

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7447916号
(P7447916)

(45)発行日 令和6年3月12日(2024.3.12)

(24)登録日 令和6年3月4日(2024.3.4)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 N	23/60	(2023.01)	H 0 4 N	23/60	5 0 0
H 0 4 N	23/56	(2023.01)	H 0 4 N	23/56	
H 0 4 N	23/54	(2023.01)	H 0 4 N	23/54	
G 0 3 B	15/02	(2021.01)	G 0 3 B	15/02	G
G 0 3 B	15/03	(2021.01)	G 0 3 B	15/02	R

請求項の数 9 (全22頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2021-563921(P2021-563921)
 (86)(22)出願日 令和2年12月4日(2020.12.4)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/045246
 (87)国際公開番号 WO2021/117633
 (87)国際公開日 令和3年6月17日(2021.6.17)
 審査請求日 令和5年10月16日(2023.10.16)
 (31)優先権主張番号 特願2019-225887(P2019-225887)
 (32)優先日 令和1年12月13日(2019.12.13)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000002185
 ソニーグループ株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74)代理人 110002147
 弁理士法人酒井国際特許事務所
 (72)発明者 五味 信一郎
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー
 株式会社内
 (72)発明者 栗田 哲平
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー
 株式会社内
 審査官 徳 田 賢二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 撮像装置、情報処理装置、撮像方法、および情報処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明と偏光センサとを備え、前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体の画像を撮像する撮像部と、

前記撮像部によって撮像される画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記偏光方向毎の画像を生成する分離部と、

前記偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出する算出部と、

前記算出部によって算出される法線に基づいて前記被写体の形状を推定する推定部とを有する撮像装置。

【請求項2】

各前記照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶する記憶部

をさらに備え、

前記分離部は、

前記偏光方向毎の画像における各画素の輝度に基づいて、任意の偏光方向と当該偏光方向の光が照射された被写体の画像における各画素の輝度との対応関係を示す偏光モデルを推定し、前記偏光モデルと前記対応情報とに基づいて前記照明毎の画像における各画素の輝度を算出する

請求項1に記載の撮像装置。

【請求項 3】

前記算出部は、

前記照明毎の画像における各画素の輝度と前記対応情報とに基づいて、前記被写体の表面における法線を算出する

請求項 2 に記載の撮像装置。

【請求項 4】

前記複数の照明は、

それぞれ偏光方向が異なる偏光フィルタが光源の光出射面に設けられる

請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 5】

前記偏光センサは、

複数の撮像素子が行列状に配列される画素アレイと、

前記撮像素子に対応付けられた異なる偏光方向の光を選択的に前記撮像素子へ入射させる偏光フィルタと

を有する請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 6】

前記偏光センサは、

入射光を複数の光線に分割するビームスプリッタと、

各光線を受光するイメージセンサと、

前記イメージセンサと前記ビームスプリッタとの間に設けられ、前記イメージセンサ毎に偏光方向が異なる偏光フィルタと

を有する請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 7】

コンピュータが、

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明から同時に光が照射される前記被写体の画像を偏光センサによって撮像し、

前記偏光センサによって撮像される画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記偏光方向毎の画像を生成し、

前記偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出し、

前記法線に基づいて前記被写体の形状を推定する

ことを含む撮像方法。

【請求項 8】

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶する記憶部と、

前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体が偏光センサによって撮像された画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記対応情報に基づいて前記照明毎の画像を生成する分離部と、

前記照明毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出する算出部と、

前記算出部によって算出される法線に基づいて前記被写体の形状を推定する推定部と

を有する情報処理装置。

【請求項 9】

コンピュータが、

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶し、

前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体が偏光センサによって撮像された画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記対応情報に基づいて前記照明毎の画像を生成し、

10

20

30

40

50

前記照明毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出し、

前記法線に基づいて前記被写体の形状を推定することを含む情報処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、撮像装置、情報処理装置、撮像方法、および情報処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

被写体の3次元形状を計測する方法の一つとして、照度差ステレオ法がある。照度差ステレオ法では、複数の方向から被写体へ順次個別に光を当て、その陰影の違いから被写体までの距離や被写体の3次元形状を測定する（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2017-72499号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記の従来技術では、照明を切替えながらカメラによって順次被写体を撮像するため、被写体が動物体である場合、照明の切替え中に被写体の動きによる位置ずれが生じ、正確な測定を行うことができない。

【0005】

そこで、本開示では、動物体の3次元形状を正確に測定することができる撮像装置、情報処理装置、撮像方法、および情報処理方法を提案する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示によれば、撮像装置が提供される。撮像装置は、撮像部と、分離部と、算出部と、推定部とを有する。撮像部は、被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明と偏光センサとを備え、前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体の画像を撮像する。分離部は、前記撮像部によって撮像される画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記偏光方向毎の画像を生成する。算出部は、前記偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出する。推定部は、前記算出部によって算出される法線に基づいて前記被写体の形状を推定する。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本開示に係る撮像方法および情報処理方法の概要を示す説明図である。

【図2】本開示に係る撮像装置の構成例を示すブロック図である。

【図3】本開示に係るカメラの露光量と出力輝度との関係を示す説明図である。

【図4】本開示に係るシェーディングデータの取得方法の説明図である。

【図5】本開示に係るシェーディングデータの取得方法の説明図である。

【図6】本開示に係る光源方向の検出方法の説明図である。

【図7】本開示に係る光源方向の検出方法の説明図である。

【図8】本開示に係る光源方向の検出方法の説明図である。

【図9】本開示に係る光源方向/偏光方向対応表の一例を示す説明図である。

【図10】本開示に係る撮像部の説明図である。

【図11】本開示に係る撮像部の説明図である。

【図12】本開示に係る撮像部の説明図である。

【図13】本開示に係る信号分離部の構成例を示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 1 4】本開示に係る偏光デモザイク処理の説明図である。

【図 1 5】本開示に係る偏光モデルの一例を示す説明図である。

【図 1 6】本開示に係る法線算出方法の説明図である。

【図 1 7】本開示に係る撮像装置が実行する処理を示すフローチャートである。

【図 1 8】本開示に係る撮像装置が実行する処理を示すフローチャートである。

【図 1 9】本開示に係る撮像装置が実行する処理を示すフローチャートである。

【図 2 0】本開示に係るカメラの変形例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下に、本開示の実施形態について図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の各実施形態において、同一の部位には同一の符号を付することにより重複する説明を省略する。

