し、処理対象画像について画像内の各領域または位置での合焦評価値をそれぞれ求める（ステップ S 3 0 4 ）。

【 0 1 0 4 】

ここで、画像内の各領域とは、撮像画像を複数の領域に（X Y平面上で）2次元的に分割した領域を指すものとする。各領域の最小単位は1画素となる。なお、画像内の位置とは、その処理対象画像を撮像した撮像素子内に含まれる画素エリア（または単一の画素）の、撮像素子内でのX Y位置を示すものとする。合焦評価値を求める領域または位置は、全ての処理対象画像に渡り共通している。以下の説明では、領域または位置を、単に領域と表現する。

10

【 0 1 0 5 】

またステップ S 3 0 4 では、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、処理対象画像での各領域または位置と合焦評価値との対応関係を示す合焦評価値マップを生成する。各々の合焦評価値は、画像の合焦度が高いほど高い値を示すものとする。

【 0 1 0 6 】

次いで、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、全ての処理対象画像で合焦評価値演算処理が終了したか否かを判別する（ステップ S 3 0 5 ）。

【 0 1 0 7 】

20

ステップ S 3 0 5 の判別の結果、全ての処理対象画像で合焦評価値演算処理が終了していないときは（ステップ S 3 0 5 で N O ）、上記ステップ S 3 0 3 に戻る。

【 0 1 0 8 】

一方、ステップ S 3 0 5 の判別の結果、全ての処理対象画像で合焦評価値演算処理が終了したときは（ステップ S 3 0 5 で Y E S ）、以下の処理を行う。

【 0 1 0 9 】

すなわち、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、基準画像に対応する第1の合焦評価値マップと、参照画像に対応する第2の合焦評価値マップと、各々の画像の撮像時の焦点位置情報とを用いる。これらを用いることで、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、基準画像内の各領域に対応する被写体距離をそれぞれ推測し（ステップ S 3 0 6 ）、本処理を終了する。

30

【 0 1 1 0 】

具体的にD F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、第1の合焦評価値マップと第2の合焦評価値マップとの間で対応する画像上の領域ごとに合焦評価値の差分をとって、各々の領域で合焦評価値の変化量を求める。なお、参照画像が複数存在する場合には、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は各々の参照画像と基準画像との間で合焦評価値の変化量を求めるものとする。

【 0 1 1 1 】

ここで、基準画像内のある領域において、注目被写体が合焦状態であって、参照画像がぼけているケースを考える。このケースでは、第1の合焦評価値マップで注目被写体に対応する領域の合焦評価値は高い値を示すが、第2の合焦評価値マップで注目被写体に対応する領域の合焦評価値は第1の合焦評価値マップと比べて非常に低い値を示す。

40

【 0 1 1 2 】

そのため、このケースでは、注目被写体に対応する領域の合焦評価値の変化量は大きな値を示すこととなる。

【 0 1 1 3 】

一方、基準画像及び参照画像の両方で注目被写体がぼけているケースでは、第1の合焦評価値マップ及び第2の合焦評価値マップの両方で、注目被写体に対応する領域の合焦評価値の値がいずれも小さくなる。

【 0 1 1 4 】

50

そのため、このケースでは、注目被写体が対応する領域の合焦評価値の変化量は相対的に小さな値を示す。

【0115】

よって、基準画像での合焦評価値が高く、参照画像では合焦評価値が大きく減少する領域は、焦点位置の移動により合焦状態から非合焦状態となった箇所と推測できる。

【0116】

逆に、基準画像での合焦評価値が低く、参照画像では合焦評価値が大きくなる領域は、参照画像の焦点位置で合焦状態となった箇所と推測できる。

【0117】

このとき、基準画像と参照画像との間で焦点位置の移動方向とその移動量とを参照すれば、注目する被写体の存在する領域が、基準画像の焦点位置を基準として前ピンまたは後ピンのいずれかにあるかが判別できる。また基準画像の焦点面とどの程度離れているのかを、DFD方式距離画像生成部224が判別できる。

【0118】

同様に、基準画像での合焦評価値が低く、参照画像との間で合焦評価値の変化量も小さい領域は、基準画像での焦点位置と参照画像での焦点位置とのいずれもが合焦面から遠い箇所と推測できる。

【0119】

また、基準画像での合焦評価値が高く、参照画像との間で合焦評価値の変化量が小さい領域は、基準画像での焦点位置および参照画像での焦点位置の両方でほぼ合焦状態にある箇所と推測できる。

【0120】

上述したステップS306でのDFD方式距離画像生成部224は、上記の推測結果に基づいて、基準画像内の各領域に対応する被写体距離の情報をそれぞれ生成する。

【0121】

例えば、DFD方式距離画像生成部224は、合焦評価値の高さと変化量とに基づいて、基準画像の焦点位置で合焦した被写体との相対距離またはその度数で各々の被写体距離を表現してもよい。

【0122】

または、DFD方式距離画像生成部224は、画像の各位置で合焦状態となる画像を特定し、合焦状態となる画像に対応する被写体距離の値をそのまま被写体距離を表現してもよい。

【0123】

図13は、図12におけるステップS304の合焦評価値演算処理の手順を示すフローチャートである。

【0124】

図13においては、DFD方式距離画像生成部224が、処理対象画像に各々の周波数特性が異なる一対のエッジ抽出処理を施すとともに、これらのエッジ抽出処理で求まる一対のエッジ量の差分を用いて合焦評価値を求める。

【0125】

まず、DFD方式距離画像生成部224は、処理対象画像に第1のエッジ抽出処理を施し、抽出したエッジ成分の強度と画像での位置との対応関係を示す第1エッジ画像を生成する(ステップS401)。

【0126】

次いで、DFD方式距離画像生成部224は、ステップS401での抽出結果よりも低域側の周波数成分が含まれるように、処理対象の画像に第2のエッジ抽出処理を施す。そして、DFD方式距離画像生成部224は、抽出したエッジ成分の強度と画像での位置との対応関係を示す第2エッジ画像を生成する(ステップS402)。

