

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5900017号
(P5900017)

(45) 発行日 平成28年4月6日(2016.4.6)

(24) 登録日 平成28年3月18日(2016.3.18)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	Z
GO3B	15/00	(2006.01)	GO3B	15/00	H
GO1C	3/06	(2006.01)	GO1C	3/06	110V
GO6T	1/00	(2006.01)	GO6T	1/00	315

請求項の数 14 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2012-42573 (P2012-42573)	(73) 特許権者	000001443 カシオ計算機株式会社 東京都渋谷区本町1丁目6番2号
(22) 出願日	平成24年2月28日(2012.2.28)	(74) 代理人	100095407 弁理士 木村 満
(65) 公開番号	特開2013-178684 (P2013-178684A)	(72) 発明者	長坂 知明 東京都羽村市栄町3丁目2番1号 カシオ 計算機株式会社 羽村技術センター内
(43) 公開日	平成25年9月9日(2013.9.9)	審査官	佐田 宏史
審査請求日	平成27年2月16日(2015.2.16)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 奥行き推定装置、再構成画像生成装置、奥行き推定方法、再構成画像生成方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定装置であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義する画素領域定義手段と、

前記画素領域定義手段によって定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する奥行き推定手段と、

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画像の画素である再構成画素とを定義する再構成画像定義手段と、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求める奥行き係数獲得手段と、
を備え、

前記奥行き推定手段は、前記奥行き係数獲得手段が求めた各前記サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、
ことを特徴とする奥行き推定装置。

【請求項 2】

前記周辺サブイメージ上の前記対応領域を、前記注目サブイメージの画素領域の画素値と、前記周辺サブイメージの画素値と、に基づいて抽出する対応領域抽出手段を更に備え、

前記奥行き推定手段は、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域抽出手段によって抽出された前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の奥行き推定装置。

【請求項 3】

前記再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出する対応画素抽出手段を備え、

前記奥行き推定手段は、

前記対応画素抽出手段によって抽出された前記対応画素について前記奥行き係数獲得手段が求めた奥行き係数に基づいて、前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の奥行き推定装置。

【請求項 4】

前記周辺サブイメージ上の視差に応じた複数の位置に対応候補領域を定義し、前記対応候補領域のそれぞれについて、前記サブイメージの画素領域との対応の確かさを示す対応係数を求める対応係数獲得手段を更に備え、

前記対応領域抽出手段は、

前記対応係数獲得手段が求めた対応係数に基づいて、前記周辺サブイメージ上の前記対応領域を抽出する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の奥行き推定装置。

【請求項 5】

前記対応係数獲得手段は、

異なる視差毎に複数の前記周辺サブイメージのそれぞれに前記対応候補領域を定義し、前記対応候補領域のそれぞれについて前記対応係数を求め、

前記対応領域抽出手段は、

前記対応候補領域のそれぞれについて求めた前記対応係数から、前記視差毎に前記対応係数の確からしさを示す尤度係数を求め、前記尤度係数が最も確からしい前記対応係数に対応する前記対応候補領域を前記対応領域として抽出する、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の奥行き推定装置。

【請求項 6】

前記対応係数獲得手段が求める前記対応係数は、前記画素領域と前記対応候補領域との画素値の差違を示す係数である、

ことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の奥行き推定装置。

【請求項 7】

前記奥行き係数獲得手段は、

前記サブ画素の奥行き係数を、前記サブ画素から所定領域に含まれるサブ画素の奥行き係数に基づき補正する、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の奥行き推定装置。

【請求項 8】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成装置であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、被写体に対応する画素領域を定義する画素領域定義手段と、前記画素領域定義手段によって定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行き

10

20

30

40

50

を推定する奥行き推定手段と、を有する奥行き推定装置と、

前記奥行き推定装置によって推定された前記被写体の奥行きと前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画像を構成する再構成画素の画素値を補正する再構成画像補正手段と、

を備える、

ことを特徴とする再構成画像生成装置。

【請求項 9】

前記再構成画像補正手段は、前記補正として、対応する前記被写体の奥行きと前記再構成距離との距離の差が所定の閾値よりも大きい再構成画素に、前記再構成画素から所定範囲にある再構成画素の画素値に基づいてボケを付加する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の再構成画像生成装置。

10

【請求項 10】

前記再構成画像補正手段は、前記ボケを付加するにあたって、対応する前記被写体の奥行きが、前記再構成距離よりも手前である被写体の再構成画素については、前記ボケを付加する処理の処理対象としない、

ことを特徴とする請求項 9 に記載の再構成画像生成装置。

【請求項 11】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定方法であって、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

20

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定するステップと、

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画像の画素である再構成画素とを定義するステップと、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求めるステップと、

を含み、

30

前記奥行きを推定するステップでは、前記奥行き係数を求めるステップで求めた各前記サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする奥行き推定方法。

【請求項 12】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成方法であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、奥行きを推定する対象となる被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、画素領域を構成する各画素について前記被写体の奥行き係数を求めるステップと、

40

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出するステップと、

求めた前記奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を設定するステップと、

前記再構成画素の奥行き係数が示す被写体までの距離と前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正するステップと、

前記再構成画素の前記補正後の画素値を用いて再構成画像を生成するステップと、

50

を含む、
ことを特徴とする再構成画像生成方法。

【請求項 1 3】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定するため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義する機能、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する機能、

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画像の画素である再構成画素とを定義する機能、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求める機能、

を実現させ、

前記奥行きを推定する機能では、前記奥行き係数を求める機能で求めた各前記サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とするプログラム。

【請求項 1 4】

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成するため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、奥行きを推定する対象となる被写体に対応する画素領域を定義する機能、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、画素領域を構成する各画素について前記被写体の奥行き係数を求める機能、

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出する機能、

求めた奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を設定する機能、

前記再構成画素の奥行き係数が示す前記被写体までの距離と前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正する機能、

前記再構成画素の補正後の画素値を用いて再構成画像を生成する機能、
を実現させる、

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、奥行き推定装置、再構成画像生成装置、奥行き推定方法、再構成画像生成方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

被写体を撮影して被写体の奥行きを推定する技術が知られている。例えば、特許文献 1 に記載の技術では、姿勢およびレンズの状態を計測するセンサを取り付けたカメラを用いて複数枚の画像を撮影し、複数枚の画像からセンサが取得したパラメータを用いて奥行きを推定する。このとき、センサによりカメラの水平移動量、パン角度、チルト角度、ロール角度、ズーム比およびフォーカス量を計測する必要がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

また、異なる視点から撮影した被写体の画像を取得することにより、被写体からカメラのレンズに侵入する光線の位置、方向、光量に係る情報を取得する技術が知られている。このような技術に関連して、特許文献 2 は被写体を撮影した複数の画像（ライトフィールド画像）を取得して、該複数の画像から焦点距離・被写界深度等を変化させた被写体の画像を再構成する技術を開示している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 1 - 1 9 5 5 8 0 号公報

10

【 特許文献 2 】 特表 2 0 0 8 - 5 1 5 1 1 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

特許文献 1 に記載の技術を用いて被写体の奥行きを推定するためには、カメラの移動量、パン角度、チルト角度、ロール角度、を計測する物理センサを備えた特別なカメラを必要とする。

一方、ライトフィールド画像を取得するためには特別な物理センサを必要としない。そのため、ライトフィールド画像から奥行きを推定できれば、特別な物理センサを用いずに被写体の奥行きを推定する事が出来る。ライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定できれば、推定結果を再構成画像のノイズ除去等に利用することができるが、特許文献 2 はライトフィールド画像から再構成した画像の奥行きを示す画像を生成する方法を開示していない。

20

【 0 0 0 6 】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、被写体を撮影した複数の画像から被写体の奥行きを推定できる奥行き推定装置、再構成画像生成装置、奥行き推定方法、再構成画像生成方法及びプログラムを提供することを目的とする。また、本発明は被写体を撮影した複数の画像から再構成した画像の奥行きを推定し、推定結果を用いて画質の高い再構成画像を生成できる再構成画像生成装置、再構成画像生成方法及びプログラムを提供することを他の目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するため、本発明に係る奥行き推定装置の一様態は、

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定装置であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義する画素領域定義手段と、

前記画素領域定義手段によって定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する奥行き推定手段と、

40

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画像の画素である再構成画素とを定義する再構成画像定義手段と、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求める奥行き係数獲得手段と、

を備え、

前記奥行き推定手段は、前記奥行き係数獲得手段が求めた各前記サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

50

ことを特徴とする。

【0008】

また、上記目的を達成するため、本発明に係る再構成画像生成装置の一様態は、複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成装置であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、被写体に対応する画素領域を定義する画素領域定義手段と、前記画素領域定義手段によって定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する奥行き推定手段と、を有する奥行き推定装置と、

前記奥行き推定装置によって推定された前記被写体の奥行きと前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画像を構成する再構成画素の画素値を補正する再構成画像補正手段と、

を備える、

ことを特徴とする。

また、上記目的を達成するため、本発明に係る奥行き推定方法の一様態は、

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定方法であって、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定するステップと、

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画像の画素である再構成画素とを定義するステップと、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求めるステップと、

を含み、

前記奥行きを推定するステップでは、前記奥行き係数を求めるステップで求めた各前記サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする。

また、上記目的を達成するため、本発明に係る再構成画像生成方法の一様態は、

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成方法であって、

前記ライトフィールド画像の前記サブイメージ上に、奥行きを推定する対象となる被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、画素領域を構成する各画素について前記被写体の奥行き係数を求めるステップと、

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出するステップと、

求めた前記奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を設定するステップと、

前記再構成画素の奥行き係数が示す被写体までの距離と前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正するステップと、

前記再構成画素の前記補正後の画素値を用いて再構成画像を生成するステップと、

を含む、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする。

また、上記目的を達成するため、本発明に係るプログラムの一様態は、
複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する
ため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記被写体に対応する画素領域を定義
する機能、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの
周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置の
ズレに基づいて、前記被写体の奥行きを推定する機能、

前記ライトフィールド画像から前記被写体の像を再構成した再構成画像と前記再構成画
像の画素である再構成画素とを定義する機能、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメ
ージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数
を求める機能、

を実現させ、

前記奥行きを推定する機能では、前記奥行き係数を求める機能で求めた各前記サブ画素
の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の前記再構成画素の奥行き係数を定めることによ
り、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする。

また、上記目的を達成するため、本発明に係るプログラムの一様態は、
複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合
焦した再構成画像を生成するため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、奥行きを推定する対象となる被写体に
対応する画素領域を定義する機能、

前記定義された画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、前記注目サブイメージの
周辺に配置された周辺サブイメージ上の画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置の
ズレに基づいて、画素領域を構成する各画素について前記被写体の奥行き係数を求める機
能、

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画
素を抽出する機能、

求めた奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を
設定する機能、

前記再構成画素の奥行き係数が示す前記被写体までの距離と前記再構成距離との距離の
差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正する機能、

前記再構成画素の補正後の画素値を用いて再構成画像を生成する機能、
を実現させる、

ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、被写体を撮影した複数の画像から再構成した画像の奥行きを推定する
ことができる。また、推定結果を用いて画質の高い再構成画像を生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施形態1に係るデジタルカメラの構成を示す図である。

【図2】実施形態1に係るデジタルカメラの光学系の構成を示す図である。

【図3】実施形態1に係るライトフィールド画像の例を示す図であり、(a)はライトフ
ィールド画像の概念図を、(b)はライトフィールド画像と奥行き画像の例を示す。

【図4】実施形態1に係る画像生成装置の(a)物理的構成と(b)機能的構成を示す図
である。

【図5】実施形態1に係る画像出力処理を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 6】実施形態 1 に係る画素領域定義処理を示すフローチャートである。

【図 7】実施形態 1 に係る領域統合処理を示すフローチャートである。

【図 8】実施形態 1 に係る奥行き係数算出処理を示すフローチャートである。

【図 9】実施形態 1 に係る奥行き係数算出処理を説明するための図であり、(a) は注目画素領域の例を、(b) 及び(c) は領域奥行き係数の決定処理を、(d) 及び(e) は奥行き係数の投票処理を、それぞれ説明するための図である。

【図 10】実施形態 1 に係る領域奥行き係数算出処理を示すフローチャートである。

【図 11】実施形態 1 に係る奥行きテーブルの例を示す図である。

【図 12】実施形態 1 に係る奥行き係数決定処理を示すフローチャートである。

【図 13】実施形態 1 に係る奥行き係数決定処理を説明するための図であり、(a) は L F I を、(b) は画素のヒストグラムの一例を、(c) は画素のヒストグラムのその他の例を、それぞれ示す。

10

【図 14】実施形態 1 に係る奥行きフィルタ処理を示すフローチャートである。

【図 15】実施形態 1 に係る奥行きフィルタ処理を説明するための図であり、(a) は奥行き画像から重み付けて奥行き係数を投票する処理を、(b) は投票結果のヒストグラムを、(c) はフィルタ処理後の奥行き画像を、それぞれ示す。

【図 16】実施形態 1 に係る画像生成処理を示すフローチャートである。

【図 17】実施形態 1 に係る光線追跡について説明するための図である。

【図 18】実施形態 1 に係る画像生成処理を説明するための図であり、(a) はライトフィールド奥行き画像の例を、(b) はサブイメージ上の対応画素を、(c) は生成された奥行き画像の例を、それぞれ示す。

20

【図 19】本発明の実施形態 2 に係る画像生成装置の機能的構成を示す図である。

【図 20】実施形態 2 に係る画像生成処理を説明するための図であり、(a) はフィルタ前の再構成画像の例を、(b) は奥行き画像を用いたフィルタ処理を、(c) は生成された再構成画像の例を、それぞれ示す。

【図 21】実施形態 2 に係る画像生成処理を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明を実施するための形態に係るデジタルカメラ及び画像生成装置を、図を参照しながら説明する。なお、図中同一又は相当する部分には同一符号を付す。

30

【0012】

(実施形態 1)