10

【0009】

[1 . 本開示に係る課題]

基本的な照度差ステレオ法では、被写体に対する光の照射方向が異なる複数の照明を順次切替えながら被写体へ光を当て、各照明によって照らされた被写体の画像を撮像し、各画像における被写体の陰影の違いに基づいて被写体の 3 次元形状を測定する。

【0010】

しかしながら、この方法では、照明の切替え中に被写体の動きによる位置ずれが生じ、正確な測定を行うことができないため、動物体の被写体に適用することが困難であり、静止物体の被写体しか正確な 3 次元形状を測定することができない。

20

【0011】

このため、被写体へ照射する光の色の違いを用いて照明を多重化し、照明の切り替えを行わずに、1 度の撮像で被写体の 3 次元形状を測定する波長多重方式の計測方法がある。波長多重方式では、複数の照明から同時に被写体に対して、それぞれ波長（色）が異なる光を照射して被写体を撮像し、撮影画像からそれぞれの色成分を抽出し、各照明単体で照明した場合の陰影を求めて被写体の 3 次元形状を測定する。

【0012】

このように、波長多重方式では、照明を切替える必要がなく 1 度の撮像によって被写体の 3 次元形状を測定することが可能であるため、被写体が動物体である場合にも、被写体の 3 次元形状を測定することができる。

30

【0013】

ただし、波長多重方式は、例えば、各照明に異なる狭帯域のバンドパスフィルタを適用することによって被写体へ照射する光の色を変えるので、狭帯域のバンドパスフィルタを透過することで光量が低下し、S/N比が劣化して測定精度が低下することがある。

【0014】

また、照明の色と被写体の色との弁別が難しい場合は、測定誤差が発生することがある。さらに、被写体へ照射する光の色の数を増やす場合には、より狭帯域なバンドパスフィルタを用いたり、発色する色が異なる LED (Light Emitting Diode) の数を増やしたりする必要があり、コストが増大する。そこで、本開示に係る撮像装置、情報処理装置、撮像方法、および情報処理方法は、コストを増大させることなく動物体の 3 次元形状を正確に測定する。

40

【0015】

[2 . 撮像方法および情報処理方法の概要]

まず、図 1 を参照して本開示に係る撮像方法および情報処理方法の概要について説明する。図 1 は、本開示に係る撮像方法および情報処理方法の概要を示す説明図である。

【0016】

本開示に係る撮像方法および情報処理方法では、偏光を用いた照明の多重化を行い、1 度の撮像で複数の方向から偏光方向の異なる光を被写体へ同時に照射して撮像することによって、動物体の 3 次元形状の測定を可能にする。

【0017】

50

例えば、図 1 に示すように、1つのカメラ 10 と、複数（ここでは、4つ）の光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 を用意する。光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 は、被写体 100 に対して異なる方向（以下、光源方向と記載する） S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 に配置される。なお、光源の数は、4つに限定されるものではない。

【0018】

また、光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 は、光の照射部に偏光方向が異なる偏光フィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 が設けられ、それぞれ偏光方向が異なる光を被写体 100 へ照射する。また、光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 は、照射する光の偏光方向と光源方向（被写体に対する位置）が予め対応付けられる。

【0019】

カメラ 10 は、偏光センサ 11 を備える。本開示に係る撮像方法および情報処理方法では、偏光センサ 11 によって取得される画像データから信号分離処理によって各偏光方向成分を分離する。そして、予め対応付けた光の偏光方向と光源方向との対応関係に基づいて、各方向の光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 から単独に照射した場合に得られるであろう画像 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 を算出する。

【0020】

その後、各画像 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 について法線算出処理を行うことによって、法線画像 I_5 を算出し、法線画像 I_5 を用いて距離推定処理を行うことによって被写体 100 の表面 3次元形状を推定する。これにより、本開示に係る撮像方法および情報処理方法では、動物体の 3次元形状を正確に測定することができる。

【0021】

この方法によれば、光源を増やす場合に、各照明に設ける偏光フィルタの方向を変えるだけで良いのでコストが増大することがなく、狭帯域なバンドパスフィルタを使用しないため光量が減少することもないので、3次元形状の測定精度を向上させることができる。

【0022】

[3. 撮像装置の構成]

次に、図 2 を参照して本開示に係る撮像装置の構成について説明する。図 2 は、本開示に係る撮像装置の構成例を示すブロック図である。図 2 に示すように、本開示に係る撮像装置 1 は、撮像部 2 と、情報処理装置 3 とを備える。

【0023】

撮像部 2 は、図 1 に示した偏光フィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 が設けられる光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 と、カメラ 10 とを含む。撮像部 2 は、偏光フィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 を介して各光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 から偏光方向の異なる光が同時に照射された状態の被写体 100 をカメラ 10 によって撮像し、撮像画像の画像データを情報処理装置 3 へ出力する。

【0024】

情報処理装置 3 は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory) 等を有するマイクロコンピュータや各種の回路を含む。

【0025】

情報処理装置 3 は、CPU が ROM に記憶された情報処理プログラムを、RAM を作業領域として使用して実行することにより機能するキャリアレーション部 4 と、信号分離部 5 と、法線算出部 6 と、距離推定部 7 とを備える。

【0026】

なお、情報処理装置 3 が備えるキャリアレーション部 4、信号分離部 5、法線算出部 6、および距離推定部 7 は、一部または全部が ASIC (Application Specific Integrated Circuit) や FPGA (Field Programmable Gate Array) 等のハードウェアで構成されてもよい。また、信号分離部 5、法線算出部 6、および距離推定部 7 は、必ずしも情報処理装置 3 に設けられている必要はなく、例えば、クラウド上に設けられてもよい。

【0027】

10

20

30

40

50

情報処理装置 3 が備えるキャリブレーション部 4、信号分離部 5、法線算出部 6、および距離推定部 7 は、それぞれ以下に説明する情報処理の作用を実現または実行する。なお、情報処理装置 3 の内部構成は、図 2 に示した構成に限られず、後述する情報処理を行う構成であれば他の構成であってもよい。

【 0 0 2 8 】

[4 . 1 . キャリブレーション部]