【0127】

そして、DFD方式距離画像生成部224は、第1エッジ画像及び第2エッジ画像を、

10

20

30

40

50

それぞれ例えば20画素×20画素程度のサイズに領域分割するとともに、各領域ごとにそれぞれ特徴量を求める(ステップS403)。

【0128】

次いで、DFD方式距離画像生成部224は、第1エッジ画像の各領域の特徴量と、第2エッジ画像の各領域の特徴量とを、対応する領域ごとに差分を求めることで(ステップS404)、その変位を求める。

【0129】

DFD方式距離画像生成部224は、ステップS404で求めた各領域の特徴量の差分値を、第1エッジ画像または第2エッジ画像から求めたエッジ量を用いて正規化する(ステップS405)。

10

【0130】

DFD方式距離画像生成部224は、ステップS405で求めた全ての正規化された特徴量の平均値を求め、この平均値を正規化された特徴量の基準値として設定する(ステップS406)。ただし、既に別の入力画像を用いて、この基準値が求まっている場合には、DFD方式距離画像生成部224は、その値を基準値としてもよい。

【0131】

DFD方式距離画像生成部224は、各々の領域の正規化された特徴量(ステップS405)と正規化された特徴量の基準値(ステップS406)とを比較し、各領域の合焦評価値を求め(ステップS407)、本処理を終了する。

【0132】

20

以上説明した各ステップでの処理に関して、図14を用いて説明する。

【0133】

図14は、図13の合焦評価値演算処理の処理概要を説明するための図である。

【0134】

まず、ステップS401について、DFD方式距離画像生成部224は、以下の(A1)、(A2)の各処理を実行する。

【0135】

(A1) DFD方式距離画像生成部224は、処理対象画像に対して、ガウシアン型平滑化フィルタによるフィルタ演算を行う。一例として、ステップS401でのDFD方式距離画像生成部224は、 $P(r) = \exp(-r^2/2\sigma^2)$ の平滑化フィルタを用いるものとする。

30

【0136】

なお、ステップS401での平滑化フィルタの強度とフィルタ半径とに関するパラメータの値は任意に設定できる。この処理により、図14に示されるように、元画像から平滑化された第1ボケ画像が生成される。以下の説明では、パラメータを「フィルタ半径」という。

【0137】

(A2) DFD方式距離画像生成部224は、元画像の各画素値から第1ボケ画像で対応する位置にある画素値をそれぞれ減算するとともに、減算後の画素値の絶対値をとる。これにより、DFD方式距離画像生成部224は、元画像を平滑化したときに失われるエッジ成分を抽出することで、図14に示されるような第1エッジ画像を生成する。

40

【0138】

ステップS402で生成される第2エッジ画像も同様に生成されるが、ステップS401におけるA1の処理と比較して、平滑化フィルタのフィルタ半径が大きい平滑化が行なわれる。

【0139】

従って、ステップS402では、A1の処理と比べて平滑化の度合いが強くなる。すなわち、第2ボケ画像は、第1ボケ画像と比べて高域側の周波数成分がより少なく、また低域側の周波数成分がより多く含まれるので、第1ボケ画像よりもエッジがなまった状態となる。

50

【 0 1 4 0 】

ここで、画像のピントが合っていない領域では、フィルタ半径 の値を少し変えてもエッジ量はほとんど変化しない。

【 0 1 4 1 】

一方、画像のピントが合っている領域では、フィルタ半径 の値を少し変えただけでもエッジ量は大きく変化する。

【 0 1 4 2 】

そこで、ステップ S 4 0 1 , 4 0 2 で、フィルタ半径 の値を互いに近い値に設定すると、後述の特徴量の差分をとったときに合焦領域と非合焦領域とでエッジ量の変位の振舞いが大きく異なり、合焦度の測定が比較的容易となる。

10

【 0 1 4 3 】

一例として、ステップ S 4 0 1 ではフィルタ半径 を 0 . 5 とし、ステップ S 4 0 2 ではフィルタ半径 の値を 0 . 6 としてもよい。

【 0 1 4 4 】

次に、ステップ S 4 0 3 の処理の一例について説明する。ステップ S 4 0 3 において、合焦度算出部 2 7 は、各エッジ画像の領域毎にその領域に含まれる全画素のエッジ量を積算し、この積算値を領域の画素数で割った値を特徴量として算出する。すなわち、ここでの特徴量は領域内のエッジ量の平均値である。これにより、各領域の特徴をそれぞれ 1 つの値で表すことができる。

【 0 1 4 5 】

20

次に、ステップ S 4 0 4 の処理について説明する。上述したように、ピントが合っていない領域では、フィルタ半径 の値を少しだけ変えてもエッジ量はほとんど変化しないが、画像のピントが合っている領域では、フィルタ半径 の値を少し変えただけでもエッジ量は大きく変化する。

【 0 1 4 6 】

そのため、平滑化フィルタのフィルタ半径を小さい範囲で変化させたときの各領域におけるエッジ量の変位をみれば、領域ごとの合焦度の強弱を判定できることが分かる。

【 0 1 4 7 】

次に、ステップ S 4 0 5 の処理について説明する。例えば、D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 は、領域ごとの差分値を、第 1 エッジ画像で対応する領域の特徴量で割ることにより、差分値を正規化してもよい。

30

【 0 1 4 8 】

なお、ここでの特徴量として、第 2 エッジ画像で対応する領域の特徴量や、同じ領域における第 1 エッジ画像の特徴量と第 2 エッジ画像の特徴量との平均値を用いてもよい。

【 0 1 4 9 】

そして、D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 は、S 4 0 5 の正規化後の値を各々の領域における合焦量とする。