実施形態 1 に係る画像生成装置 30 (奥行き推定装置) は、図 1 に示すデジタルカメラ 1 に搭載されている。デジタルカメラ 1 は、被写体を撮影して複数のサブイメージからなるライトフィールド画像を撮影し、このライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定し、推定結果を示す再構成した画像 (奥行き画像、再構成画像) を生成して表示する機能を備える。画像生成装置 30 は、このうち複数のサブイメージからなるライトフィールド画像から奥行き画像を生成する機能を担当する。

【0013】

デジタルカメラ 1 は、図 1 に示すように、撮像部 10 と、画像生成装置 30 を含む情報処理部 20 と、記憶部 40 と、インターフェース部 (I / F 部) 50 と、から構成される。デジタルカメラ 1 は、このような構成により、外部からの光線情報を取得して、光線情報を表す画像を表示する。

40

【0014】

撮像部 10 は、光学装置 110 と、イメージセンサ 120 と、から構成され、撮像動作を行う。

【0015】

光学装置 110 は、図 2 に示すように、シャッタ 111 と、メインレンズ M L と、サブレンズアレイ S L A (マイクロレンズアレイ) と、から構成され、外部からの光線をメインレンズ M L によって捉え、サブレンズアレイ S L A を構成する各サブレンズ S L の光学

50

中心を視点として得られる光学像をイメージセンサ120に投影する。

【0016】

イメージセンサ120は、光学装置110が投影した光学像を電気信号に変換して情報処理部20に伝達するもので、例えば、CCD(Charge Coupled Device)やCMOS(Complementally Metal Oxide Semiconductor)などの撮像素子と、撮像素子が生成した電気信号を情報処理部20に伝達する伝達部と、から構成される。

【0017】

シャッタ111は、イメージセンサ120への外部光の入射と遮蔽を制御する。

メインレンズMLは、一又は複数の凸レンズ、凹レンズ、非球面レンズ等から構成され、撮影時の被写体OBの光を光学像としてメインレンズMLとサブレンズアレイSLAとの間の仮想的な結像面MIP上に結像させる。なお、撮影時の被写体OBは、図2に示すようにメインレンズMLからそれぞれ異なる距離だけ離れた複数の構成物であるとする。本実施形態では、メインレンズMLは単一の焦点距離 f_{ML} を持つ単焦点レンズであるとする。

10

【0018】

サブレンズアレイSLAは、平面上に格子状に配置された $M \times N$ 個のサブレンズ(マイクロレンズ)SLから構成される。サブレンズアレイSLAは、メインレンズMLが結像面MIP上に結像させた光学像を、それぞれのサブレンズSLの光学中心を視点として観測した光学像として、イメージセンサ120を構成するイメージセンサの撮像面IE上に結像する。メインレンズMLが成す平面と撮像面IEが成す平面とから構成される空間をライトフィールドと呼ぶ。

20

【0019】

メインレンズMLについて、最大径LDと、有効径EDと、が定義できる。最大径LDは、メインレンズMLの物理的な直径である。一方、有効径EDはメインレンズMLのうち撮影に使用できる領域の直径である。メインレンズMLのうち、有効径EDの外部は、メインレンズMLに貼り付けられた各種フィルタやメインレンズML周辺の物理構造によってメインレンズに入出力する光線が遮られるため、画像を撮影・再構成するために有効でない領域(非有効領域)である。

有効径EDは、上記フィルタ等の物理構造によって光線が遮られる部位を工場出荷時に測定することで定義できる。

30

【0020】

図2の例では、被写体OBのある部分POBからの光線がメインレンズMLの有効径EDをなす部分(有効部)を通過し、複数のサブレンズSL上に投影されている。このように、被写体OBの部分POBから発せられた光が、メインレンズMLの有効部を通過してサブレンズアレイSLA上に投影される領域を、部分POBのメインレンズブラーMLBと呼ぶ。このうち、主光線が到達する部位をメインレンズブラー中心MLBCと呼ぶ。

【0021】

メインレンズMLの光学中心からメインレンズの結像面MIPまでの距離を b_1 、結像面MIPからサブレンズアレイSLAがなす面までの距離を a_2 、サブレンズアレイSLAからイメージセンサの撮像面IEの距離を c_2 とする。

40

【0022】

撮像部10は、上記構成により、ライトフィールドを通過する全ての光線の情報を含んだライトフィールド画像(LFI)を撮影する。

ブロック状の被写体OBを撮影したLFIの一例を図3(a)に示す。

このLFIは、格子状に配置された $M \times N$ 個のサブレンズSL(マイクロレンズ)のそれぞれに対応する画像(サブイメージ S_{11} 、 $S_{11} \sim S_{MN}$)から構成されている。例えば、左上のサブイメージ S_{11} は、被写体OBを左上から撮影した画像に相当し、右下のサブイメージ S_{MN} は被写体OBを右下から撮影した画像に相当する。

【0023】

50

各サブイメージは、サブイメージを結像させたサブレンズの位置に対応したLFI上の位置に配置されている。

第*i*行のサブイメージ(横の一行のサブイメージ) $S_{i1} \sim S_{iN}$ は、メインレンズMLが結像した像を、サブレンズアレイSLAの第*i*行の横に並んだサブレンズSLで結像したステレオ画像に相当する。同様に、第*j*列のサブイメージ(縦の一行のサブイメージ) $S_{1j} \sim S_{Mj}$ は、メインレンズMLが結像した像を、サブレンズアレイSLA(マイクロレンズアレイ)の第*j*列の縦に並んだサブレンズSLで撮影したステレオ画像に相当する。

【0024】

本実施形態のデジタルカメラ1は、図4(b)に示すように、LFIから本画像として被写体を再構成した場合の各被写体の奥行きを推定し、推定結果を示す画像(奥行き画像DI)を生成する。奥行き画像DIの各画素は、その画素の被写体の推定された奥行きが深い(その被写体がメインレンズMLから遠い)場所には黒に近く、近いほど白に近く設定される。

10

なお、本実施形態では各サブイメージはグレースケール画像であり、サブイメージを構成する各画素は画素値(スカラー値)を持つ。

【0025】

図1に示す情報処理部20は、物理的にはCPU(Central Processing Unit)と、RAM(Random Access Memory)と、内部バスと、I/Oポートと、から構成され、画像処理部210、画像生成装置30、撮像制御部220、として機能する。

20

【0026】

画像処理部210は、イメージセンサ120から電気信号を取得し、取得した電気信号を記憶部40の撮像設定記憶部410が記憶する撮像設定情報に基づいて画像データに変換する。画像処理部210は、画像データと、撮像設定情報に所定の情報を加えた撮影設定情報と、を画像生成装置30に伝達する。

【0027】

撮像設定記憶部410が記憶する撮像設定情報については後述する。

【0028】

画像生成装置30は、画像処理部210から伝達されたLFIを用いて出力画像(奥行き画像)を生成する。画像生成装置30が奥行き画像を生成する処理については後述する。

30

画像生成装置30は、生成した出力画像を記憶部40の画像記憶部430に記憶する。

【0029】

撮像制御部220は、記憶部40の撮像設定記憶部410に記憶された撮像設定情報に基づいて撮像部10を制御し、撮像部10を用いて被写体OBを撮影する。

【0030】

記憶部40は、RAM等から構成される主記憶装置と、フラッシュメモリ、ハードディスク、等の不揮発性メモリから構成される外部記憶装置と、から構成される。

主記憶装置は外部記憶装置に記憶されている制御プログラムや情報をロードし、情報処理部20の作業領域として用いられる。

40

外部記憶装置は、後述する処理を情報処理部20に行わせるための制御プログラムと情報とをあらかじめ記憶し、これらの制御プログラムや情報を情報処理部20の指示に従って主記憶装置に伝達する。また、情報処理部20の指示に従って、情報処理部20の処理に基づく情報とインターフェース部50から伝達された情報とを記憶する。

【0031】

記憶部40は、機能的には、撮像設定記憶部410と、再構成設定記憶部420と、画像記憶部430と、から構成される。

【0032】

撮像設定記憶部410は、撮像設定情報を記憶する。撮像設定情報は、撮像時に変化し

50

うる撮像パラメータとしてメインレンズMLとサブレンズアレイSLAとの距離、メインレンズの焦点距離 f_{ML} 、露光時間を特定する情報、F値、シャッタ速度、等を含む。また、撮像設定記憶部410は、各サブレンズSLのサブレンズアレイSLA上の位置、サブレンズアレイSLAと撮像面IEとの距離 c_2 等のデジタルカメラ1の物理構成に係る情報を記憶している。

撮像設定記憶部410は、撮像パラメータを撮像制御部220に伝達する。

また、撮像設定記憶部410は、撮像部10の撮像設定情報に物理構成に関する情報を付加して、撮影設定情報として画像処理部210に伝達する。

【0033】

再構成設定記憶部420は、初期出荷時に記憶された、あるいは操作部530を用いてユーザが入力した、LFIから再構成して画像を生成するための設定パラメータを記憶している。

再構成設定情報は、再構成処理の具体的内容を示す情報と再構成パラメータとから構成される。ここでは、LFIから奥行き画像を生成する旨の情報と、新たな画像のフォーカス点とメインレンズMLとの距離を特定する情報と、を含む。

【0034】

画像記憶部430は、画像生成装置30が生成した出力画像を記憶する。画像記憶部430は、インターフェース部50のI/O部510と表示部520とに、記憶した画像を伝達する。

【0035】

インターフェース部(図ではI/F部と記述する)50は、デジタルカメラ1とその使用者(ユーザ)あるいは外部装置とのインターフェースに係る構成であり、I/O部510と、表示部520と、操作部530と、から構成される。

【0036】

I/O部(Input/Output部)510は、物理的にはUSB(Universal Serial Bus)コネクタやビデオ出力端子と、入出力制御部と、から構成される。I/O部510は記憶部40に記憶された情報を外部のコンピュータに出力し、外部から伝達された情報を記憶部40に伝達する。

【0037】

表示部520は、液晶表示装置や有機EL(Electro Luminescence)ディスプレイ等から構成され、撮像設定記憶部410に記憶される撮像パラメータを入力するための画面や、デジタルカメラ1を操作するための画面を表示する。また、表示部520は、画像記憶部430に記憶された画像を表示する。

【0038】

操作部530は、例えばデジタルカメラ1に備えられた各種ボタンや表示部520に備えられたタッチパネルと、各種ボタンやタッチパネルに行われた操作の情報を検出して記憶部40と情報処理部20とに伝達する伝達部を含み、ユーザ操作の情報を記憶部40や情報処理部20に伝達する。

【0039】

デジタルカメラ1は、図3(b)に示すように、LFIを撮影し、LFIから再構成した奥行き画像DIを生成して出力する。

【0040】

次に、画像生成装置30の構成について、図4を参照して説明する。

画像生成装置30は、図4(a)に示すように情報処理部31aと、主記憶部32と、外部記憶部33と、入出力部36と、内部バス37と、から構成される。

【0041】

情報処理部31aは、CPUと、RAMと、から構成される。

【0042】

主記憶部32は、記憶部40の主記憶装置と同様の物理構成を持つ。外部記憶部33は、記憶部40の外部記憶装置と同様の物理構成を持ち、プログラム38を記憶している。

10

20

30

40

50

入出力部 36 は、I/O 部 510 と同様の物理構成を持つ。内部バス 37 は、情報処理部 31a と、主記憶部 32 と、外部記憶部 33 と、入出力部 36 と、を接続する。

【0043】

情報処理部 31a と、主記憶部 32 と、外部記憶部 33 と、入出力部 36 と、内部バス 37 と、はデジタルカメラ 1 の情報処理部 20 の内部回路と、記憶部 40 と、インターフェース部 50 と、によって実現される機能ブロックであってもよい。

【0044】

画像生成装置 30 は、外部記憶部 33 に記憶されたプログラム 38 及びデータを主記憶部 32 にコピーして、情報処理部 31a が、主記憶部 32 を使用してプログラム 38 を実行することにより、後述する画像を生成して出力するための処理を実行する。

10

【0045】

画像生成装置 30 は、上記のような物理構成により、図 4 (b) に示すように、入力部 310 と、奥行き推定部 320 と、奥行き画像生成部 330 と、として機能する。

【0046】

入力部 310 は、画像処理部 210 から、LFI を取得する LFI 取得部 3110 と、その LFI を取得したときの撮影設定情報を取得する撮影設定取得部 3130 と、LFI から出力画像 (奥行き画像) を生成するにあたって用いるパラメータを含む再構成設定を取得する再構成設定取得部 3120 と、から構成される。

撮影設定情報は、撮像設定情報に含まれる撮像パラメータ (メインレンズ ML とサブレンズアレイ SLA との距離、メインレンズの焦点距離 f_{ML} 、露光時間を特定する情報、F 値、シャッタ速度) に加え、既存値としてメインレンズの有効径 ED と、サブレンズアレイ SLA を構成する各サブレンズ SL の位置情報と、サブレンズアレイ SLA とイメージセンサ 120 の撮像面 IE との距離とを含む。また、メインレンズ ML からサブレンズアレイ SLA までの距離 c_1 、サブレンズアレイ SLA から撮像素子の表面 (撮像面 IE) までの距離 c_2 、各サブレンズの径、各撮像素子のサブレンズに対する相対位置、等の情報を含む。

20

【0047】

再構成設定取得部 3120 は、再構成設定記憶部 420 が記憶する画像を再構成するための再構成設定情報を記憶する。再構成設定情報は、再構成処理の具体的内容を示す情報と、下記する画像生成処理のために必要な情報 (再構成パラメータ、奥行きテーブル、閾値を示す情報) が含まれる。再構成パラメータは新たな画像のフォーカス点とメインレンズ ML との距離 (再構成距離、距離 a_1) を特定する情報と、を含む。

30

本実施形態では、LFI から再構成設定が示す再構成面上に奥行き画像を生成する場合について説明する。このとき、再構成設定情報は奥行き画像を生成する旨の情報を含む。

【0048】

奥行き推定部 320 と奥行き画像生成部 330 は、再構成設定取得部 3120 が取得した再構成設定に合致する出力画像 (奥行き画像) を、再構成設定と、LFI 取得部 3110 が取得した LFI と、撮影設定取得部 3130 が取得した撮影設定情報と、を用いて生成する。