キャリブレーション部 4 は、記憶部を備えており、カメラ 1 0 の出力輝度のリニア化に関する情報、各光源で照明した場合に生じるシェーディングデータの情報、光源方向と偏光方向とを対応付けした情報等を記憶する。

【 0 0 2 9 】

[4 . 1 . 1 . カメラの出力輝度のリニア化]

図 3 は、本開示に係るカメラの露光量と出力輝度との関係を示す説明図である。図 3 に示すように、カメラ 1 0 は、露光量 i が多くなるほど、撮像画像における出力輝度 i' が高くなる。ただし、図 3 に実線で示すように、露光量 i の変化に伴うカメラ 1 0 の出力輝度 i' の変化は線形（リニア）ではない。

【 0 0 3 0 】

このため、キャリブレーション部 4 は、カメラ 1 0 の露光量 i を変化させながら順次撮像する画像の輝度を測定し、図 3 に実線で示すカメラ 1 0 の露光量 i と出力輝度 i' との関係を示す特性関数を算出し、特性関数の逆変換関数を記憶しておく。逆変換関数は、信号分離部 5 が備える後述の前処理部 5 1（図 1 3 参照）が画像信号のリニア化を行う場合に使用される。これにより、カメラ 1 0 の出力輝度 i' の特性が図 3 に点線で示すような線形（リニア）に補正される。

【 0 0 3 1 】

[4 . 1 . 2 . シェーディングデータの記憶]

また、キャリブレーション部 4 は、各光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 によって光を照射した場合に生じる陰影の状態を示すシェーディングデータを取得して記憶する。

【 0 0 3 2 】

図 4 および図 5 は、本開示に係るシェーディングデータの取得方法の説明図である。図 4 に示すように、シェーディングデータを取得する場合には、被写体 1 0 0（図 1 参照）が置かれる場所に、例えば、灰色板 1 0 1 を配置する。そして、各光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 によって灰色板 1 0 1 へ順次光を照射し、カメラ 1 0 によって灰色板 1 0 1 の画像を撮像する。

【 0 0 3 3 】

このとき、各光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 は、それぞれ灰色板 1 0 1 に対する位置が異なる。このため、図 4 に示すように、例えば、光源 L_1 の点灯中には、画像の左下から右上へ向うにつれて陰影が濃くなる画像 I_{11} が撮像され、光源 L_2 の点灯中には、画像の左上から右下へ向うにつれて陰影が濃くなる画像 I_{12} が撮像される。

【 0 0 3 4 】

また、光源 L_3 の点灯中には、画像の右上から左下へ向うにつれて陰影が濃くなる画像 I_{13} が撮像され、光源 L_4 の点灯中には、画像の右下から左上へ向うにつれて陰影が濃くなる画像 I_{14} が撮像される。キャリブレーション部 4 は、これらの画像 I_{11} 、 I_{12} 、 I_{13} 、 I_{14} の画像データをシェーディングデータとして取得して記憶する。

【 0 0 3 5 】

[4 . 1 . 3 . 光源方向の検出]

また、キャリブレーション部 4 は、各光源方向の検出を行う。図 6 ~ 図 8 は、本開示に係る光源方向の検出方法の説明図である。図 6 に示すように、光源方向の検出を行う場合には、被写体 1 0 0（図 1 参照）が置かれる場所に、例えば、表面が鏡面仕上げされた形状が既知の球体 1 0 2 を配置する。そして、各光源 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 によって球体 1 0 2 へ順次光を照射し、カメラ 1 0 によって球体 1 0 2 の画像を撮像する。

【 0 0 3 6 】

10

20

30

40

50

このとき、各光源 L_1, L_2, L_3, L_4 は、それぞれ球体 102 に対する位置が異なる。このため、図 7 に示すように、例えば、光源 L_1 の点灯中には、球体 102 の左下寄りの位置が輝度の高いハイライト部として映る画像 I_{21} が撮像され、光源 L_2 の点灯中には、球体 102 の左上寄りの位置がハイライト部として映る画像 I_{22} が撮像される。

【0037】

また、光源 L_3 の点灯中には、球体 102 の右上寄りの位置がハイライト部として映る画像 I_{23} が撮像され、光源 L_4 の点灯中には、球体 102 の右下寄りの位置がハイライト部として映る画像 I_{24} が撮像される。

【0038】

このとき、図 8 に示すように、ハイライト部の中心における法線方向 n が、視線方向（カメラ 10 の撮像方向） v と光源方向 s のハーフベクトルとなる。このため、キャリブレーション部 4 は、下記式 (1) によって各光源 L_1, L_2, L_3, L_4 の光源方向を算出することができる。

【数 1】

$$s = \frac{v - n}{|v - n|} \quad \dots (1)$$

【0039】

[4.1.4. 光源方向と偏光方向との対応付け]

また、キャリブレーション部 4 は、各光源 L_1, L_2, L_3, L_4 の光源方向と照射する光の偏光方向との対応付けを行う。

【0040】

光源方向と偏光方向との対応付けを行う場合、シェーディングデータを取得する場合と同様に、カメラ 10 によって灰色板 101（図 4 参照）を撮像する。キャリブレーション部 4 は、撮像された画像データのリニア化およびシェーディング補正を行い、後述する偏光モデルの推定を行って偏光角 θ_i を求め、偏光角 θ_i を偏光照明 i の偏光方向とし、先に検出した光源方向と対応付け、光源方向 / 偏光方向対応表として記憶する。

【0041】

図 9 は、本開示に係る光源方向 / 偏光方向対応表の一例を示す説明図である。図 9 に示す例では、光源番号 (i) が 1 の光源 L_1 に、偏光方向 (θ_i) として θ_1 が対応付けられ、光源方向 (S_i) として S_1 が対応付けられている。光源番号 (i) が 2 の光源 L_2 に、偏光方向 (θ_i) として θ_2 が対応付けられ、光源方向 (S_i) として S_2 が対応付けられている。

【0042】

また、光源番号 (i) が 3 の光源 L_3 に、偏光方向 (θ_i) として θ_3 が対応付けられ、光源方向 (S_i) として S_3 が対応付けられている。光源番号 (i) が 4 の光源 L_4 に、偏光方向 (θ_i) として θ_4 が対応付けられ、光源方向 (S_i) として S_4 が対応付けられている。