【 0 1 5 0 】

上記のステップ S 4 0 4 の段階では、画像に含まれるエッジ量の値が元々大きい箇所でのエッジの変位と、画像に含まれるエッジ量の値が小さい箇所でのエッジの変位をそのまま比べると、前者の方の変位量が大きくなる可能性が高い。なお、エッジ量の値が大きい箇所は、高輝度なので画素値が大きい箇所であり、エッジ量の値が小さい箇所は、低輝度なので画素値が小さい箇所となっている。

40

【 0 1 5 1 】

すなわち、画像はボケていても輝度差が大きな箇所では合焦度を高く評価してしまう可能性がある。そのため、ステップ S 4 0 5 での D F D 方式距離画像生成部 2 2 4 は、エッジ画像のエッジ量で差分値を正規化することで、画像の輝度差が合焦度に及ぼす影響を抑制している。

【 0 1 5 2 】

次に、ステップ S 4 0 7 の処理について説明する。ステップ S 4 0 7 では、各々の領域

50

の正規化された特徴量と正規化された特徴量の基準値とを比較するが、この比較には、例えば、合焦量と基準値との減算値または除算値を用いてもよい。

【 0 1 5 3 】

このようにして合焦評価値を求めることにより、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は合焦評価値マップを取得できる。なお、異なる画像から求めた合焦評価値マップを比較する場合、D F D方式距離画像生成部 2 2 4 は、画像間の輝度差を考慮して必要に応じて合焦評価値マップの正規化を行うものとする。

【 0 1 5 4 】

以上説明した第 1 の実施の形態によれば、結像光学系の絞り値や測定距離範囲の影響で、撮像する焦点位置の数が増大したり、距離精度が低下したりすることがない。

10

【 0 1 5 5 】

[第 2 の実施の形態]

第 2 の実施の形態では、合成係数 K の決定方法が第 1 の実施の形態と異なっている。

【 0 1 5 6 】

第 2 の実施の形態における距離画像合成部 2 4 3 は、式 4 を用いて距離画像を合成することは第 1 の形態と同じであり、合成係数 K は以下の式 1 8 で決定する。

【 0 1 5 7 】

【 数 1 6 】

$$K = K1 \cdot K2 \dots \text{ (式 1 8)}$$

20

【 0 1 5 8 】

距離画像合成部 2 4 3 は、コントラスト A F でフォーカスが合った被写体を主要被写体として選択し、主要被写体の被写界深度に応じて合成係数 K 1 を決定する。

【 0 1 5 9 】

例えば、許容錯乱円径を 0 . 0 3 3 2 8 mm、絞り値を 2 . 8、焦点距離を 5 0 mm とし、主要被写体の被写体距離を 9 m とすると、被写界深度は式 1 ~ 式 3 により、6 . 8 0 m となる。

【 0 1 6 0 】

図 1 5 は、被写界深度 D に対する K 1 を決定するグラフを示す図である。

30

【 0 1 6 1 】

図 1 5 において、例えば主要被写体の被写界深度が 6 . 8 0 m であれば合成係数 K 1 は 1 . 0 となる。また、被写界深度が 4 . 0 m ~ 5 . 0 m の場合は、K 1 の値が 0 から 1 へと単調増加する。

【 0 1 6 2 】

また、距離画像合成部 2 4 3 は、コントラスト A F でフォーカスが合った被写体を主要被写体として選択し、主要被写体の被写界深度の範囲に応じて合成係数 K 2 を決定する。

【 0 1 6 3 】

図 1 6 は、K 2 を決定するグラフを示す図である。

【 0 1 6 4 】

図 1 6 において、主要被写体 4 0 2 はコントラスト A F でフォーカスが合った被写体である。

40

【 0 1 6 5 】

例えば、許容錯乱円径を 0 . 0 3 3 2 8 mm、絞り値を 2 . 8、焦点距離を 5 0 mm とし、主要被写体 4 0 2 の被写体距離を 9 m とすると、式 1 ~ 式 3 から、範囲 4 0 3 が主要被写体 4 0 2 の被写界深度の範囲となる。

【 0 1 6 6 】

合成係数 K 2 を決定するために必要となる距離 Z については、ステレオ方式距離画像 2 0 9 を参照する。このように、被写界深度の範囲でとり得る値が、この範囲外でとり得る値と比較して大きくなる値を用いて合成係数 K が算出される。

50

【 0 1 6 7 】

以上説明した第 2 の実施の形態によれば、結像光学系の絞り値や測定距離範囲の影響で、撮像する焦点位置の数が増大したり、距離精度が低下したりすることがない。さらに、ステレオ方式距離画像について、主要被写体の被写界深度から外れた距離範囲が D F D 方式距離画像に切り替わるので、そのような距離範囲の距離精度を向上させることができる。

【 0 1 6 8 】

[第 3 の実施の形態]

第 3 の実施の形態における画像処理装置 1 0 0 は、A F 測距枠の数と位置、システム制御部 1 0 7 の動作を説明するためのフローチャート、距離画像合成部 2 4 3 が第 1 の実施の形態と異なっている。

10

【 0 1 6 9 】

図 1 7 は画面上における A F 測距枠の位置を説明するための図である。

【 0 1 7 0 】

図 1 7 において、A F 測距枠として、主要被写体用の中央測距枠 5 0 1、非主要被写体用の左測距枠 5 0 2、及び非主要被写体用の右測距枠 5 0 3 が示されている。第 3 の実施の形態では、これらの各 A F 測距枠が用いられる。

【 0 1 7 1 】

図 1 8 は、図 1 におけるシステム制御部 1 0 7 により実行される合成距離画像生成処理の手順を示す図である。

20

【 0 1 7 2 】

図 1 8 において、まず D F D 方式参照画像を撮像する（ステップ S 5 0 1）。ここでの撮像での焦点位置は、被写体距離が 1 m と 2 0 m に対応する位置である。