このなかで、奥行き推定部 320 はサブイメージを構成する各画素 (サブ画素) について、画素に対応する被写体の奥行きを推定し、推定結果を表すライトフィールド奥行き画像 (LFDI) を生成する。奥行きとは、推定されたメインレンズ ML と被写体 OB との距離である。

40

【0049】

奥行き推定部 320 はこのような処理を実行するために、領域定義部 3210 と、注目領域選択部 3220 と、周辺サブイメージ選択部 3230 と、SSD 算出部 3240 と、奥行き係数投票部 3250 と、サブ画素奥行き係数選択部 3260 と、奥行きフィルタ実行部 3270 と、を含む。

【0050】

領域定義部 3210 は、各サブイメージを画素値に基づいて同一の被写体に対応すると

50

推定される画素で構成される領域（画素領域）を定義する。画素領域は、一つのサブイメージについて一又は複数定義される。画素領域を定義する処理は、対応する被写体ごとに画像を分割する既知の任意の方法を使用することが出来る。ここでは、後述する処理を用いて画素領域を定義するが、他の例として差分画像を算出して、差分値が閾値より大きい部分に囲まれた部分を画素領域とする、等の処理を採用することも可能である。

【 0 0 5 1 】

注目領域選択部 3 2 2 0 は、領域定義部 3 2 1 0 が定義したサブイメージ上の画素領域を順次注目画素領域として選択する。

【 0 0 5 2 】

注目領域選択部 3 2 2 0 が選択した注目画素領域を含むサブイメージ（注目サブイメージ）について、周辺サブイメージが定義される。周辺サブイメージは、注目サブイメージを中心とする再構成設定が定める所定領域（周辺領域）に含まれる、その他のサブイメージである。

10

周辺サブイメージ選択部 3 2 3 0 は、周辺サブイメージを順次注目周辺イメージとして選択する。

【 0 0 5 3 】

S S D 算出部 3 2 4 0 は、注目周辺イメージにおいて、注目画素領域に対応する対応領域の候補である対応候補領域を定義し、対応候補領域を、設定上想定される奥行きに対応する範囲でずらし、各部位における注目画素領域との対応の確かさを示す係数を算出する。ここでは、係数として注目画素領域と対応候補領域との画素値の差の二乗和（S S D）を算出する。具体的な処理方法については後述する。周辺サブイメージ選択部 3 2 3 0 から S S D 算出部 3 2 4 0 は、注目画素領域に定義される周辺サブイメージを順次注目周辺サブイメージとし、全てについて上記処理を実行する。

20

【 0 0 5 4 】

奥行き係数投票部 3 2 5 0 は、全ての周辺サブイメージについて算出した S S D を基に、S S D の和（S S S D）が最小となる奥行きを示す係数を求める。そして、求めた係数を注目画素領域及び対応領域に含まれるサブ画素の奥行きを示す情報の候補（候補係数）とする。さらに、候補係数をこれらの画素の奥行きヒストグラム（図 9（e））に投票する。奥行きヒストグラムおよび投票処理については後述する。

このとき、この候補係数に対応する領域は、周辺サブイメージにおける注目画素領域に対応すると推定される領域（対応領域）である。そのため、奥行き係数投票部 3 2 5 0 が注目画素領域について S S S D が最小となる奥行き係数を定めることは、注目画素領域の対応領域として、その奥行き係数が示す周辺サブイメージ上の領域を定義することと等しい。言い換えれば、奥行き係数投票部 3 2 5 0 は対応領域を定義し、この対応領域の位置のズレを注目画素領域と対応画素領域の画素の奥行きを推定するために奥行きヒストグラムに登録（投票）するものである。

30

【 0 0 5 5 】

奥行きヒストグラムに奥行き係数を投票する。注目画素領域の全ての周辺サブイメージについて投票処理を終えると、注目領域選択部 3 2 2 0 が次の注目画素領域を選択する。そして、注目領域選択部 3 2 2 0 から奥行き係数投票部 3 2 5 0 が連動して、全ての画素領域について奥行き係数を投票する。

40

【 0 0 5 6 】

サブ画素奥行き係数選択部 3 2 6 0 は、投票結果の奥行きヒストグラムに基づいて、L F I を構成するサブ画像のサブ画素に対応する被写体の奥行きを示す奥行き係数を選択する。選択の結果、L F I の各画素について推定された奥行きを示す奥行き係数が求められる。奥行き係数によって定められた画素値を持つ画像を L F D I と呼ぶ。なお、具体的な選択方法については後述する。

【 0 0 5 7 】

奥行きフィルタ実行部 3 2 7 0 はサブ画素奥行き係数選択部 3 2 6 0 が生成した L F I 奥行き画像に後述する画像フィルタ（奥行きフィルタ）を適用する処理を行い、画像の工

50

ッジを整える。この奥行きフィルタについては後述する。なお、後述する処理に代えて、画像のエッジを整えノイズを除去する既知の任意の画像フィルタを用いても良い。

【0058】

奥行き画像生成部330は、LFIの奥行き係数から出力画像（奥行き画像）を再構成する。奥行き画像生成部330は、このような処理のためにひな形定義部3310と、注目画素選択部3320と、対応画素抽出部3330と、画素値決定部3340と、を含む。

【0059】

ひな形定義部3310は、再構成設定取得部3120が取得した再構成設定に基づいて、奥行き画像の原型（ひな形）をメインレンズMLから距離 a_1 の面（再構成面）に配置する。ここで言うひな形とは、画素値が全て0（あるいは未設定）の画像である。そして、定義した原型を注目画素選択部3320に伝達する。

【0060】

注目画素選択部3320は、ひな形定義部3310が定義した再構成面上の奥行き画像の画素（奥行き画素、再構成画素）のうち一つを注目画素として選択する。そして、対応画素抽出部3330に、注目画素の情報を伝達する。

【0061】

対応画素抽出部3330は、注目画素選択部3320が選択した注目画素から光線追跡して、注目画素からの光が届いたLFI上の画素（対応画素）をサブレンズ毎に抽出する。

【0062】

画素値決定部3340は、対応画素の奥行き係数に基づいて注目画素の画素値を決定する。この処理の具体的な内容については後述する。

注目画素選択部3320から画素値決定部3340は奥行き画像に含まれる全ての再構成画素を順次注目画素として画素値を決定し、奥行き画像を生成する。

【0063】

出力部340は、奥行き画像生成部330が生成した奥行き画像を画像記憶部430に出力する。

【0064】

ここで、画像生成装置30が実行するLFIから画像（奥行き画像）を再構成して出力するための処理（画像出力処理）を、図5から図17を参照して説明する。

【0065】

ユーザがデジタルカメラ1を用いてLFIを撮影し、画像処理部210がLFIを生成して撮影設定情報と共に画像生成装置30に伝達すると、画像生成装置30は図5に示す画像出力処理を開始する。

【0066】

画像出力処理では、まずLFI取得部3110がLFIを取得する（ステップS101）。

そして、再構成設定取得部3120が再構成設定を、撮影設定取得部3130が撮影設定を取得する（ステップS102）。

【0067】

そして、領域定義部3210がサブイメージ内で同一の被写体に対応すると想定できる画素領域を一又は複数定義する処理（画素領域定義処理）を実行する（ステップS103）。

【0068】

領域定義部3210が実行する画素領域定義処理について、図6を参照して説明する。画素領域定義処理の各処理は、領域定義部3210が実行する。

画素領域定義処理では、まずサブイメージから注目サブイメージを選択する（ステップS201）。また、このとき最初の画素領域を定義するラベル（画素領域ラベル）を定義する。

10

20

30

40

50

【0069】

そして、注目サブイメージのサブ画素のうち、まだどの画素領域に所属しているか決定されていない画素（画素領域ラベルが貼り付けられていない画素、未ラベル画素）である注目画素を選択する（ステップS202）。そして、注目画素に現在の画素領域ラベルを貼り付ける。

【0070】

そして、注目画素を中心とした近傍領域に位置する画素から、未ラベル画素を一つ選択して、近傍画素とする。そして、近傍画素の画素値を取得する（ステップS203）。近傍領域については自由に設定可能であるが、ここでは注目画素に隣接する8画素が形成する領域を近傍領域とする。

10

【0071】

注目画素の画素値と、ステップS203で取得した近傍画素の画素値と、を比較して、画素値の差が閾値以下であるか判別する（ステップS204）。

【0072】

画素値の差が閾値以下であった場合は（ステップS204：YES）、近傍画素と注目画素は同一の被写体に対応するとの推定のもと、近傍画素を現在の画素領域に編入する（ステップS205）。具体的には、近傍画素に現在の画素領域ラベルを貼り付ける。そして、近傍画素を次の注目画素として（ステップS206）、ステップS203から処理を繰り返す。

【0073】

一方、画素値の差が閾値より大きい場合は（ステップS204：NO）、近傍画素と注目画素は異なる被写体に対応するとの推定ができるので、その近傍画素は現在の画素領域に編入しない。そして、注目画像の近傍領域に、まだステップS204の判別処理を行っていない未ラベル画素があるか判別する（ステップS207）。判別処理を行っていない未ラベル画素がある場合（ステップS207；NO）、近傍領域の次の未ラベル画素についてステップS203から処理を繰り返す。

20

【0074】

一方、全ての近傍領域の未ラベル画素について上記処理を実行したと判別すると（ステップS207；YES）、注目画素の近傍には現在の画素領域に属すべき未ラベル画素はないと判断できる。そこで、現在の画素領域に属する画素値の平均値を、その画素領域の代表画素値として定め（ステップS208）、現在の画素領域については処理を終了する。

30

【0075】

次に、注目サブイメージに未処理のサブ画素（未ラベル画素）が残っているか判別する（ステップS209）。

未ラベル画素が残っていると判別すると（ステップS209；NO）、画素領域ラベルを更新して次の画素領域を定義し（ステップS210）、次の画素領域についてステップS202から処理を繰り返す。

【0076】

一方、未ラベル画素が残っていないと判別すると（ステップS209；YES）、注目サブイメージの全てのサブ画素がどの画素領域に属するかラベルされたこととなる。

40

そこで、現在の領域を統合する処理（領域統合処理）を実行して、同一の被写体に対応すると推測される画素領域を統合する（ステップS211）。

【0077】

ステップS211で実行される領域統合処理について図7を参照して説明する。領域統合処理では、現時点の画素領域から注目画素領域を一つ選択する（ステップS301）。

【0078】

そして、注目画素領域に隣接する画素領域である隣接画素領域をすべて抽出する（ステップS302）。なお、隣接画素領域とは、注目画素領域に属する画素に隣接する画素を含む画素領域である。

50

そして、抽出した隣接画素領域の代表画素値と、注目画素領域の代表画素値とを比較し、代表画素値どうしの差が閾値以下の隣接画素領域が有るか判別する（ステップS303）。

【0079】

代表画素値の差が閾値以下である隣接画素領域が有ると判別すると（ステップS303；YES）、その隣接画素領域を注目画素領域に統合する（ステップS304）。具体的には、その隣接画素領域の画素領域ラベルを上書きして注目画素領域の画素領域ラベルとする。さらに、新たな領域の全画素の平均値を新たな代表画素値とする。そして、新たな領域を注目画素領域として、ステップS302から処理を繰り返す。

【0080】

一方、代表画素値の差が閾値以下の隣接画素領域がない場合（ステップS303；NO）、次に全画素領域が処理済であるか判別する（ステップS305）。具体的には、最後に領域を統合してから、現在までにまだステップS303の判別処理を行っていない画素領域があるか判別し、ある場合は（ステップS305；NO）その画素領域を注目画素領域としてステップS301から処理を繰り返す。

一方、ない場合は（ステップS305；YES）、これ以上統合すべき画素領域はないと判断できるので、領域統合処理を終了する。

【0081】

図6に戻って、ステップS211で領域統合処理が終わると、次に全サブイメージについて画素領域を定義したか判別する（ステップS212）。未処理のサブイメージが残っている場合は（ステップS212；NO）、次の注目サブイメージについてステップS201から処理を繰り返す。一方、全てのサブイメージが処理済の場合は（ステップS212；YES）、画素領域定義処理は終了する。

【0082】

図5に戻って、領域定義部3210が画素領域を定義すると、注目領域選択部3220から奥行きフィルタ実行部3270が、LFIの各画素（LFIに含まれる全サブ画素）の奥行き係数を定義してライトフィールド奥行き画像（LFDI）を生成する処理（奥行き係数算出処理）を実行する（ステップS104）。

【0083】

ステップS104で実行される奥行き係数算出処理について、図8を参照して説明する。ステップS104では、注目領域選択部3220が図8に示す奥行き係数算出処理を開始する。

奥行き係数算出処理では、まず注目領域選択部3220が、LFIのサブイメージから注目サブイメージを選択する（ステップS401）。さらに、注目サブイメージ上の画素領域の一つを注目画素領域として選択する（ステップS402）。注目画素領域の例を、図9（a）の点線で囲まれた領域として示す。

【0084】

そして、SSD算出部3240が、注目画素領域の奥行き係数を算出する処理（領域奥行き係数算出処理、図10）を開始する。ここでは、周辺サブイメージは、図9（b）に示したLFI上のサブイメージのうち、中央の注目サブイメージを除く8つのサブイメージ（SI1～SI8）とする。

【0085】

ステップS403では、図10に示す領域奥行き係数算出処理が開始される。領域奥行き係数算出処理では、まず周辺サブイメージ選択部3230が、周辺サブイメージの中から注目周辺サブイメージを選択する（ステップS501）。

【0086】

次に、設定上定められた、ありえる奥行き係数のうち、一つを注目奥行き係数として選択する（ステップS502）。奥行き係数は、画像ズレ値（画像視差）と対応付けられる。本実施形態では、図11に示すように奥行き係数と、画像ズレ値の代表値（代表ズレ値）とを対応づけている。以下、特記しない場合は視差とは画像視差を意味することとする