【0043】

[4.1.5. 撮像部の構成]

ここで、信号分離部 5 の説明を行う前に、図 10 ~ 図 12 を参照して撮像部 2 の構成について説明する。図 10 ~ 図 12 は、本開示に係る撮像部の説明図である。図 10 に示すように、撮像部 2 は、複数の偏光照明 $2_1, 2_2, 2_3, 2_4$ と、カメラ 10 と、撮影制御部 12 とを含む。

【0044】

各偏光照明 $2_1, 2_2, 2_3, 2_4$ は、白色 LED である光源 L_1, L_2, L_3, L_4 と、それぞれ偏光方向が異なる偏光フィルタ F_1, F_2, F_3, F_4 とを含む。偏光フィルタ F_1, F_2, F_3, F_4 は、例えば、それぞれ偏光方向が $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の光を選択的に透過させるフィルタである。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

カメラ 1 0 は、偏光センサ 1 1 を備える。偏光センサ 1 1 は、図 1 1 に示すように、複数の撮像素子が行列状に配列される画素アレイ 1 3 と、各撮像素子に対応付けられた異なる偏光方向の光を選択的に撮像素子へ入射させる偏光フィルタ 1 4 と、撮像素子毎に設けられるマイクロレンズ 1 5 とを備える。

【 0 0 4 6 】

偏光フィルタ 1 4 には、図 1 2 に示すように、各撮像素子と対向する位置に、4 方向 (0° , 45° , 90° , 135°) のワイヤグリッドが配置された領域 1 4 a , 1 4 b , 1 4 c , 1 4 d が、例えば、ベイヤ配列と同様の配置で配列される。

【 0 0 4 7 】

図 1 0 へ戻り、撮影制御部 1 2 は、複数の偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 を全て同時に点灯させ、その後、カメラ 1 0 によって被写体 1 0 0 (図 1 参照) を撮像させた後、偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 を消灯させる。

【 0 0 4 8 】

また、撮影制御部 1 2 は、動画撮像を行う場合には、複数の偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 を全て同時に点灯させた状態で、カメラ 1 0 による撮像を繰り返し行わせ、ユーザから撮像の停止指示があるまで、撮像を継続させる。撮影制御部 1 2 は、動画撮像が終了した後に、偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 を消灯させる。撮影制御部 1 2 は、カメラ 1 0 から撮像画像の画像データを取得して、後段の信号分離部 5 へ出力する。

【 0 0 4 9 】

[4 . 1 . 6 . 信号分離部]

次に、図 1 3 を参照して信号分離部について説明する。図 1 3 は、本開示に係る信号分離部の構成例を示すブロック図である。図 1 3 に示すように、本開示に係る信号分離部 5 は、前処理部 5 1 と、偏光デモザイク部 5 2 と、偏光モデル推定部 5 3 と、偏光輝度算出部 5 4 とを備える。

【 0 0 5 0 】

前処理部 5 1 は、カメラ 1 0 から入力される画像データにおけるカメラ 1 0 の出力輝度 i' のリニア化と、シェーディング補正とを行う。前処理部 5 1 は、下記式 (2) を使用して出力輝度 i' のリニア化を行う。

【 数 2 】

$$j'_{x,y} = f^{-1}(j_{x,y}) \quad \dots (2)$$

前処理部 5 1 は、式 (2) に示すように、各画素の出力輝度 $j_{x,y}$ に、カメラ 1 0 の特性関数の逆変換関数を適用することによってリニア化した出力輝度 $j'_{x,y}$ を算出する。

【 0 0 5 1 】

また、前処理部 5 1 は、下記式 (3) を使用してシェーディング補正を行う。

【 数 3 】

$$j''_{x,y} = j'_{x,y} / (l_1 l_2 \dots l_M) \quad \dots (3)$$

前処理部 5 1 は、式 (3) に示すように、リニア化した各出力輝度 $j'_{x,y}$ を図 5 に示す画像 I_{11} , I_{12} , I_{13} , I_{14} における対応する画素の輝度 $l_1 l_2 \dots l_M$ によって除算することによってシェーディング補正した出力輝度 $j''_{x,y}$ を算出する。

【 0 0 5 2 】

偏光デモザイク部 5 2 は、各画素に割り当てられた 0° , 45° , 90° , 135° の各方向のデータから、各画素ごとにこれら 4 方向のデータを求める ($j'''_{x,y}(0)$, $j'''_{x,y}(45)$, $j'''_{x,y}(90)$, $j'''_{x,y}(135)$) 。

【 0 0 5 3 】

図 1 4 は、本開示に係る偏光デモザイク処理の説明図である。例えば、図 1 4 に示すよ

10

20

30

40

50

うに、偏光センサ 1 1 によって撮像された画像 I₃₀ における各 90° の偏光方向のデータを求める場合、下記式 (4) を使用する。

【数 4】

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{a+b}{2} \\ B &= \frac{a+c}{2} \\ C &= \frac{a+b+c+d}{4} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

10

偏光デモザイク部 5 2 は、式 (4) に示すように、90° のワイヤグリッド (図 1 2 参照) が設けられた撮像素子のデータ a, b, c, d を用いて、A, B, C のデータを算出して補完することにより、偏光デモザイク処理を行った画像 I₃₁ のデータを算出する。

【0054】

偏光デモザイク部 5 2 は、0°, 45°, 135° の偏光方向のデータについても同様の手法によって各画素毎のデータを算出する。図 1 3 に戻り、偏光デモザイク部 5 2 は、算出したデータ (j' ' ' x, y (0), j' ' ' x, y (45), j' ' ' x, y (90), j' ' ' x, y (135)) を偏光モデル推定部 5 3 へ出力する。

20

【0055】

偏光モデル推定部 5 3 は、偏向角と輝度との対応関係を示す偏光モデルを推定する。図 1 5 は、本開示に係る偏光モデルの一例を示す説明図である。偏光モデル推定部 5 3 は、各画素ごとに求められた偏光センサデータ (j' ' ' x, y (0), j' ' ' x, y (45), j' ' ' x, y (90), j' ' ' x, y (135)) を用いて、図 1 5 に示す偏光モデルを推定する。信号分離部 5 は、かかる偏光モデルを使用することによって、任意の偏向角 () の場合の輝度 I () を推定することができる。