【 0 1 7 3 】

次いで、主要被写体用の中央測距枠 5 0 1 でコントラスト A F された焦点位置で基準画像を撮像する（ステップ S 5 0 2）。

【 0 1 7 4 】

続けて、非主要被写体用の左測距枠 5 0 2 でコントラスト A F された焦点位置で基準画像を撮像する（ステップ S 5 0 3）。さらに非主要被写体用の右測距枠 5 0 3 でコントラスト A F された焦点位置で基準画像を撮像する（ステップ S 5 0 4）。

30

【 0 1 7 5 】

次いで、表示部 1 0 9 にユーザに視点の移動を促す内容を表示する（ステップ S 5 0 5）。そして、主要被写体用の中央測距枠 5 0 1 でコントラスト A F された焦点位置でステレオ方式参照画像を撮像する（ステップ S 5 0 6）。

【 0 1 7 6 】

続けて、非主要被写体用の左測距枠 5 0 2 でコントラスト A F された焦点位置でステレオ方式参照画像を撮像する（ステップ S 5 0 7）。さらに非主要被写体用の右測距枠 5 0 3 でコントラスト A F された焦点位置でステレオ方式参照画像を撮像する（ステップ S 5 0 8）。

【 0 1 7 7 】

そして、中央測距枠 5 0 1 の焦点位置の基準画像と D F D 方式参照画像を用いて、D F D 方式距離画像を生成する（ステップ S 5 0 9）。

40

【 0 1 7 8 】

さらに、主要被写体用の中央測距枠 5 0 1 におけるステレオ方式距離画像を生成する（ステップ S 5 1 0）。

【 0 1 7 9 】

続けて、非主要被写体用の左測距枠 5 0 2 におけるステレオ方式距離画像を生成する（ステップ S 5 1 1）。さらに非主要被写体用の右測距枠 5 0 3 におけるステレオ方式距離画像を生成する（ステップ S 5 1 2）。

【 0 1 8 0 】

50

生成された3つの測距枠の各焦点位置におけるステレオ方式距離画像とDFD方式距離画像を、距離画像合成部243を用いて合成して、合成距離画像を生成し(ステップS513)、本処理を終了する。

【0181】

距離画像の合成は、以下の式19～式24を用いて行われる。

【0182】

【数17】

$$Z_{MIX_R}(x, y) = K_R \cdot Z_{STR_R}(x, y) + (1 - K_R) \cdot Z_{DFD}(x, y) \dots \text{(式19)}$$

$$Z_{MIX_L}(x, y) = K_L \cdot Z_{STR_L}(x, y) + (1 - K_L) \cdot Z_{MIX_R}(x, y) \dots \text{(式20)}$$

$$Z_{MIX}(x, y) = K_C \cdot Z_{STR_C}(x, y) + (1 - K_C) \cdot Z_{MIX_L}(x, y) \dots \text{(式21)}$$

$$K_R = K1_LR \cdot K2_R \dots \text{(式22)}$$

$$K_L = K1_LR \cdot K2_L \dots \text{(式23)}$$

$$K_C = K1_C \cdot K2_C \dots \text{(式24)}$$

【0183】

式19～式24での記号の意味は以下の通りである。

(x, y) : 画素位置

$Z_{MIX}(x, y)$: 合成距離画像

$Z_{MIX_L}(x, y)$ 、 $Z_{MIX_R}(x, y)$: 左右の中間合成距離画像

$Z_{STR_C}(x, y)$: 中央測距枠501のステレオ方式距離画像

$Z_{STR_L}(x, y)$: 左測距枠502のステレオ方式距離画像

$Z_{STR_R}(x, y)$: 右測距枠503のステレオ方式距離画像

$Z_{DFD}(x, y)$: DFD方式距離画像

K_C : 中央測距枠501の合成係数

K_L : 左測距枠502の合成係数

K_R : 右測距枠503の合成係数

図19は、 $K2_C$ 、 $K2_L$ 、 $K2_R$ を決定するグラフを示す図である。

【0184】

図19において、主要被写体602は中央測距枠501におけるコントラストAFでフォーカスが合った被写体である。非主要被写体605は左測距枠、非主要被写体608は右測距枠におけるコントラストAFでフォーカスが合った被写体である。

【0185】

例えば、許容錯乱円径を0.03328mm、絞り値を2.8、焦点距離を50mmとし、主要被写体602の被写体距離を9m、非主要被写体605の被写体距離を15m、非主要被写体608の被写体距離を1mとする。このとき、式1～式3から、各被写体の被写界深度の範囲は範囲603、606、609となる。

【0186】

図20は、 $K1_C$ 、 $K1_LR$ を決定するグラフを示す図である。

【0187】

非主要被写体の場合は主要被写体の場合に比べて、ステレオ方式優先となる被写界深度が主要被写体より深くなっている。

【0188】

例えば、許容錯乱円径を0.03328mm、絞り値を2.8、焦点距離を50mmとし、主要被写体602の被写体距離を9mとすると、式1～式3から、主要被写体602の被写界深度は、6.80mとなる。この場合、対応する合成係数 $K1_C$ は、図20に

10

20

30

40

50

示されるように 1 . 0 となる。

【 0 1 8 9 】

また、非主要被写体 6 0 5 の被写体距離を 1 5 m、非主要被写体 6 0 8 の被写体距離を 1 m とすると、式 1 ~ 式 3 から、各非主要被写体の被写界深度は、2 4 . 4 m、0 . 0 7 5 m となる。この場合、非主要被写体 6 0 5 に対応する合成係数 $K_{1_L R}$ は、1 . 0 であり、非主要被写体 6 0 8 に対応する合成係数 $K_{1_L R}$ は、0 . 0 となる。このように、主要被写体とは異なる非主要被写体の被写界深度をさらに用いて合成係数が算出される。