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

そして、SSD算出部3240が注目周辺サブイメージ上で注目奥行き係数に対応する位置に対応領域の候補についてSSDを算出する(ステップS503)。

例えば、注目奥行き係数が画像ズレ0に対応する場合には、注目周辺サブイメージ(ここではS_I1とする)の同じ部分に対応領域の候補となる領域(対応候補領域)を配置する。注目画素領域と対応候補領域の対応する画素の画素値の差の二乗和(SSD)を、対応の確かさを示す係数として算出する。

一方、注目奥行き係数が、所定の画像ズレ値と対応する場合には、注目サブイメージと注目周辺サブイメージの中心を通る直線に平行で、注目サブイメージから遠ざかる方向(S_I1については図9(b)の矢印d1の方向)であって、画像ズレ値だけずれた位置に対応候補領域を配置し、各位置のSSDを算出する(ステップS503)。ここで、注目周辺サブイメージ上でずらした量(画像ズレ)とSSDとの関係(画像ズレ-SSDグラフ)を、図9(c)に示す。

10

【 0 0 8 8 】

ここで、画像ズレ-SSDグラフの横軸は、画像ズレに対応する奥行き係数を表す。また、奥行き係数は、再構成設定に含まれる、図11に示す奥行きテーブルに定義されているとする。奥行きテーブルは、奥行き係数と、画像ズレを代表する代表ズレ値と、奥行きの範囲である再構成距離と、を対応付けて記録するテーブルである。また、画像ズレに対応する奥行きは、注目サブイメージに対応するサブレンズS_Lの位置と、周辺サブイメージに対応するサブレンズS_Lの位置と、メインレンズM_Lの焦点距離 f_{M_L} と、メインレンズM_LとサブレンズアレイS_LAとの距離、サブレンズアレイS_LAと撮像面I_Eとの距離、によって定まる。

20

【 0 0 8 9 】

注目画素領域と対応領域との位置ズレ(ズレ度)が大きいほど、注目画素領域及び対応領域の像が、よりメインレンズM_L(及びサブレンズS_L)から近い位置に存在することを示す。そのため、画像ズレが大きい奥行き係数ほど、対応する再構成距離は小さい。

【 0 0 9 0 】

SSD算出部3240は、注目周辺サブイメージの注目奥行き係数に対応する代表ズレ値の画素数だけずらした対応候補領域についてSSDを算出すると、算出したSSDを、その奥行き係数について定義されたそれぞれのSSDの和(SSSD)に加算する(ステップS504)。

30

【 0 0 9 1 】

そして、設定上定められた全奥行き係数について上記処理を実行したか否かを判別し(ステップS505)、未処理の奥行き係数がある場合は(ステップS505; NO)、次の未処理の奥行き係数について、を注目周辺サブイメージについてステップS502から処理を繰り返す。

【 0 0 9 2 】

一方、全奥行き係数について処理済みの場合は(ステップS505; YES)、SSD算出部3240は、注目周辺サブイメージについて算出したSSDの中に、再構成設定が定める閾値以下のものが有るか判別する(ステップS506)。

40

閾値以下のSSDがない場合(ステップS506; NO)、注目周辺サブイメージはノイズが強く有効な計算対象でないと判断できるので、注目周辺サブイメージを算出対象から排除する(ステップS507)。即ち、各奥行き値のSSSDから、注目周辺サブイメージについて算出したSSDを減算する。

【 0 0 9 3 】

一方、閾値以下のSSDが有る場合(ステップS506; YES)、注目周辺サブイメージは有効な情報を保持していると判断できるので、ステップS507をスキップする。

【 0 0 9 4 】

そして、周辺領域の全サブイメージに対して上記処理を実行したか判別し(ステップS

50

508)、未処理の周辺サブイメージがある場合は(ステップS508;NO)、次の周辺サブイメージを注目周辺サブイメージについてステップS501から処理を繰り返す。

【0095】

一方、全周辺サブイメージについて処理済みの場合は(ステップS508;YES)、奥行き係数投票部3250が各奥行き係数のSSSDを比較し、最もSSSDが小さい奥行き係数(図9(c)のMinD)を注目画素領域の奥行き係数とする(ステップS509)。

【0096】

図8に戻って、注目画素領域の奥行き係数を算出すると、奥行き係数投票部3250は、周辺サブイメージに対応領域を定義する。具体的には、注目画素領域に対応する部位から、奥行き係数が示す位置ズレ(代表ズレ値)だけ外方向(図9(b)のd1、d2等)にずらした位置に対応領域を定義する(図9(d))。なお、ステップS504で加算対象とならなかった周辺サブイメージ(図9(d)の例ではSI7)については対象領域を定義しない。そして、算出した奥行き係数を注目画素領域に属する画素と、対応領域に属する画素と、の奥行き係数を定めるためのヒストグラムに投票する(ステップS404)。

10

【0097】

投票の例を図9(d)、図9(e)に示す。各サブ画素には、図9(e)に示すように、奥行き係数と、その奥行き係数に投票された数と、を記憶したヒストグラム(奥行きヒストグラム)が定義されている。例えば、ステップS402で選択された注目画素領域の奥行き係数が1であった場合、奥行き係数1を候補係数とする。そして、候補係数を投票して、奥行き係数投票部3250は、対応領域に含まれる画素(例えば、図9(d)の白いドット)のヒストグラム(図9(e))の奥行き係数1の部分の投票数を一つ増加させる。同様の処理を、全ての注目画素領域と、注目領域に対して定義された対応領域に含まれる画素について実行する。

20

【0098】

ステップS404で投票が終わると、次に注目サブイメージの全画素領域についてステップS404の処理を終えたか判別する(ステップS405)。未処理の画素領域が有る場合(ステップS405;NO)、次の未処理の画素領域についてステップS402から処理を繰り返す。

30

【0099】

一方、注目サブイメージの全画素領域についてステップS404の処理を終えている場合(ステップS405;YES)、次に全サブイメージについて上記処理を終えたか判別する(ステップS406)。未処理のサブイメージが有る場合(ステップS406;NO)、次の未処理のサブイメージについてステップS401から処理を繰り返す。

【0100】

一方、注目サブイメージについて処理を終えている場合(ステップS406;YES)、次にサブ画素奥行き係数選択部3260が各サブ画素の奥行き係数を決定するための処理(奥行き係数決定処理)を開始する(ステップS407)。

【0101】

ステップS407で実行される奥行き係数決定処理を、図12を参照して説明する。奥行き係数決定処理では、まずサブ画素奥行き係数選択部3260がLFIに含まれる全てのサブ画素から注目画素を選択する(ステップS601)。そして、サブ画素奥行き係数選択部3260は注目画素の信頼係数tpを算出する(ステップS602)。信頼係数は、注目画素のヒストグラムの投票結果が注目画素の奥行き係数を定めるためにどの程度信頼できるかを示す係数であり、ここではヒストグラム上の奥行き係数の最大得票数をnMAXとし、ヒストグラムの総投票数をnALLとして、nMAXをnALLで除算した値とする。

40

【0102】

なお、信頼係数は注目ヒストグラムの最大得票数を獲得した奥行き係数が、他の奥行き

50

係数の投票数と比べて信頼できる度合いを示す任意の数値で代替可能である。例えば、ヒストグラムの分散の逆数を用いてもよい。

【0103】

そして、サブ画素奥行き係数選択部3260は算出した信頼係数 t_p が、設定上定められた閾値以上であるか判別する(ステップS603)。閾値以上である場合(ステップS603; YES)、最多得票の奥行き係数を注目画素の奥行き係数とする(ステップS604)。

【0104】

一方、閾値より小さい場合(ステップS603; NO)、投票結果は奥行き係数を定めるために十分な信用性を持たないので、注目画素の奥行き係数をUNKNOWNとする(ステップS605)。

10

【0105】

この処理の例を図13を参照して説明する。図13(a)のLFI上の画素のうち、図13(b)に示す画素 i のヒストグラムでは、総得票数が11であり、奥行き係数2が最多得票数(6)を獲得している。信頼係数 t_p ($6/11$)が閾値 t_h (0.5)以上なので、画素 i の奥行き係数 d_p は2となる。一方、図13(c)に示す画素 i_i のヒストグラムでは、総得票数が13であり、最多得票数は奥行き係数7の得票数(4)である。このとき、信頼係数 t_p ($4/13$)は閾値 t_h (0.5)より小さいので、注目画素の奥行き係数 d_p は未知であることを示すUNKNOWNとなる。

【0106】

20

注目画素の奥行き係数を定めると、次に全サブ画素について上記処理を終えたか判別する(ステップS606)。未処理のサブ画素が存在する場合(ステップS606; NO)、次の未処理のサブ画素についてステップS601から処理を繰り返す。一方、未処理のサブ画素がない場合(ステップS606; YES)全てのサブ画素について奥行き係数が定義されたこととなる。LFI上の全ての画素の画素値を、奥行き係数を示す値としたライトフィールド奥行き画像(LFDI)の例を図18(a)に示す。この時点のLFDIは奥行きの境界が乱れているため、ステップS607でフィルタを適用する処理(奥行きフィルタ処理)を実行して画像の精度を高める。

【0107】

ステップS607で実行される奥行きフィルタ処理を、図14を参照して説明する。なお、図15は奥行きフィルタ処理の具体例を示す。処理がステップS607に至ると、奥行きフィルタ実行部3270が図14に示す奥行きフィルタ処理を開始する。奥行きフィルタ処理では、まず奥行きフィルタ実行部3270がLFDI上の画素を注目画素として選択する(ステップS701)。図15では、注目画素を太線で囲った正方形で示す。

30

【0108】

そして、奥行きフィルタ実行部3270は注目画素を中心とした周辺領域を定義する。周辺領域は任意に設定可能だが、ここでは注目画素に隣接する8つの画素から構成される領域(図15(a)の点線領域)とする。奥行きフィルタ実行部3270は周辺領域の画素(周辺サブ画素)から注目周辺サブ画素を選択する(ステップS702)。

【0109】

40

そして、奥行きフィルタ実行部3270は注目周辺サブ画素の奥行き係数がUNKNOWNであるか判別する(ステップS703)。UNKNOWNである場合は(ステップS703; YES)、その画素については参考としないので、ステップS708までスキップする。図15の例では、図15(a)の i で示される黒の画素がUNKNOWNである画素である。この画素については後の処理の対象としない。

【0110】

一方、UNKNOWNでない場合は(ステップS703; NO)、奥行きフィルタ実行部3270は次に注目画素と注目周辺サブ画素の画素値の差が設定上定められた閾値以上であるか否か判別する(ステップS704)。

【0111】

50

閾値以上である場合（ステップ S 7 0 4 ; Y E S ）、注目画素と注目周辺サブ画素との対応は弱いとの判断の元、この組み合わせの重みを 1 と設定する（ステップ S 7 0 6 ）。図 1 5 (a) の例では、i i で示す白の画素、i v で示す斜線の画素、が閾値以上の画素である。この画素 1 つについて、重みに応じた 1 票をヒストグラムに投票する。

閾値より小さい場合（ステップ S 7 0 5 ; N O ）、注目画素と注目周辺サブ画素との対応は強いとの判断の元、この組み合わせの重みを 2 と設定する（ステップ S 7 0 6 ）。図 1 5 (a) の例では、i i i で示す縦横線の画素が閾値より小さい画素である。この画素 1 つについて、2 票をヒストグラムに投票する。

なお、重み付けの設定は上記に限らず、注目画素と注目周辺サブ画素との対応の確かさが強い場合により強い影響が出るような任意の重み付け設定と代替可能である。

10

【 0 1 1 2 】

そして、注目画素の新たなヒストグラムに、重みの数だけ奥行き係数を投票する。（ステップ S 7 0 7 ）。投票結果のヒストグラムの例を図 1 5 (b) に示す。

【 0 1 1 3 】

次に、周辺領域の全画素について上記処理済みであるか判別し（ステップ S 7 0 8 ）、未処理の周辺サブ画素が有る場合（ステップ S 7 0 8 ; N O ）、次の周辺サブ画素についてステップ S 7 0 2 から処理を繰り返す。

【 0 1 1 4 】

一方、全周辺サブ画素が処理済である場合（ステップ S 7 0 8 ; Y E S ）、次に投票結果に基づき出力する L F D I の奥行き係数を更新する。具体的には、投票されたヒストグラムの中央値を注目画素の新たな奥行き係数とする（ステップ S 7 0 9 ）。図 1 5 (b) のヒストグラムでは、1 0 の投票がされ、中央値（投票したサンプルを奥行きでソートした場合の中央の値）は 4 である。そこで、図 1 5 (c) のように注目画素の奥行き画素値を 4 とする。なお、この更新結果は全てのフィルタ処理が終わった後に反映されるとしてもよい。

20

【 0 1 1 5 】

そして、全てのサブ画素についてフィルタ処理を終えたか判別し（ステップ S 7 1 0 ）、未処理のサブ画素が有る場合には（ステップ S 7 1 0 ; N O ）、次の画素を注目画素としてステップ S 7 0 1 から処理を繰り返す。

一方、全サブ画素が処理済の場合には（ステップ S 7 1 0 ; Y E S ）、奥行きフィルタ処理を終了する。

30

【 0 1 1 6 】

図 1 2 に戻って、ステップ S 6 0 7 で奥行きフィルタ処理を終えると、奥行き係数決定処理を終了する。

図 8 に戻って、ステップ S 4 0 7 で奥行き係数決定処理が終了すると、奥行き係数算出処理は終了する。

【 0 1 1 7 】

図 5 に戻って、L F D I の生成が終わると、L F D I から出力画像（奥行き画像）を再構成する処理（画像生成処理）を実行する（ステップ S 1 0 5 ）。本実施形態では、画像生成処理は図 1 6 に示す画像生成処理 1 である。