【0056】

図 1 5 に示す偏光モデルは、式で表すと下記式 (5) のようになる。

30

【数 5】

$$\begin{aligned} I(\alpha) &= \frac{I_{max} + I_{min}}{2} + \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \cos(2\alpha - 2\psi) \\ &= \frac{I_{max} + I_{min}}{2} + \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \cos(\cos 2\alpha \cos 2\psi + \sin 2\alpha \sin 2\psi) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

偏光モデル推定部 5 3 は、撮影データである I (1), . . . , I (M) から、上記式 (5) における未知パラメータである I_{max}, I_{min}, を求める。

【0057】

上記式 (5) は、行列で表すと下記式 (6) のようになる。

40

【数 6】

既知行列 未知パラメータ 撮影データ

$$\begin{bmatrix} 1 & \cos 2 \cdot 0^\circ & \sin 2 \cdot 0^\circ \\ 1 & \cos 2 \cdot 45^\circ & \sin 2 \cdot 45^\circ \\ 1 & \cos 2 \cdot 90^\circ & \sin 2 \cdot 90^\circ \\ 1 & \cos 2 \cdot 135^\circ & \sin 2 \cdot 135^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \\ \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \cos 2\psi \\ \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \sin 2\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I(0^\circ) \\ I(45^\circ) \\ I(90^\circ) \\ I(135^\circ) \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

50

【 0 0 5 8 】

そして、式 (6) における既知行列を A、未知パラメータを x、撮影データを b とすると、式 (6) は、下記式 (7) のようになる。

【 数 7 】

$$Ax = b, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \dots (7)$$

【 0 0 5 9 】

10

そして、既知行列を A の逆行列 A⁻¹ を用いて式 (7) を変形すると、下記 (8) のようになり、

【 数 8 】

$$x = A^{-1}b \dots (8)$$

これにより、偏光モデル推定部 5 3 は、下記式 (9) によって未知パラメータ I_{max}, I_{min}, ψ を求めることができる。

【 数 9 】

$$\left. \begin{aligned} I_{max} &= x_1 + \sqrt{x_2^2 + x_3^2} \\ I_{min} &= x_1 - \sqrt{x_2^2 + x_3^2} \\ \psi &= \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{x_3}{x_2} \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

20

【 0 0 6 0 】

偏光輝度算出部 5 4 は、偏光モデル推定部 5 3 によって求められた未知パラメータ I_{max}, I_{min}, ψ、式 (5) を用いて、各光源 L₁, L₂, L₃, L₄ に対応した偏光方向で照明した場合の画像輝度 (i = I (1) ~ (4)) を、画素毎に求める。このとき、偏光輝度算出部 5 4 は、光源方向 / 偏光方向対応表 5 5 内の偏光方向の角度を使用する。

30

【 0 0 6 1 】

[5 . 法線算出部]

次に、図 1 6 を参照して法線算出部 6 による法線算出方法について説明する。図 1 6 は、本開示に係る法線算出方法の説明図である。

【 0 0 6 2 】

法線算出部 6 は、図 1 6 に示すように、例えば、3 個の光源 L₁, L₂, L₃ がある場合、光源方向 / 偏光方向対応表 5 5 内の光源方向に対応する光源ベクトル S_i、および偏光輝度算出部 5 4 から入力される各画素の輝度 i を使用し、下記式 (1 0)、(1 2) の演算を行うことによって、画素毎に法線ベクトル n を算出する。

40

【 0 0 6 3 】

また、法線算出部 6 は、M 個の光源 L₁, …, L_M がある場合、下記式 (1 1)、(1 2) の演算を行うことによって、画素毎に法線ベクトル n を算出する。

【 数 1 0 】

$$\underbrace{\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{i} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^\top \\ \mathbf{s}_2^\top \\ \mathbf{s}_3^\top \end{bmatrix}}_{\mathbf{S} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}} \underbrace{\rho \mathbf{n}}_{\tilde{\mathbf{n}} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}} \rightarrow \mathbf{i} = \mathbf{S} \tilde{\mathbf{n}} \quad \dots (10)$$

$$\tilde{\mathbf{n}} = \mathbf{S}^{-1} \mathbf{i}$$

10

【数 1 1】

$$\underbrace{\begin{bmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_M \end{bmatrix}}_{\mathbf{i} \in \mathbb{R}^{M \times 1}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^\top \\ \vdots \\ \mathbf{s}_M^\top \end{bmatrix}}_{\mathbf{S} \in \mathbb{R}^{M \times 3}} \underbrace{\rho \mathbf{n}}_{\tilde{\mathbf{n}} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}} \quad \dots (11)$$

$$\tilde{\mathbf{n}} = (\mathbf{S}^\top \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^\top \mathbf{i} = \mathbf{S}^\dagger \mathbf{i}$$

20

【数 1 2】

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \|\tilde{\mathbf{n}}\| \\ \mathbf{n} &= \tilde{\mathbf{n}} / \|\tilde{\mathbf{n}}\| = \tilde{\mathbf{n}} / \rho \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

なお、本実施形態では、4個の光源 L_1, L_2, L_3, L_4 を使用しているため、式 (11) における M は 4 となる。

30

【0064】

[6. 距離推定部]

次に、距離推定部 7 について説明する。距離推定部 7 は、各画素ごとに求められた法線情報を用いて、各画素ごとに、ある基準点から対応する被写体上の点までの距離 Z を算出する。距離推定部 7 は、例えば、フーリエ基底を用いた下記式 (13) で表される Frankot - Chellappa アルゴリズムを用いて距離 Z を算出する。

【数 1 3】

$$Z = F^{-1} \left(-j \frac{\xi_x F(p) + \xi_y F(q)}{\xi_x^2 + \xi_y^2} \right). \quad \dots (13)$$

40

上記式 (13) における p, q は、法線算出部 6 によって算出された法線ベクトル \mathbf{n} の x 成分, y 成分である。また、 F は、フーリエ変換、 ξ_x は、空間周波数 (x) であり、 ξ_y は、空間周波数 (y) である。

【0065】

距離推定部 7 は、予めある基準点を設定し、そこから勾配場を積分して被写体の形状 (距離 Z) を推定する。このとき、距離推定部 7 は、勾配場と形状との微分が一致するように距離 Z を算出する。

【0066】

[7. 撮像装置が実行する処理]