【 0 1 9 0 】

また、第 3 の実施の形態では、非主要被写体に対応する他の第 1 距離画像として、左測距枠 5 0 2 のステレオ方式距離画像、及び右測距枠 5 0 3 のステレオ方式距離画像がさらに生成される。また、非主要被写体の被写界深度に応じて他の合成係数 K_L 、 K_R がさらに算出される。

10

【 0 1 9 1 】

そして、左測距枠 5 0 2 のステレオ方式距離画像、右測距枠 5 0 3 のステレオ方式距離画像と D F D 方式距離画像を他の合成係数を用いて合成することで、左右の中間合成距離画像として $Z_{M I X_L}(x, y)$ 、 $Z_{M I X_R}(x, y)$ が生成される。

【 0 1 9 2 】

この左右の中間合成距離画像と中央測距枠 5 0 1 のステレオ方式距離画像とを合成係数 K_C を用いてさらに合成することで合成距離画像が生成される。

20

【 0 1 9 3 】

以上説明した第 3 の実施の形態によれば、結像光学系の絞り値や測定距離範囲の影響で、撮像する焦点位置の数が増大したり、距離精度が低下したりすることがない。

【 0 1 9 4 】

さらに、主要被写体の被写界深度から外れていて、かつ被写界深度が深くなる距離範囲において、D F D 方式ではなくステレオ方式を優先するため、撮像する焦点位置の数を大きく増大させることなく、そのような距離範囲の距離精度を向上させることができる。

【 0 1 9 5 】

以上、本発明の好ましい実施の形態について説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

30

【 0 1 9 6 】

(他の実施の形態)

本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア (プログラム) をネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ (又は C P U や M P U 等) がプログラムコードを読み出して実行する処理である。この場合、そのプログラム、及び該プログラムを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【 符号の説明 】

【 0 1 9 7 】

- 1 0 0 画像処理装置
- 1 0 1 結像光学系
- 1 0 2 撮像素子
- 1 0 3 A / D 変換部
- 1 0 4 信号処理部
- 1 0 5 メモリ制御部
- 1 0 6 メモリ
- 1 0 7 システム制御部
- 1 0 8 A F 評価値取得部
- 1 0 9 表示部
- 1 1 0 操作部

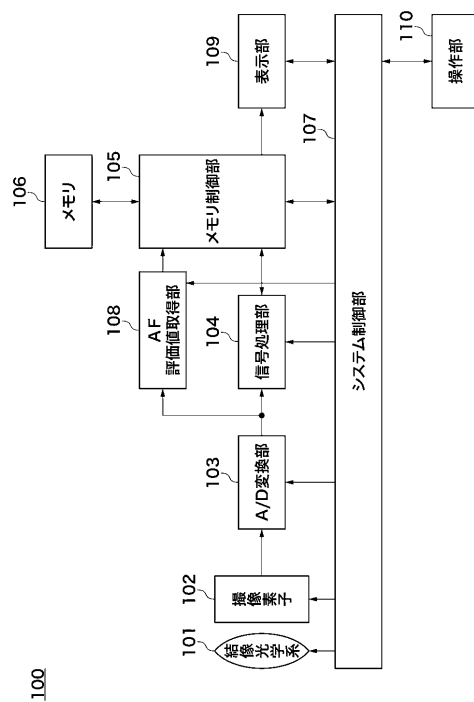
40

50

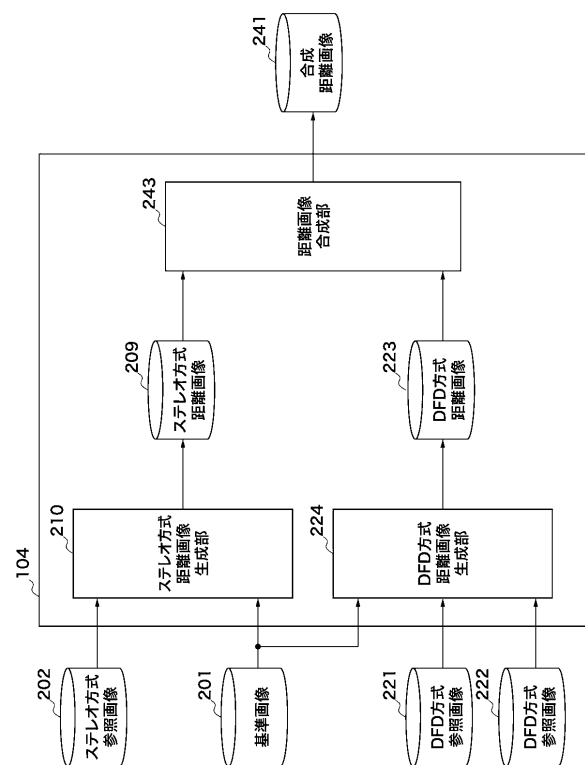
- 2 0 1 基準画像
- 2 0 2 ステレオ方式参照画像
- 2 0 3 ホモグラフィ推定部
- 2 0 4 , 2 0 5 逆画像処理部
- 2 0 6 ステレオ対応点探索部
- 2 0 7 3 D再投影部
- 2 0 8 視差画像
- 2 0 9 ステレオ方式距離画像
- 2 1 0 ステレオ方式距離画像生成部
- 2 2 1 , 2 2 2 D F D方式参照画像
- 2 2 3 D F D方式距離画像
- 2 2 4 D F D方式距離画像生成部
- 2 4 1 合成距離画像
- 2 4 3 距離画像合成部