40

【 0 1 1 8 】

ステップ S 1 0 5 で実行される画像生成処理 1 を、図 1 6 を参照して説明する。

ステップ S 1 0 5 に至ると、奥行き画像生成部 3 3 0 が図 1 6 に示す画像生成処理を開始する。まず、奥行き画像生成部 3 3 0 は再構成設定を取得する（ステップ S 8 0 1 ）。そして、ひな形定義部 3 3 1 0 が、再構成設定が指定するメインレンズと再構成面 R F との距離を特定し、再構成面 R F に再構成画像のひな形（原型）を定義する（ステップ S 8 0 2 ）。

【 0 1 1 9 】

そして注目画素選択部 3 3 2 0 が、再構成画像を構成する画素である再構成画素の一つを注目画素とする（ステップ S 8 0 3 ）。このとき、注目画素は図 1 7 における再構成面

50

R F 上の注目部位 P に対応する。

【 0 1 2 0 】

さらに、対応画素抽出部 3 3 3 0 が注目画素と対応するサブイメージ上の画素（対応画素）を光線追跡により抽出する（ステップ S 8 0 4）。

【 0 1 2 1 】

光線追跡を図 1 7 を参照して説明する。

注目部位 P からの光線は、メインレンズの主点を通過してマイクロレンズアレイの到達位置（図 1 7 のサブレンズ上の M L B C）に到達する。M L B C のサブレンズ上の位置は、撮影設定に基づいて求めることができる。M L B C を中心に、注目部位 P からの光が届いた範囲（メインレンズブラー M L B、図 1 7 の網線領域）を、レンズの特性からもとめる。メインレンズブラー M L B の直径は、メインレンズ M L と再構成面 R F との距離 a_1 、メインレンズと結像面 M I P との距離 b_1 （ a_1 とメインレンズの焦点距離 f_{ML} から算出）、結像面 M I P とサブレンズアレイ S L A との距離 a_2 と、メインレンズの有効径 E D と、から三角形の相似を用いて算出する。

【 0 1 2 2 】

対応画素抽出部 3 3 3 0 は、サブレンズアレイ S L A に含まれるサブレンズ S L の内、一部又は全てがメインレンズブラー M L B に含まれるサブレンズ S L を特定する。そして、対応画素抽出部 3 3 3 0 は、特定されたサブレンズ S L を順次注目レンズとして選択する。

【 0 1 2 3 】

次に、対応画素抽出部 3 3 3 0 は、注目画素からの光線が、選択されたサブレンズ S L によって結像される位置にある、サブ画像上の画素（対応画素）を抽出する。

【 0 1 2 4 】

具体的には、対応画素（到達点 P E に対応）を以下の手順で算出する。

まず、再構成面 R F に対応するメインレンズの焦点面までの距離 b_1 は、既知の数値 a_1 及びメインレンズの焦点距離 f_{ML} を用い、次の式（1）から算出することができる。

【 0 1 2 5 】

【数 1】

$$b_1 = \frac{a_1 - f_{ML}}{a_1 \times f_{ML}} \quad \dots (1)$$

【 0 1 2 6 】

また、 a_2 は既知の数値 c_1 から、式（1）を用いて算出した b_1 を減算することで求めることができる。

さらに、被写体距離 a_1 と、距離 b_1 と、既知の数値 x （注目部位 P と光軸 O A との距離）を以下の式（2）に用いて、注目部位 P がメインレンズ M L を通して結像する点（結像点 P F）と光軸 O A との距離 x' を算出する。

$$x' = x \cdot b_1 / a_1 \dots (2)$$

さらに、光軸 O A から注目サブレンズ S L の主点までの距離 d_1 、上記の式（2）を用いて算出された距離 x' 、サブレンズアレイ S L A から撮像面 I E までの距離 c_2 、及び距離 a_2 を以下の式（3）に用いて、到達点 P E と光軸 O A との距離 x'' を算出する。

【 0 1 2 7 】

【数 2】

$$x'' = (d_1 - x') \times \frac{c_2}{a_2} + d_1 \quad \dots (3)$$

【 0 1 2 8 】

Y 軸方向にも同様に計算し、到達点 P E の位置を特定する。L F D I の例を図 1 8（a

10

20

30

40

50

)に示す。また、LFDIの各サブイメージSI上の対応画素の配置例を、図18(b)に示す。図18(b)では、中央のサブイメージがMLBCに対応するサブイメージであり、周辺のサブイメージ上で白抜きの正方形で示した対応画素がサブイメージ上でずれた位置にあることが示されている。

【0129】

ステップS804で対応画素を抽出すると、各対応画素の奥行き係数を取得する(ステップS805)。そして、画素値決定部3340が取得した対応画素の奥行き係数から注目画素の画素値を決定する(ステップS806)。具体的には、抽出した対応画素の奥行き係数の最頻値を選択して、その最頻値に対応する画素値を注目画素の画素値とする。

【0130】

そして、全ての再構成画素について画素値を定めたか判別し(ステップS807)、未処理の再構成画素が有る場合には(ステップS807;NO)、次の再構成画素についてステップS803から処理を繰り返す。

一方、全再構成画素が処理済の場合には(ステップS807;YES)、図18(c)に示したような、再構成面上での被写体の奥行きを示す奥行き画像DIを生成したので、画像生成処理1を終了する。

【0131】

図5に戻って、出力画像(奥行き画像DI)の再構成が終わると、出力部340が出力画像を画像記憶部430に出力する(ステップS106)。

【0132】

その後、デジタルカメラ1は画像記憶部430に記憶された再構成画像を表示部520に出力する。あるいは、I/O部510を用いて外部装置に出力しても良い。

【0133】

以上説明したとおり、本実施形態の画像生成装置30によれば、LFI上の被写体の奥行きを推定して、推定結果に基づいて再構成面上で被写体の奥行きを示す奥行き画像を生成して出力することが出来る。

被写体の奥行きの推定結果は、再構成画像のノイズ除去・ボケ付加に利用できる他、被写体の3次元モデルの構成や、近すぎる物体の存在を検知したことを察知する等、さまざまな目的で利用できる。

【0134】

本実施形態の画像生成装置30は、サブイメージ上の同一の被写体に対応すると見なした領域を定義し、領域毎にその被写体がサブイメージ上でどの程度ずれているか、領域単位で奥行き係数を算出して、対応領域を定める。そして、画素領域とその対応領域とのズレから奥行き係数を算出して奥行き画像を生成する。そのため、画素単位で奥行きを求める場合に比べ、ノイズやオクリュージョン、非ランベルト面等の奥行き推定を困難とする因子があった場合でも奥行き推定を高い精度で行うことが出来る。

【0135】

また、画像生成装置30は周辺サブイメージの、奥行き係数に該当する位置の領域(対応候補領域)のそれぞれについてSSDを算出し、このSSDを用いて対応領域を定義することができる。このため、画素領域と対応候補領域の画素値の差に基づいて奥行き係数を算出することができる。対応候補領域の中から領域画素値との差異が小さい領域を対応領域として選択することが出来る。そのため、画素値を反映した奥行き係数を求めることが出来る。

【0136】

さらに、本実施形態では各奥行き係数について算出したSSDを加算したSSSDを用いて領域奥行き係数を算出する。このため、複数の周辺のサブイメージから得られる情報を総合的に判断して領域の奥行き係数を算出することが出来、結果奥行き推定の精度が高い。

【0137】

さらに、奥行きフィルタを用いてLFDIの奥行き係数を平滑化しているため、奥行き係数の境界線をLFDI上でなだらかにすることができる。そのため、出力画像の奥行き

10

20

30

40

50

画像のノイズを少なくすることができる。

【 0 1 3 8 】

(実施形態 2)

本発明の実施形態 2 に係るデジタルカメラ及び画像生成装置について説明する。本実施形態のデジタルカメラ 1 は、画像生成装置が図 1 9 に示す画像生成装置 3 1 である他は、実施形態 1 に係るデジタルカメラ 1 と同様である。本実施形態では、再構成設定には奥行き推定結果に基づいて補正した、被写体の再構成画像を出力する旨の情報が含まれるとする。

【 0 1 3 9 】

本実施形態の画像生成装置 3 1 は、図 1 9 に示すように、入力部 3 1 0 と、奥行き推定部 3 2 0 と、再構成画像生成部 3 3 1 と、出力部 3 4 0 と、から構成される。入力部 3 1 0 と、奥行き推定部 3 2 0 と、出力部 3 4 0 と、は実施形態 1 に係る画像生成装置 3 0 の同名の部位と同一である。

【 0 1 4 0 】

再構成画像生成部 3 3 1 は、L F I と、再構成設定と、撮影設定と、奥行き推定部 3 2 0 が推定した L F I の各画素の奥行き (L F D I) に基づいて被写体を再構成した再構成画像を生成する。再構成画像生成部 3 3 1 は、このような処理のために、ひな形定義部 3 3 1 0 と、注目画素選択部 3 3 2 0 と、対応画素抽出部 3 3 3 0 と、奥行き係数決定部 3 3 4 1 と、画素値算出部 3 3 5 0 と、再構成フィルタ実行部 3 3 6 0 と、を含む。

【 0 1 4 1 】

ひな形定義部 3 3 1 0 と、注目画素選択部 3 3 2 0 と、対応画素抽出部 3 3 3 0 と、は実施形態 1 に係る同名の部位と同一である。

【 0 1 4 2 】

奥行き係数決定部 3 3 4 1 は、実施形態 1 に係る画素値決定部 3 3 4 0 が、奥行き画像の奥行き係数を決定する方法と同様の方法で再構成画素の奥行き係数を決定する。

【 0 1 4 3 】

画素値算出部 3 3 5 0 は、対応画素抽出部 3 3 3 0 が抽出した注目画素の画素値に基づいて、注目画素の画素値を算出する。具体的には、画素値算出部 3 3 5 0 は注目画素選択部 3 3 2 0 と対応画素抽出部 3 3 3 0 と連動して、以下の手順で画素値を算出する。

1) 注目画素からの光線がメインレンズの主点を通過してサブレンズアレイに到達した位置 (図 1 7 の M L B C) を特定する。

2) 特定された位置を中心に再構成面に対応するメインレンズブラー M L B を計算する。

3) サブレンズアレイに含まれるサブレンズの内、一部又は全てがメインレンズブラーに含まれるサブレンズを特定する。

4) 特定されたサブレンズの内の一つを選択する。

5) 選択されたサブレンズとメインレンズブラーとが重なっている面積を計算し、これをマイクロレンズの面積で割って重み付け係数とする。

6) 注目画素からの光線が、選択されたサブレンズによって結像される位置にある、サブ画像上に画素値を取得する。

7) この取得された画素値に先の重み付け係数をかけたものを補正画素値とする。

8) 一部又は全てがメインレンズブラーに含まれるサブレンズの全てにわたって補正画素値を計算し総和を取る。

9) 補正画素値の総和を、重なり面積の総和で除算して再構成したい画像の画素値とする。

【 0 1 4 4 】

再構成フィルタ実行部 3 3 6 0 は、再構成設定が指定する再構成面とメインレンズの距離と、各再構成画素の奥行きと、の差に応じてフィルタ処理 (再構成フィルタ) を実行する。

【 0 1 4 5 】

10

20

30

40

50

再構成画像について実行するフィルタ処理の例を、図20を参照して説明する。図20(a)は、フィルタ処理前の再構成画像を示す。R I 1は手前(左下のノート)の部分再構成面とした画像であり、R I 2は上部の背景を再構成画像とした例である。R I 1では奥の部分に、R I 2では手前の部分にノイズが生じている。

【0146】

R I 1及びR I 2について奥行きを推定した結果(奥行き画像D I)を図20(b)に示す。ここでは、R I 1とR I 2で同様の奥行き画像D Iが得られたものとする。右は拡大図である。奥行き画像は奥行き係数が手前である画素ほど明るくなっている。図20(b)では、白の四角形で示された3つの画素のうち、1番の画素が一番奥に、2番の画素が中央部に、3番の画素が最も手前にある被写体に対応すると推定されている。

10

【0147】

再構成画像の各画素についてボケ付加を実行した結果が図20(c)の画像R I 3とR I 4である。R I 3はR I 1に、R I 4はR I 2に、それぞれ再構成距離に応じたフィルタを適用した結果の画像である。

フィルタ処理にあたって、奥行きテーブルを参照し、再構成距離が対応する奥行き係数と、再構成画素の奥行き係数との差が所定の閾値以上あった場合に、設定されたボケ強度に従ってボケ付加処理を行う。ボケ付加処理には例えばガウシアンフィルターを用いる。

【0148】

ボケ付加にあたって、再構成距離より手前にある画素が奥にある画素ににじまないように、注目画素より奥の画素だけをぼかしに使用し、手前の画素は使用しない。例えば、画素2にボケ付加を行うにあたって、所定のボケ付加適用領域(図20(b)右側の大きい正方形の領域)内の画素のうち、より奥に対応する画素(1番の画素)はぼかしに加えるが、手前にある画素(3番の画素)はぼかしに加えない。また、より再構成距離から遠い画素については強く、近い画素については弱く、ボケを付加するようにボケ付加の強度を調整する。そして、フィルタ後の再構成画素を出力部340に伝達する。

20

【0149】

ここで、画像生成装置31が実行するL F Iから再構成画像を生成して出力するための処理(画像出力処理、図5)について説明する。画像生成装置31が実行する画像出力処理は、ステップS105で実行する画像生成処理が、図21で示す画像生成処理2であることを除いて、実施形態1にかかる同名の処理と同じである。

30

【0150】

本実施形態に係る画像生成処理2を、図21を参照して説明する。画像生成処理2では、再構成画像生成部331が、ステップS901からステップS904までを図16の画像生成処理1のステップS801からステップS804までと同様に実行する。

【0151】

その後、ステップS905で対応画素の画素値を、ステップS906で対応画素の奥行き係数を取得する。

【0152】

そして、図16の画像生成処理1のステップS805で奥行き画像の画素の奥行き係数を決定した同様の方法で、奥行き係数決定部3341が再構成画素の奥行き係数を決定する(ステップS907)。

40

さらに、画素値算出部3350が、上述した重み付け加算を用いた方法で注目画素の画素値を算出する(ステップS908)。

【0153】

次に、全再構成画素について上記処理が終了したか判別し(ステップS909)、未処理の画素がある場合(ステップS909; NO)、次の画素についてステップS903から処理を繰り返す。