50

次に、図 17 ~ 図 19 を参照して本開示に係る撮像装置が実行する処理の一例について説明する。図 17 ~ 図 19 は、本開示に係る撮像装置が実行する処理を示すフローチャートである。

【0067】

なお、図 17 には、キャリブレーション部 4 が実行するキャリブレーション処理の一例を示している。図 18 には、撮像装置が行う 3 次元形状測定処理の一例を示している。図 19 には、3 次元形状測定処理における信号分離処理の一例を示している。

【0068】

キャリブレーション処理を行う場合、図 17 に示すように、キャリブレーション部 4 は、まず、カメラ特性（図 3 に示すカメラ 10 の露光量と出力輝度との関係を示す特性関数）の逆変換関数を算出して記憶する（ステップ S 101）。続いて、キャリブレーション部 4 は、シェーディングデータ（図 5 参照）を取得して記憶する（ステップ S 102）。

【0069】

その後、キャリブレーション部 4 は、各光源（光源 L_1 , L_2 , L_3 , L_4 ）の光源方向を算出し（ステップ S 103）、各光源（光源 L_1 , L_2 , L_3 , L_4 ）の偏光方向を算出する（ステップ S 104）。そして、キャリブレーション部 4 は、各光源方向と偏光方向とを対応付けて光源方向 / 偏光方向対応表 55 として記憶し（ステップ S 105）、キャリブレーション処理を終了する。

【0070】

3 次元形状測定処理を行う場合、図 18 に示すように、まず、撮像部 2 は、撮像処理を行う（ステップ S 201）。撮像処理では、撮像部 2 は、3 次元形状の測定対象物に対して、複数の方向から偏光方向が異なる光を同時に照射し、偏光センサ 11 によって測定対象物を撮像する。続いて、信号分離部 5 は、撮像部 2 によって撮像された画像から各偏光方向に対応する画像信号を分離する信号分離処理を行う（ステップ S 202）。

【0071】

ここで、図 19 を参照して信号分離処理について説明する。信号分離処理では、図 19 に示すように、信号分離部 5 は、まず、前処理を行う（ステップ S 301）。前処理では、信号分離部 5 は、カメラ特性の逆変換関数を使用して撮像画像におけるカメラ 10 の出力輝度をリニア化し、シェーディングデータを使用して撮像画像のシェーディング補正を行う。

【0072】

続いて、信号分離部 5 は、偏光デモザイク処理を行う（ステップ S 302）。偏光デモザイク処理では、信号分離部 5 は、シェーディング補正後の撮像画像をデモザイク処理（図 14 参照）して補完することにより、偏光方向毎の画像データを生成する。

【0073】

その後、信号分離部 5 は、偏光モデル推定処理を行う（ステップ S 303）。偏光モデル推定処理では、信号分離部 5 は、偏光方向毎の画像データ（画素毎の輝度）から偏光モデル（式（5））における未知のパラメータ（ I_{max} , I_{min} , ）を算出することによって、偏光モデルを推定する。

【0074】

続いて、信号分離部 5 は、偏光輝度算出処理を行う（ステップ S 304）。偏光輝度算出処理では、信号分離部 5 は、光源方向 / 偏光方向対応表 55 に含まれる光源方向に対応する偏光方向と、偏光モデルとに基づいて、光源方向毎の画像における各画素の輝度を算出し、法線算出部 6 へ出力する。

【0075】

図 18 へ戻り、信号分離処理が終了すると、法線算出部 6 は、法線算出処理を行う（ステップ S 203）。法線算出処理では、法線算出部 6 は、信号分離処理によって算出された光源方向毎の画像における各画素の輝度と、既知の光源方向とに基づいて、画素毎に測定対象物の表面における法線ベクトルを算出する。

【0076】

10

20

30

40

50

続いて、距離推定部 7 は、距離推定処理を行う（ステップ S 2 0 4）。距離推定処理では、距離推定部 7 は、法線算出処理によって算出された画素毎の法線ベクトルを用いて、画素毎に所定の基準点から測定対象物上の点までの距離を算出することによって、測定対象物の 3 次元形状を測定する。

【 0 0 7 7 】

[8 . カメラの変形例]

次に、図 2 0 を参照してカメラ 1 0 の変形例について説明する。図 2 0 は、本開示に係るカメラの変形例を示す説明図である。変形例に係るカメラは、図 2 0 に示す偏光センサ 1 0 A を備える。

【 0 0 7 8 】

偏光センサ 1 0 A は、ビームスプリッタ 1 5 a , 1 5 b , 1 5 c , 1 5 d と、イメージセンサ 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d と、偏光フィルタ 1 1 a , 1 1 b , 1 1 c , 1 1 d とを備える。

【 0 0 7 9 】

ビームスプリッタ 1 5 a , 1 5 b , 1 5 c , 1 5 d は、入射光を複数の光線に分割する。イメージセンサ 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d は、各光線を受光する。偏光フィルタ 1 1 a , 1 1 b , 1 1 c , 1 1 d は、イメージセンサ 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d とビームスプリッタ 1 5 a , 1 5 b , 1 5 c , 1 5 d との間に設けられ、イメージセンサ 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d 毎に偏光方向が異なる。

【 0 0 8 0 】

偏光フィルタ 1 1 a は、例えば、偏光角度が 0° の光を選択的に透過させる。偏光フィルタ 1 1 b は、例えば、偏光角度が 45° の光を選択的に透過させる。偏光フィルタ 1 1 c は、例えば、偏光角度が 90° の光を選択的に透過させる。偏光フィルタ 1 1 d は、例えば、偏光角度が 135° の光を選択的に透過させる。

【 0 0 8 1 】

これにより、イメージセンサ 1 0 a は、偏光角度が 0° の光だけが当てられた被写体の画像を撮像することができる。イメージセンサ 1 0 b は、偏光角度が 45° の光だけが当てられた被写体の画像を撮像することができる。イメージセンサ 1 0 c は、偏光角度が 90° の光だけが当てられた被写体の画像を撮像することができる。イメージセンサ 1 0 d は、偏光角度が 135° の光だけが当てられた被写体の画像を撮像することができる。

【 0 0 8 2 】

撮像装置 1 は、偏光センサ 1 1 に代えて図 2 0 に示す偏光センサ 1 0 A を備えることにより、偏光デモザイク部 5 2 が行う偏光デモザイク処理が不要となるため、処理負荷を低減することが可能となる。