10

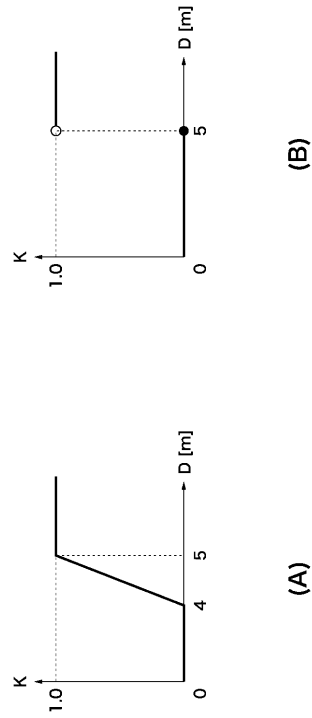
【図 1】



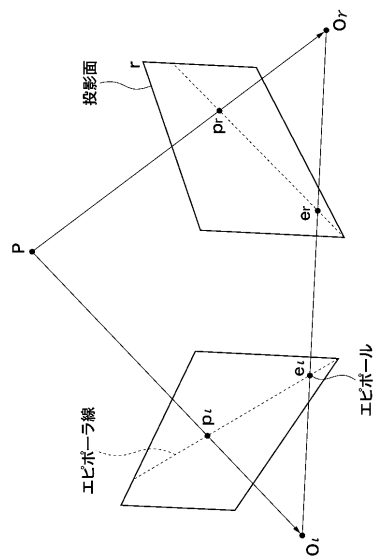
【図 2】



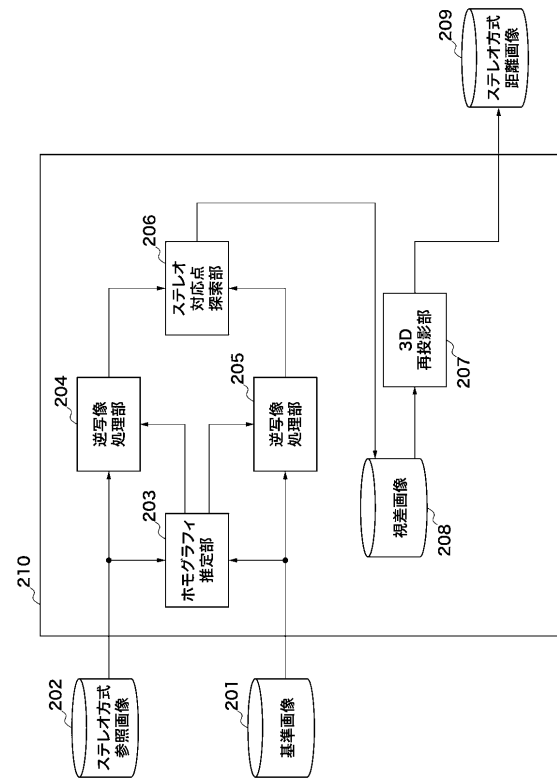
【図 3】



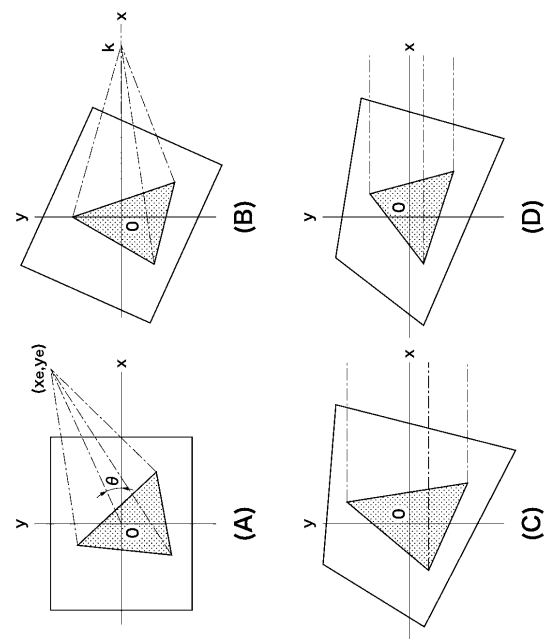
【図 5】



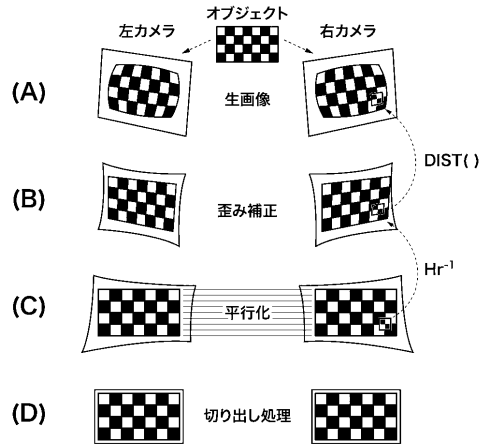
【図 4】



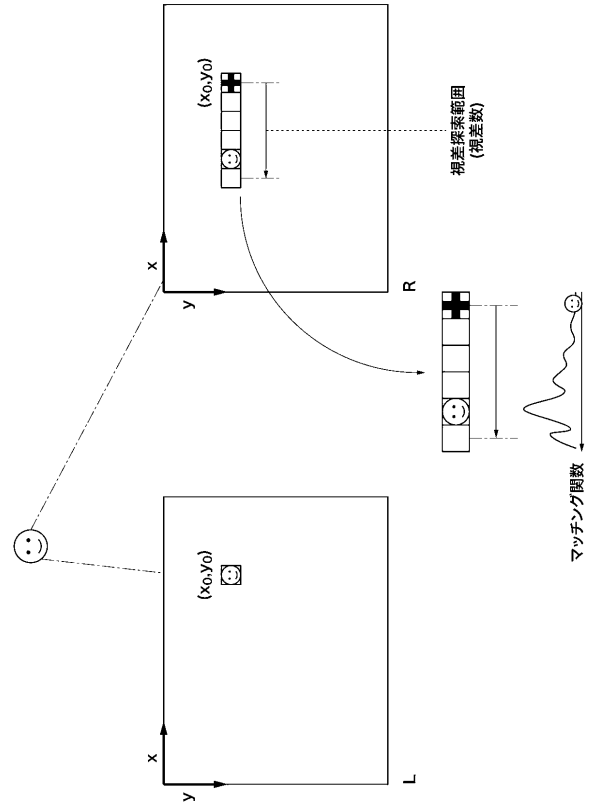
【図 6】



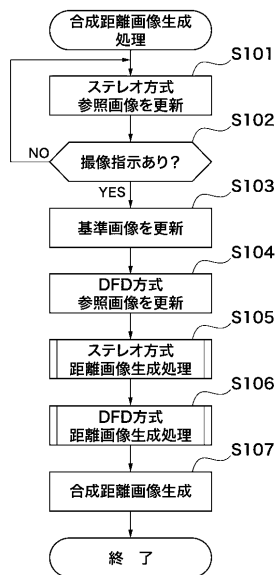
【図 7】



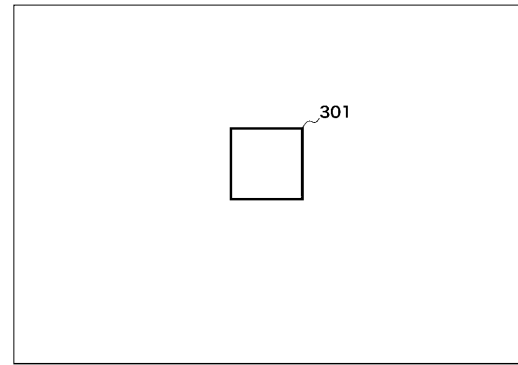
【図 8】