一方、全画素処理済である場合(ステップS909; YES)、再構成フィルタ実行部3360が上述の方法でフィルタ処理を実行する。

そして、画像生成処理2は終了する。

50

【 0 1 5 4 】

以上説明したとおり、本実施形態の画像生成装置 3 1 によれば、再構成画素に対応する被写体の奥行きを推定し、推定結果を用いてフィルタ処理を施す。このため、画質の高い再構成画像を生成して出力することができる。

【 0 1 5 5 】

特に、再構成距離と再構成画素の奥行きとの差を求め、差が小さい部分についてはボケを付加せず、差が大きい部分にボケを付加するため、フォーカスした部分はシャープに、フォーカス面から遠い部分はぼかすことができる。このため、奥行きに応じたボケ味を付加した、ユーザの満足度が高い画像を生成できる。

【 0 1 5 6 】

また、距離の差が大きいほど強いボケを加え、小さい場合には弱いボケを加えるため、奥行きと再構成面との差を反映してボケ味が異なる、ユーザの満足度が高い画像を生成できる。

さらに、ボケ付加に際して、手前にある画素についてはぼかしに加えない。そのため、手前にある物体の色が奥ににじむことがなく、奥行きを反映した画質が高い画像を生成して出力できる。

【 0 1 5 7 】

(変形例)

本発明は、上記実施形態に限定されず、さまざまな変形が可能である。

例えば、実施形態 1 乃至 2 では、周辺サブイメージの想定範囲について画像ズレと S S D との対応 (図 9 (c) のグラフ) を求めて、奥行き係数のそれぞれについて S S S D を求めて対応領域を定義した。しかし、対応領域を定義する方法はこれに限られず、各周辺サブイメージについてそれぞれ最小の S S D を持つ奥行き係数に対応する領域を対応領域として、各画素の奥行き係数を投票してもよい。

【 0 1 5 8 】

また、実施形態 1 乃至 2 では、奥行きフィルタを L F D I に適用して、その後再構成画像を生成するとしたが、L F D I には奥行き係数に関するフィルタを適用せず、再構成画像上で奥行き係数にかかるフィルタ処理を実行してもよい。

【 0 1 5 9 】

また、上記実施形態 1 乃至 2 では、メインレンズは単焦点レンズであるとしたが、メインレンズはこれに限らず焦点距離を変更可能なレンズであるとしてもよい。このとき、奥行きテーブルを複数用意して撮影パラメータに応じた奥行きテーブルを使用するとしてもよい。具体的には、撮影設定が示すメインレンズの焦点距離と、その場合に使用する奥行きテーブルとを対応付けたテーブルを用意し、画像出力処理毎に、取得した撮影設定を引数として最適な奥行きテーブルを抽出して使用するものとする。

【 0 1 6 0 】

また、上記実施例では、画像をグレースケール画像であるとして説明したが、本発明の処理対象となる画像はグレースケール画像に限らない。例えば、画像は各画素に R (レッド) 、 G (グリーン) 、 B (ブルー) 、 の三つの画素値が定義された R G B 画像であってよい。この場合、画素値を R G B のベクトル値として同様に処理する。また、R、G、B、の各値をそれぞれ独立したグレースケール画像として、それぞれ上記処理を行ってもよい。この構成によれば、カラー画像であるライトフィールド画像からカラー画像である再構成画像を生成できる。

【 0 1 6 1 】

その他、前記のハードウェア構成やフローチャートは一例であり、任意に変更および修正が可能である。

【 0 1 6 2 】

情報処理部 3 1 a 、主記憶部 3 2 、外部記憶部 3 3 、などから構成される再構成画像生成のための処理を行う中心となる部分は、専用のシステムによらず、通常のコンピュータシステムを用いて実現可能である。たとえば、前記の動作を実行するためのコンピュータ

10

20

30

40

50

プログラムを、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROMなど）に格納して配布し、前記コンピュータプログラムをコンピュータにインストールし、画像再構成のための処理を行う中心となる部分を構成してもよい。また、インターネットなどの通信ネットワーク上のサーバ装置が有する記憶装置に前記コンピュータプログラムを格納しておき、通常のコンピュータシステムがダウンロードなどすることで再構成画像生成装置を構成してもよい。

【0163】

再構成生成装置の機能を、OS（オペレーティングシステム）とアプリケーションプログラムの分担、またはOSとアプリケーションプログラムとの協働により実現する場合には、アプリケーションプログラム部分のみを記録媒体や記憶装置に格納してもよい。

10

【0164】

また、搬送波にコンピュータプログラムを重畳し、通信ネットワークを介して配信することも可能である。たとえば、通信ネットワーク上の掲示板(BBS: Bulletin Board System)に前記コンピュータプログラムを掲示し、ネットワークを介して前記コンピュータプログラムを配信してもよい。そして、このコンピュータプログラムを起動し、OSの制御下で、他のアプリケーションプログラムと同様に実行することにより、前記の処理を実行できるように構成してもよい。

【0165】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は係る特定の実施形態に限定されるものではなく、本発明には、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲が含まれる。以下に、本願出願の当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

20

【0166】

（付記1）

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定装置であって、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記奥行き推定の対象となる対象被写体に対応する画素領域を定義する画素領域定義手段と、

前記画素領域定義手段によって定義された画素領域の、当該画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、当該注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の当該画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記対象被写体の奥行きを推定する奥行き推定手段と、

30

を備えることを特徴とする奥行き推定装置。

【0167】

（付記2）

前記周辺サブイメージ上の対応領域を、前記注目サブイメージの画素領域の画素値と、前記周辺サブイメージの画素値と、に基づいて抽出する対応領域抽出手段を更に備え、

前記奥行き推定手段は、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域抽出手段によって抽出された対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記対象被写体の奥行きを推定する、

40

ことを特徴とする付記1に記載の奥行き推定装置。

【0168】

（付記3）

前記ライトフィールド画像から被写体の像を再構成した再構成画像とその画素である再構成画素を定義する再構成画像定義手段と、

前記画素領域の前記注目サブイメージ上の位置と、前記対応領域の前記周辺サブイメージ上の位置と、の位置のズレに基づいて、前記画素領域に含まれるサブ画素の奥行き係数を求める奥行き係数獲得手段と、

を更に備え、

前記奥行き推定手段は、

50

前記奥行き係数獲得手段が求めた各サブ画素の奥行き係数に基づいて、前記再構成画像の画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、
ことを特徴とする付記 1 又は 2 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 6 9 】

(付記 4)

前記再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出する対応画素抽出手段を備え、

前記奥行き推定手段は、

前記対応画素抽出手段によって抽出された対応画素について前記奥行き係数獲得手段が求めた奥行き係数に基づいて、前記再構成画素の奥行き係数を定めることにより、前記被写体の奥行きを推定する、

ことを特徴とする付記 3 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 7 0 】

(付記 5)

前記周辺サブイメージ上の視差に応じた複数の位置に対応候補領域を定義し、当該対応候補領域のそれぞれについて、前記サブイメージの画素領域との対応の確かさを示す対応係数を求める対応係数獲得手段を更に備え、

前記対応領域抽出手段は、

前記対応係数獲得手段が求めた対応係数に基づいて、前記周辺サブイメージ上の対応領域を抽出する、

ことを特徴とする付記 2 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 7 1 】

(付記 6)

前記対応係数獲得手段は、

異なる視差毎に複数の前記周辺サブイメージのそれぞれに前記対応候補領域を定義し、当該対応候補領域のそれぞれについて前記対応係数を求め、

前記対応領域抽出手段は、

前記対応候補領域のそれぞれについて求めた対応係数から、前記視差毎に前記対応係数の確からしさを示す尤度係数を求め、当該尤度係数が最も確からしい対応係数に対応する対応候補領域を前記対応領域として抽出する、

ことを特徴とする付記 5 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 7 2 】

(付記 7)

前記対応係数獲得手段が求める対応係数は、前記画素領域と前記対応候補領域との画素値の差を示す係数である、

ことを特徴とする付記 5 又は 6 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 7 3 】

(付記 8)

前記奥行き係数獲得手段は、

前記サブ画素の奥行き係数を、当該サブ画素から所定領域に含まれるサブ画素の奥行き係数に基づき補正する、

ことを特徴とする付記 3 又は 4 に記載の奥行き推定装置。

【 0 1 7 4 】

(付記 9)

ライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成装置であって、

付記 1 乃至 8 の何れか 1 つに記載の奥行き推定装置と、

前記奥行き推定装置によって推定された被写体の奥行きと前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画像を構成する再構成画素の画素値を補正する再構成画像補正手段と、

10

20

30

40

50

を備えることを特徴とする再構成画像生成装置。

【0175】

(付記10)

前記再構成画像補正手段は、前記補正として、対応する被写体の奥行きと前記再構成距離との距離の差が所定の閾値よりも大きい再構成画素に、当該再構成画素から所定範囲にある再構成画素の画素値に基づいてボケを付加する、

ことを特徴とする付記9に記載の再構成画像生成装置。

【0176】

(付記11)

前記再構成画像補正手段は、前記ボケを付加するにあたって、対応する被写体の奥行きが、前記再構成距離よりも手前である被写体の再構成画素については、前記ボケを付加する処理の処理対象としない、

ことを特徴とする付記10に記載の再構成画像生成装置。

10

【0177】

(付記12)

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定する奥行き推定方法であって、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記奥行き推定の対象となる対象被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

前記定義された画素領域の、当該画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、当該注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の当該画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記対象被写体の奥行きを推定するステップと、を含むことを特徴とする奥行き推定方法。

20

【0178】

(付記13)

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成する再構成画像生成方法であって、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記奥行き推定の対象となる対象被写体に対応する画素領域を定義するステップと、

前記定義された画素領域の、当該画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、当該注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の当該画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、当該画素領域を構成する各画素について前記対象被写体の奥行き係数を求めるステップと、

30

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出するステップと、

前記求めた奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を設定するステップと、

前記再構成画素の奥行き係数が示す被写体までの距離と前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正するステップと、

前記再構成画素の前記補正後の画素値を用いて再構成画像を生成するステップと、を含むことを特徴とする再構成画像生成方法。

40

【0179】

(付記14)

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から被写体の奥行きを推定するため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記奥行き推定の対象となる対象被写体に対応する画素領域を定義する機能、

前記定義された画素領域の、当該画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、当該注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の当該画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、前記対象被写体の奥行きを推定する機能、

50

を実現させることを特徴とするプログラム。

【 0 1 8 0 】

(付 記 1 5)

複数のサブイメージから構成されるライトフィールド画像から、所定の再構成距離に合焦した再構成画像を生成するため、コンピュータに、

前記ライトフィールド画像のサブイメージ上に、前記奥行き推定の対象となる対象被写体に対応する画素領域を定義する機能、

前記定義された画素領域の、当該画素領域を含む注目サブイメージ上の位置と、当該注目サブイメージの周辺に配置された周辺サブイメージ上の当該画素領域に対応する対応領域の位置と、の位置のズレに基づいて、当該画素領域を構成する各画素について前記対象被写体の奥行き係数を求める機能、

10

前記再構成画像を構成する再構成画素に対応する前記ライトフィールド画像上の対応画素を抽出する機能、

前記求めた奥行き係数に基づいて、前記対応画素と対応する前記再構成画素の奥行き係数を設定する機能、

前記再構成画素の奥行き係数が示す被写体までの距離と前記再構成距離との距離の差に基づき、前記再構成画素の画素値を補正する機能、

前記再構成画素の前記補正後の画素値を用いて再構成画像を生成する機能、

を実現させることを特徴とするプログラム。

【 符号の説明 】

20

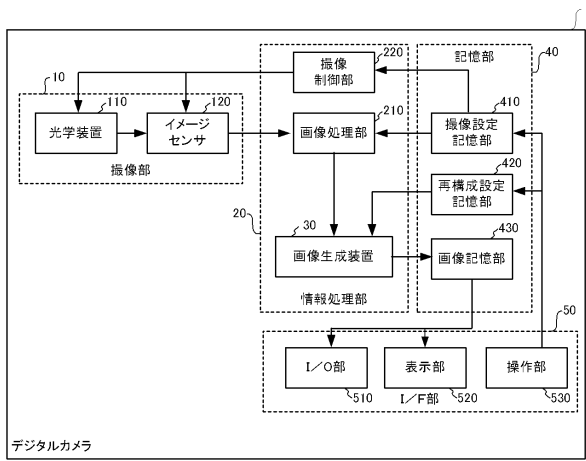
【 0 1 8 1 】

1 ... デジタルカメラ、 1 0 ... 撮像部、 1 1 0 ... 光学装置、 1 1 1 ... シャッタ、 1 2 0 ... イメージセンサ、 2 0 ... 情報処理部、 3 0 ... 画像生成装置、 3 1 ... 画像生成装置、 3 1 a ... 情報処理部、 3 2 ... 主記憶部、 3 3 ... 外部記憶部、 3 6 ... 入出力部、 3 7 ... 内部バス、 3 8 ... プログラム、 2 1 0 ... 画像処理部、 2 2 0 ... 撮像制御部、 3 1 0 ... 入力部、 3 1 1 0 ... L F I 取得部、 3 1 2 0 ... 再構成設定取得部、 3 1 3 0 ... 撮影設定取得部、 3 2 0 ... 奥行き推定部、 3 2 1 0 ... 領域定義部、 3 2 2 0 ... 注目領域選択部、 3 2 3 0 ... 周辺サブイメージ選択部、 3 2 4 0 ... S S D 算出部、 3 2 5 0 ... 奥行き係数投票部、 3 2 6 0 ... サブ画素奥行き係数選択部、 3 2 7 0 ... 奥行きフィルタ実行部、 3 3 0 ... 奥行き画像生成部、 3 3 1 ... 再構成画像生成部、 3 3 1 0 ... ひな形定義部、 3 3 2 0 ... 注目画素選択部、 3 3 3 0 ... 対応画素抽出部、 3 3 4 0 ... 画素値決定部、 3 3 4 1 ... 奥行き係数決定部、 3 3 5 0 ... 画素値算出部、 3 3 6 0 ... 再構成フィルタ実行部、 3 4 0 ... 出力部、 d 1 ~ d 8 ... ずれ方向、 M i n D ... S S S D が最小の奥行き係数、 4 0 ... 記憶部、 4 1 0 ... 撮像設定記憶部、 4 2 0 ... 再構成設定記憶部、 4 3 0 ... 画像記憶部、 5 0 ... インターフェース部 (I / F 部)、 5 1 0 ... I / O 部、 5 2 0 ... 表示部、 5 3 0 ... 操作部、 L F I ... ライトフィールド画像、 L F D I ... ライトフィールド奥行き画像、 O A ... 光軸、 O B ... 被写体、 P O B ... 被写体の部分、 P ... 注目部位、 M L ... メインレンズ、 P F ... 結像点、 M I P ... メインレンズ結像面、 P E ... 到達点、 I E ... 撮像面、 S L A ... サプレズアレイ、 S L ... サプレズ、 M L B ... メインレンズブラー、 M L B C ... メインレンズブラー中心、 S I ... サブイメージ、 S _{1 1} ~ S _{M N} ... サブイメージ、 S I 1 ~ S I 8 ... サブイメージ、 D I ... 奥行き画像、 R I 1、 R I 2 ... 再構成フィルタ実行前の再構成画像、 R I 3、 R I 4 ... 再構成フィルタ実行後の再構成画像、 R F ... 再構成面