【 0 0 8 3 】

[9 . 効果]

撮像装置は、撮像部 2 と、信号分離部 5 と、法線算出部 6 と、距離推定部 7 とを有する。撮像部 2 は、被写体 1 0 0 へ照射する光の偏光方向が異なる複数の偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 と偏光センサ 1 1 とを備え、複数の偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 から同時に光が照射される被写体 1 0 0 の画像を撮像する。信号分離部 5 は、撮像部 2 によって撮像される画像から各偏光方向に対応する画素信号を分離して偏光方向毎の画像を生成する。法線算出部 6 は、偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって被写体の表面における法線を算出する。距離推定部 7 は、法線算出部によって算出される法線に基づいて被写体の形状を推定する。これにより、撮像装置 1 は、動物体の 3 次元形状を正確に測定することができる。

【 0 0 8 4 】

撮像装置 1 は、各偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 、当該偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 によって照射される光の偏光方向、および当該偏光照明 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 の被写体 1 0 0 に対する方向が対応付けられた対応情報である光源方向 / 偏光方向対応表 5 5 を記憶する記憶部をさらに備える。信号分離部 5 は、偏光方向毎の画像における各画素の

10

20

30

40

50

輝度に基づいて、任意の偏光方向と当該偏光方向の光が照射された被写体の画像における各画素の輝度との対応関係を示す偏光モデルを推定し、偏光モデルと対応情報とに基づいて偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 毎の画像における各画素の輝度を算出する。これにより、撮像装置 1 は、各偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 毎の画像における各画素の正確な輝度を算出することができる。

【 0 0 8 5 】

法線算出部 6 は、偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 毎の画像における各画素の輝度と対応情報とに基づいて、被写体 1 0 0 の表面における法線を算出する。これにより、撮像装置 1 は、より正確な法線を算出することができる。

【 0 0 8 6 】

複数の偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 は、それぞれ偏光方向が異なる偏光フィルタ F₁、F₂、F₃、F₄ が光源 L₁、L₂、L₃、L₄ の光出射面に設けられる。これにより、撮像装置 1 は、例えば、白色に発光する光源と、光源に設ける偏光フィルタが透過させる光の偏向方向の数を増やすだけで、コストを増大させることなく、光源方向の数を増加させることができる。

【 0 0 8 7 】

偏光センサ 1 1 は、画素アレイ 1 3 と、偏光フィルタ 1 4 とを有する。画素アレイ 1 3 は、複数の撮像素子が行列状に配列される。偏光フィルタ 1 4 は、撮像素子に対応付けられた異なる偏光方向の光を選択的に撮像素子へ入射させる。これにより、撮像装置 1 は、一つの画素アレイ 1 3 によって、偏光方向が異なる複数の光毎の画像を撮像することができる。

【 0 0 8 8 】

偏光センサ 1 1 は、ビームスプリッタ 1 5 a, 1 5 b, 1 5 c, 1 5 d と、イメージセンサ 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d と、偏光フィルタ 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c, 1 1 d とを有する。ビームスプリッタ 1 5 a, 1 5 b, 1 5 c, 1 5 d は、入射光を複数の光線に分割する。イメージセンサ 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d は、各光線を受光する。偏光フィルタ 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c, 1 1 d は、イメージセンサ 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d とビームスプリッタ 1 5 a, 1 5 b, 1 5 c, 1 5 d との間に設けられ、イメージセンサ 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d 毎に偏光方向が異なる。これにより、撮像装置 1 は、偏光デモザイク処理が不要となるため、処理負荷を低減することが可能となる。

【 0 0 8 9 】

撮像方法は、コンピュータが、被写体 1 0 0 へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明から同時に光が照射される被写体の画像を偏光センサ 1 1 によって撮像し、偏光センサ 1 1 によって撮像される画像から各偏光方向に対応する画素信号を分離して偏光方向毎の画像を生成し、偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって被写体の表面における法線を算出し、法線に基づいて被写体の形状を推定することを含む。これにより、撮像方法は、動物体の 3 次元形状を正確に測定することができる。

【 0 0 9 0 】

情報処理装置 3 は、記憶部と、信号分離部 5 と、法線算出部 6 と、距離推定部 7 とを有する。記憶部は、被写体 1 0 0 へ照射する光の偏光方向が異なる複数の偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4、当該偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 によって照射される光の偏光方向、および当該偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 の被写体に対する方向が対応付けられた対応情報である光源方向 / 偏光方向対応表 5 5 を記憶する。信号分離部 5 は、複数の偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 から同時に光が照射される被写体 1 0 0 が偏光センサ 1 1 によって撮像された画像から各偏光方向に対応する画素信号を分離して対応情報に基づいて照明毎の画像を生成する。法線算出部 6 は、偏光照明 2 1, 2 2, 2 3, 2 4 毎の画像から照度差ステレオ法によって被写体 1 0 0 の表面における法線を算出する。距離推定部 7 は、法線算出部 6 によって算出される法線に基づいて被写体 1 0 0 の形状を推定する。これにより、情報処理装置 3 は、動物体の 3 次元形状を正確に測定することができる。

【 0 0 9 1 】

10

20

30

40

50

情報処理方法は、コンピュータが、被写体 100 へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明 21, 22, 23, 24、当該照明 21, 22, 23, 24 によって照射される光の偏光方向、および当該偏光照明 21, 22, 23, 24 の被写体 100 に対する方向が対応付けられた対応情報である光源方向 / 偏光方向対応表 55 を記憶し、複数の偏光照明 21, 22, 23, 24 から同時に光が照射される被写体 100 が偏光センサ 11 によって撮像された画像から各偏光方向に対応する画素信号を分離して対応情報に基づいて偏光照明 21, 22, 23, 24 毎の画像を生成し、偏光照明 21, 22, 23, 24 毎の画像から照度差ステレオ法によって被写体 100 の表面における法線を算出し、法線に基づいて被写体 100 の形状を推定することを含む。これにより、情報処理方法は、動物体の 3次元形状を正確に測定することができる。

10

【0092】

なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、また他の効果があってもよい。

【0093】

なお、本技術は以下のような構成も取ることができる。

(1)

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明と偏光センサとを備え、前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体の画像を撮像する撮像部と、