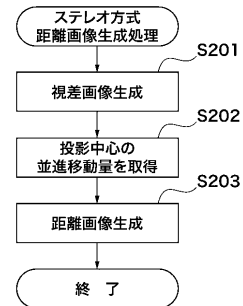
【図 9】



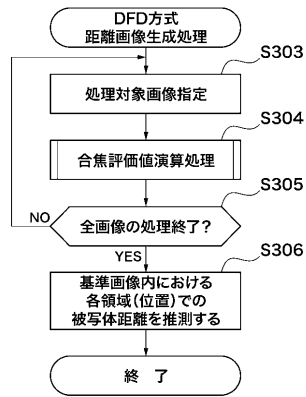
【図 10】



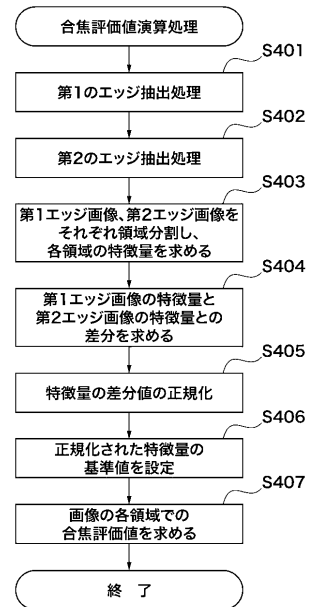
【図 11】



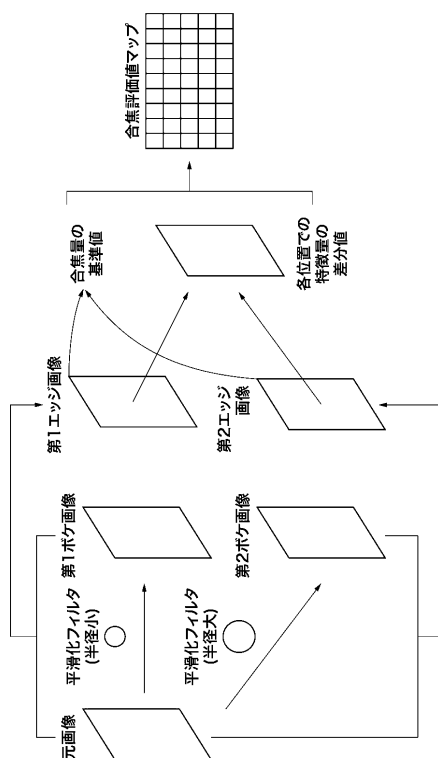
【図 12】



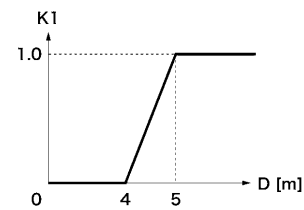
【図 13】



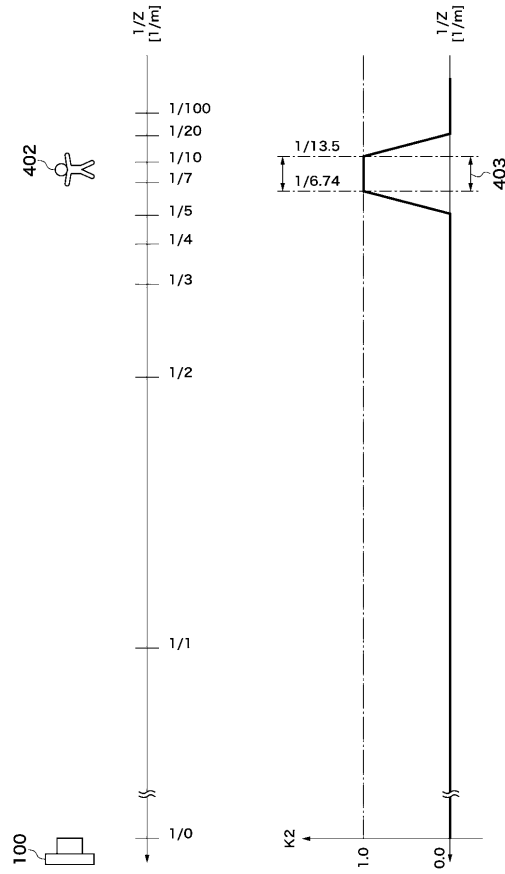
【図 14】



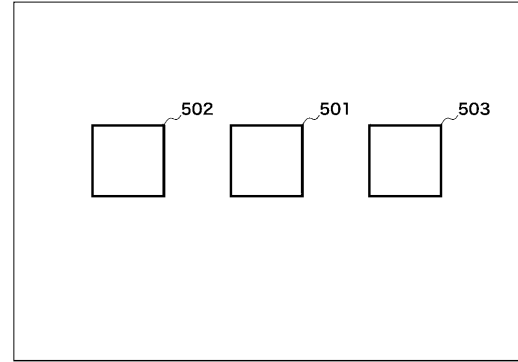
【図 15】



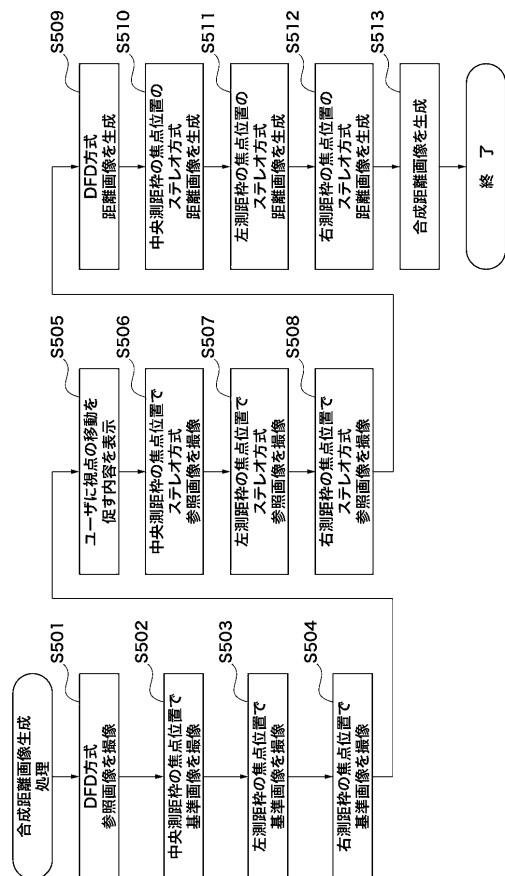
【図 16】