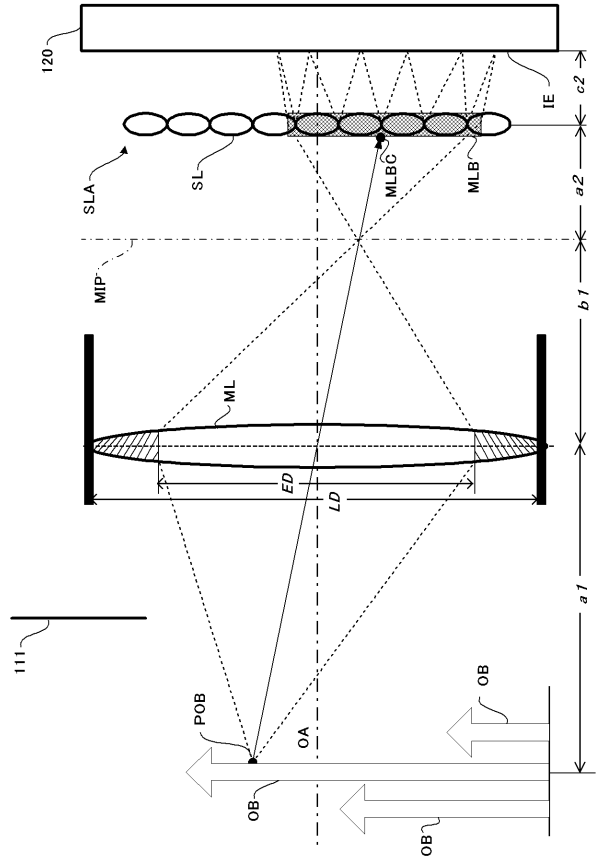
30

40

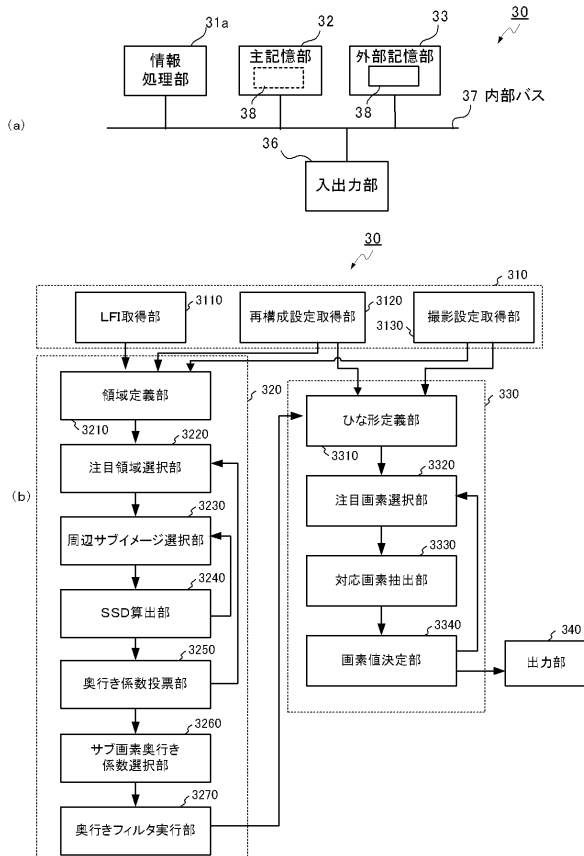
【図1】



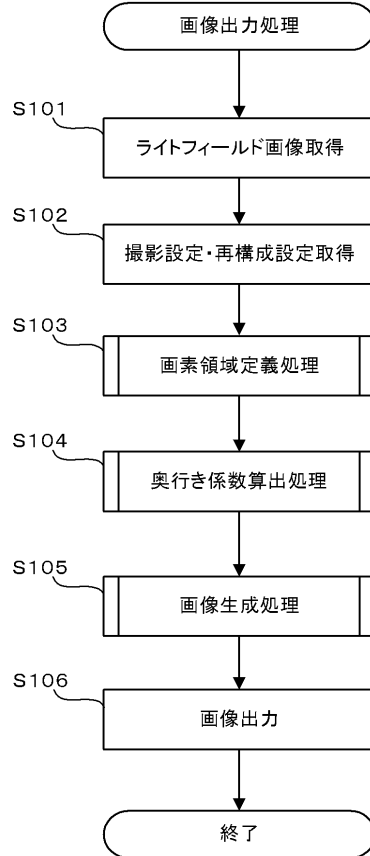
【図2】



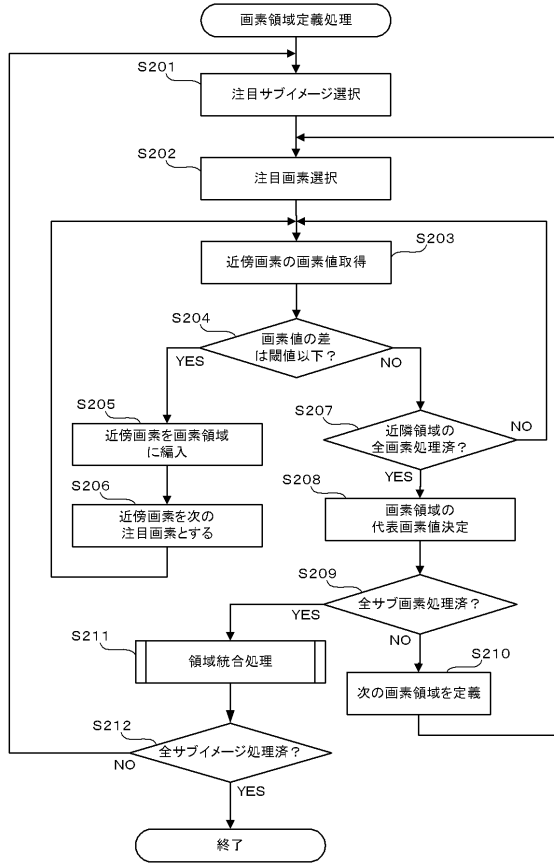
【図4】



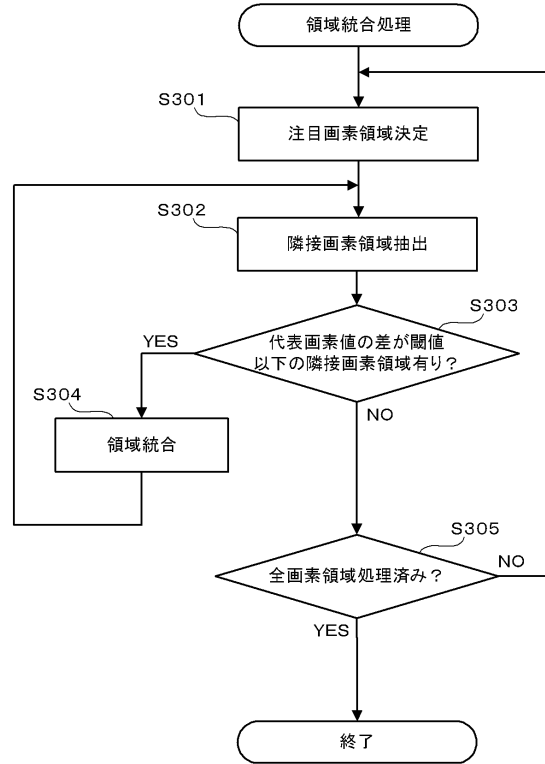
【図5】



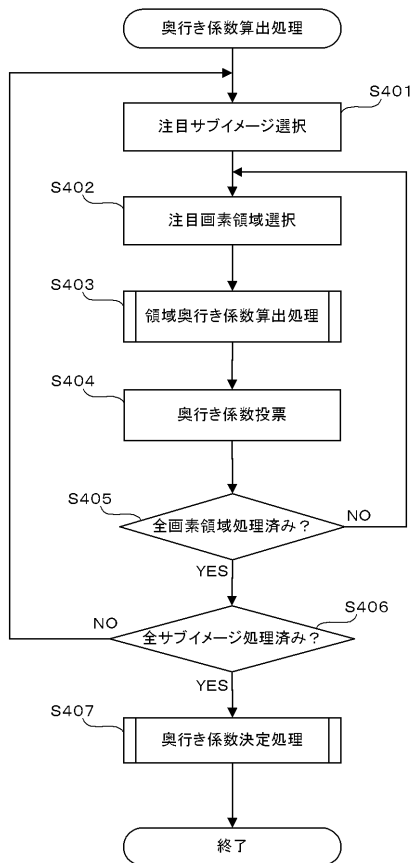
【図6】



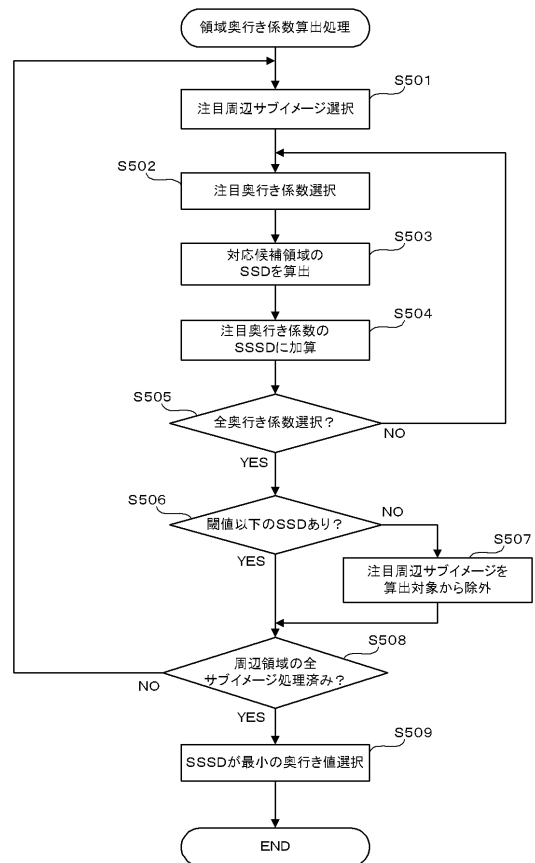
【図7】



【図8】



【図10】

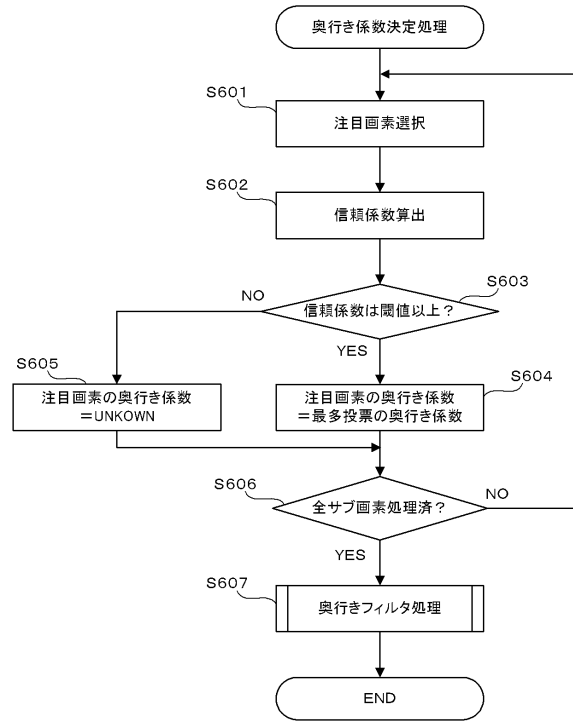


【図11】

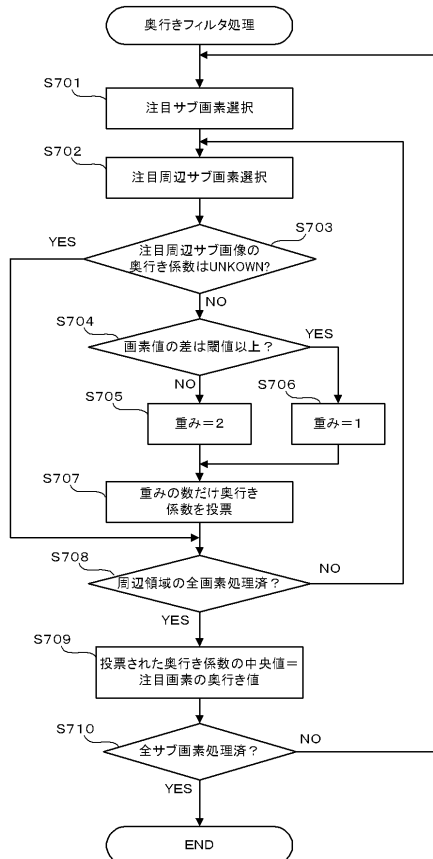
奥行きテーブル	奥行き係数	再構成距離 (m)
	1	無限大~100
	2	99~80
	3	79~60

代表ズレ値	...	
2	...	
4	...	
7	...	
...	...	

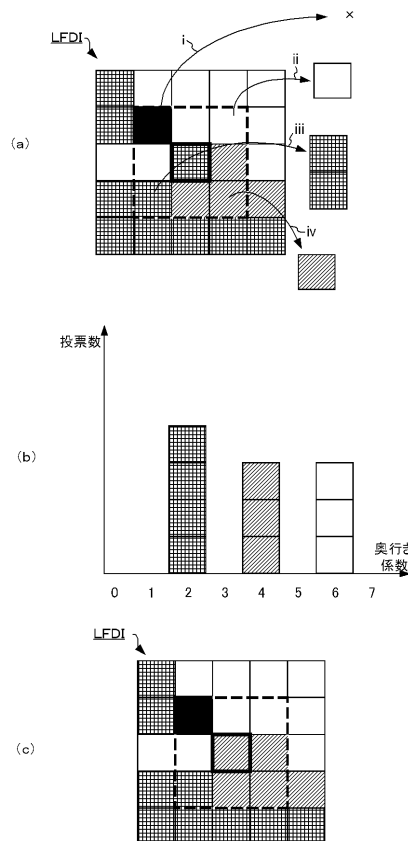
【図12】



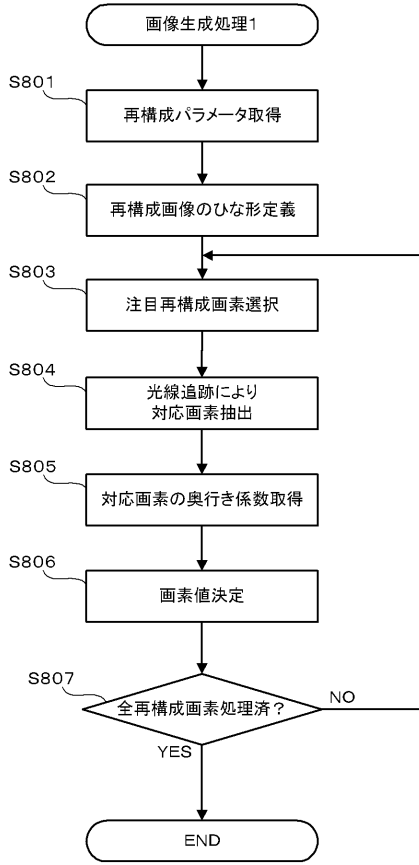
【図14】



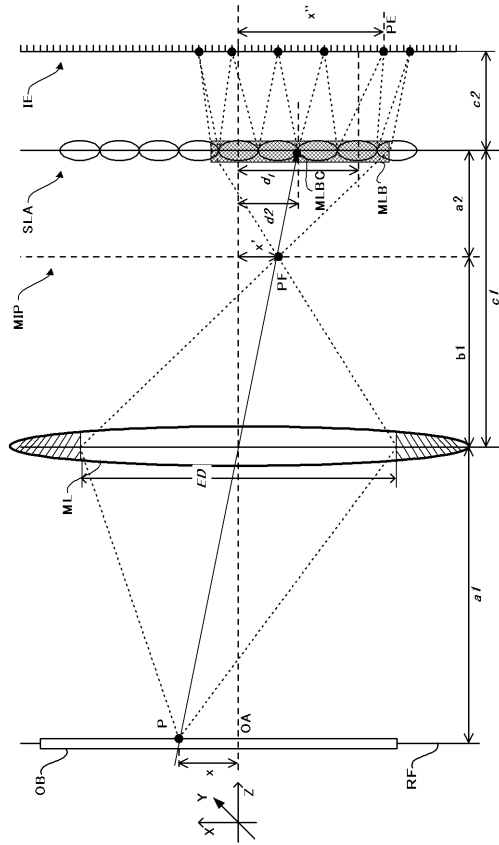
【図15】



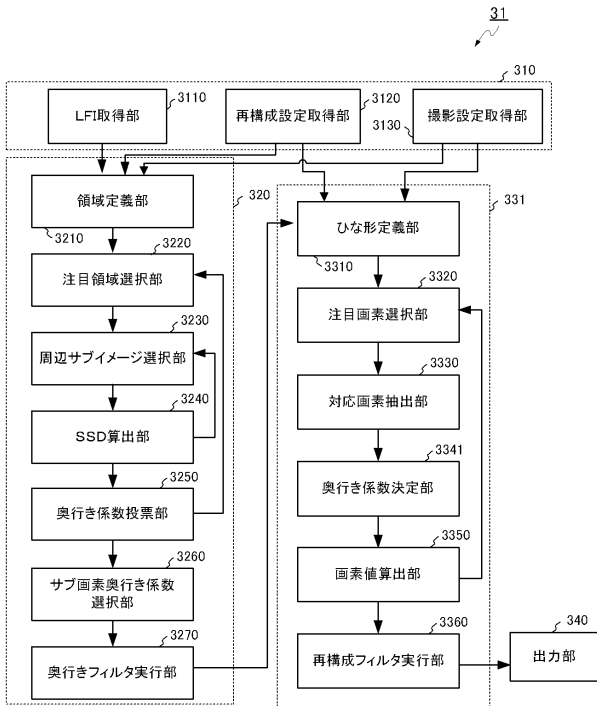
【図16】



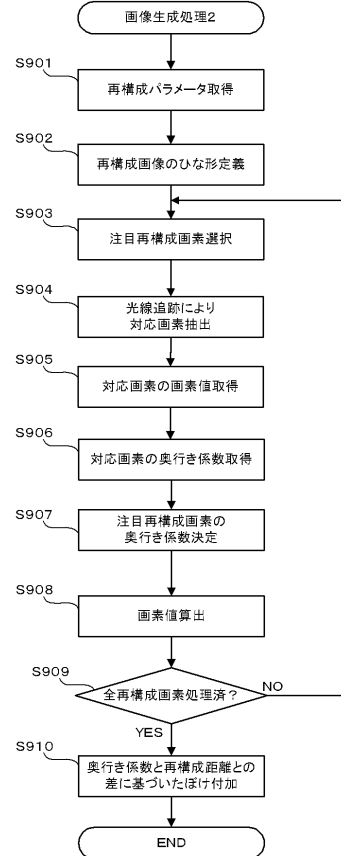
【図17】



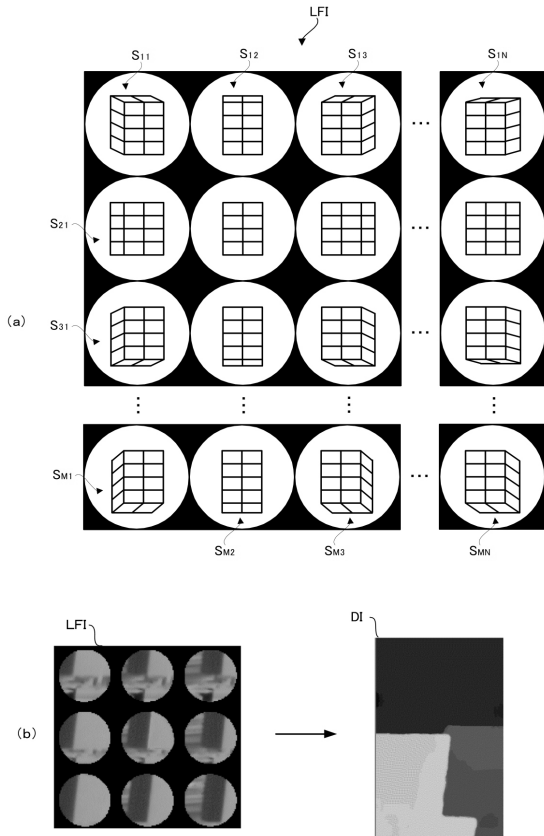
【図19】



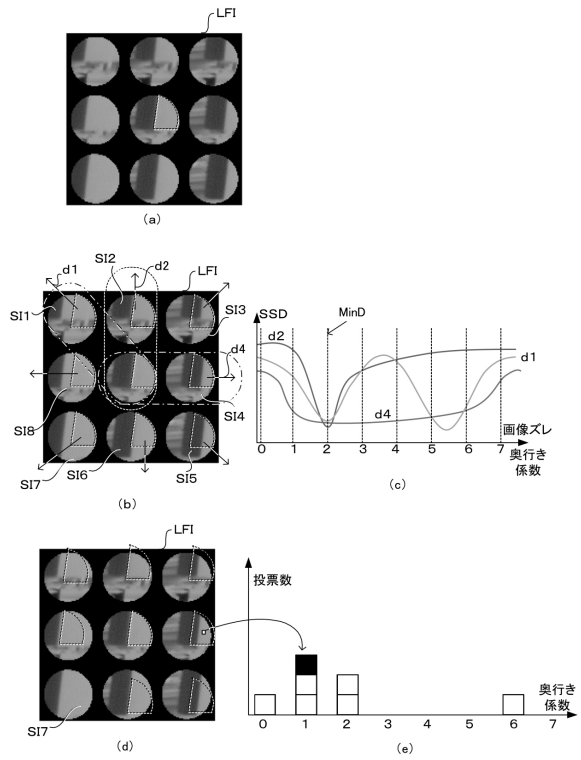
【図21】



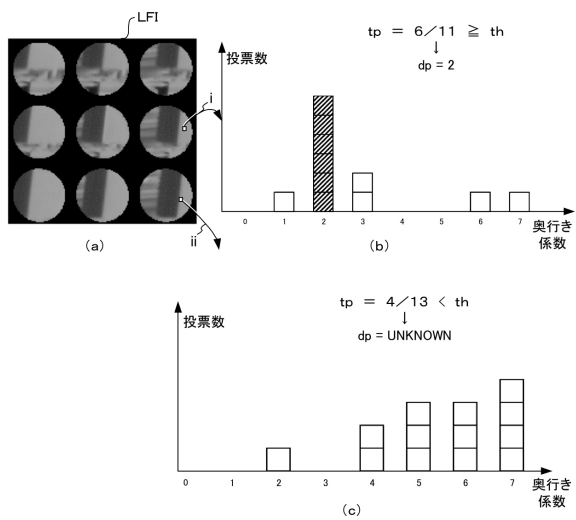
【図3】



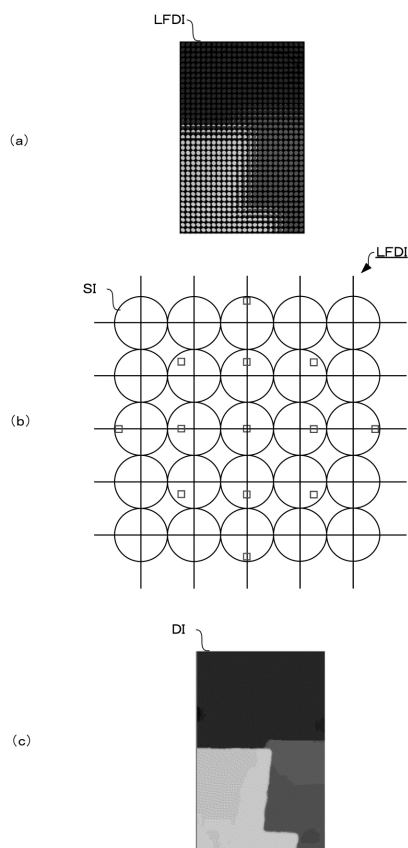
【図9】



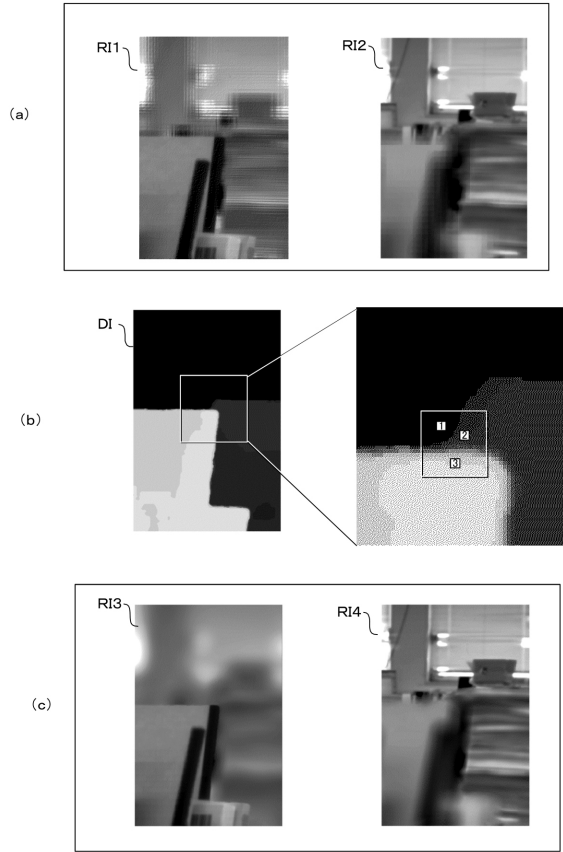
【図13】



【図18】



【 図 20 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-288042(JP,A)
特開2010-057067(JP,A)
特開2008-078692(JP,A)
特開2008-241355(JP,A)
特開2009-229125(JP,A)
特開2010-109921(JP,A)
香川 景一郎、谷田 純, “小型複眼カメラTOMB Oのためのオクルージョンに強い測距法の検討”, 映像情報メディア学会技術報告, 日本, (社)映像情報メディア学会, 2010年 6月22日, Vol.34, No.22, pp.5-8
倉地 紀子, “カメラの内部構造をシミュレートする技法 バーチャル・フォトグラフィ 第1回”, CG WORLD, 日本, 株式会社ワークスコーポレーション, 2006年 1月 1日, Vol.89, pp.120-123

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N	5/232
G03B	15/00
G01C	3/06
G06T	1/00