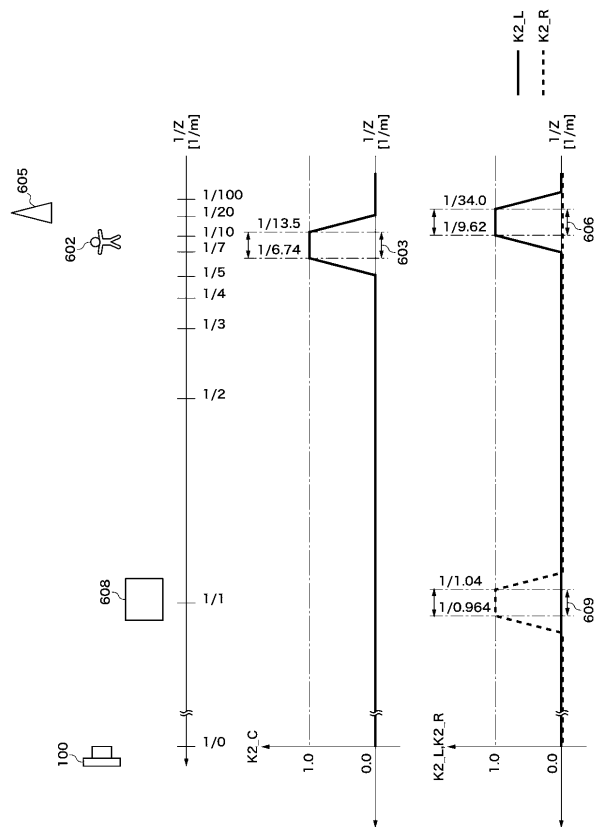
【図 17】



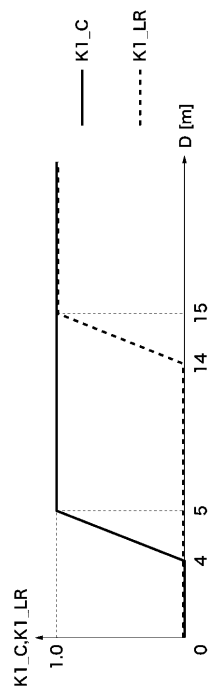
【図 18】



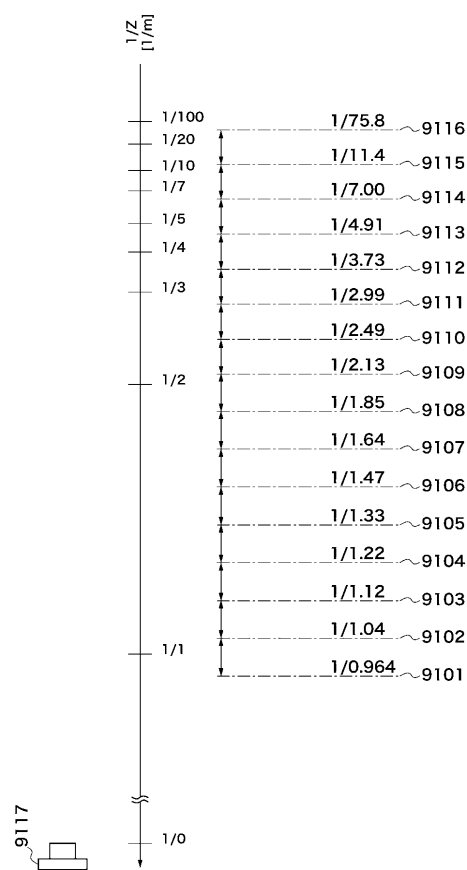
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平07-181024(JP,A)
国際公開第2011/158515(WO,A1)
米国特許出願公開第2011/0298898(US,A1)
特開2008-116308(JP,A)
国際公開第2011/158508(WO,A1)
特表2013-509104(JP,A)
特開2010-016743(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 7/28
G02B 7/30
G03B 15/00
H04N 5/232