前記撮像部によって撮像される画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記偏光方向毎の画像を生成する分離部と、

20

前記偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出する算出部と、

前記算出部によって算出される法線に基づいて前記被写体の形状を推定する推定部とを有する撮像装置。

(2)

各前記照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶する記憶部

をさらに備え、

前記分離部は、

前記偏光方向毎の画像における各画素の輝度に基づいて、任意の偏光方向と当該偏光方向の光が照射された被写体の画像における各画素の輝度との対応関係を示す偏光モデルを推定し、前記偏光モデルと前記対応情報とに基づいて前記照明毎の画像における各画素の輝度を算出する

30

前記(1)に記載の撮像装置。

(3)

前記算出部は、

前記照明毎の画像における各画素の輝度と前記対応情報とに基づいて、前記被写体の表面における法線を算出する

前記(2)に記載の撮像装置。

(4)

40

前記複数の照明は、

それぞれ偏光方向が異なる偏光フィルタが光源の光出射面に設けられる

前記(1)から(3)のいずれかに記載の撮像装置。

(5)

前記偏光センサは、

複数の撮像素子が行列状に配列される画素アレイと、

前記撮像素子に対応付けられた異なる偏光方向の光を選択的に前記撮像素子へ入射させる偏光フィルタと

を有する前記(1)から(4)のいずれかに記載の撮像装置。

(6)

50

前記偏光センサは、
 入射光を複数の光線に分割するビームスプリッタと、
 各光線を受光するイメージセンサと、
 前記イメージセンサと前記ビームスプリッタとの間に設けられ、前記イメージセンサ毎に偏光方向が異なる偏光フィルタと
 を有する前記(1)から(4)のいずれかに記載の撮像装置。

(7)

コンピュータが、
 被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明から同時に光が照射される前記被写体の画像を偏光センサによって撮像し、
 前記偏光センサによって撮像される画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記偏光方向毎の画像を生成し、
 前記偏光方向毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出し、
 前記法線に基づいて前記被写体の形状を推定することを含む撮像方法。

10

(8)

被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶する記憶部と、
 前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体が偏光センサによって撮像された画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記対応情報に基づいて前記照明毎の画像を生成する分離部と、
 前記照明毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出する算出部と、
 前記算出部によって算出される法線に基づいて前記被写体の形状を推定する推定部とを有する情報処理装置。

20

(9)

コンピュータが、
 被写体へ照射する光の偏光方向が異なる複数の照明、当該照明によって照射される光の偏光方向、および当該照明の前記被写体に対する方向が対応付けられた対応情報を記憶し、
 前記複数の照明から同時に光が照射される前記被写体が偏光センサによって撮像された画像から各前記偏光方向に対応する画素信号を分離して前記対応情報に基づいて前記照明毎の画像を生成し、
 前記照明毎の画像から照度差ステレオ法によって前記被写体の表面における法線を算出し、
 前記法線に基づいて前記被写体の形状を推定することを含む情報処理方法。

30

【符号の説明】

【0094】

- 1 撮像装置
- 2 撮像部
- 3 情報処理装置
- 4 キャリブレーション部
- 5 信号分離部
- 6 法線算出部
- 7 距離推定部
- 10 カメラ
- 11 偏光センサ
- 12 撮影制御部

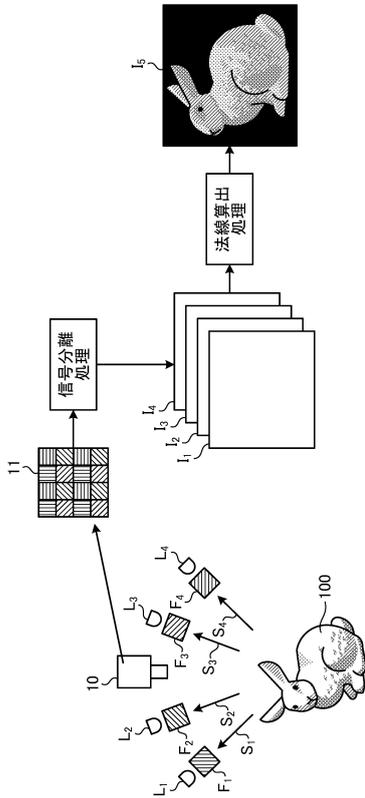
40

50

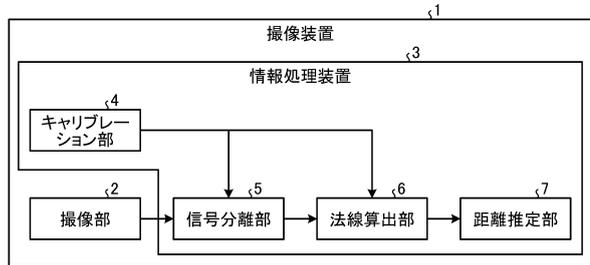
- 5 1 前処理部
- 5 2 偏光デモザイク部
- 5 3 偏光モデル推定部
- 5 4 偏光輝度算出部
- 5 5 光源方向 / 偏光方向対応表

【図面】

【図 1】



【図 2】

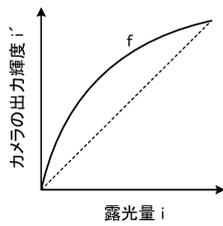


10

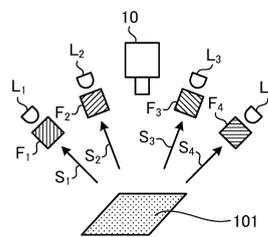
20

30

【図 3】



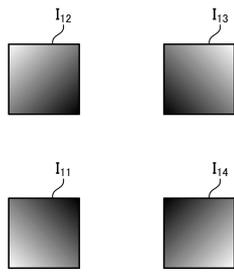
【図 4】



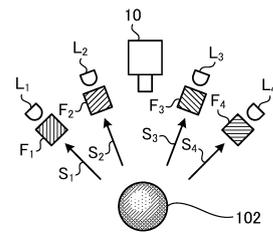
40

50

【 図 5 】

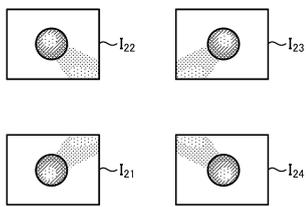


【 図 6 】

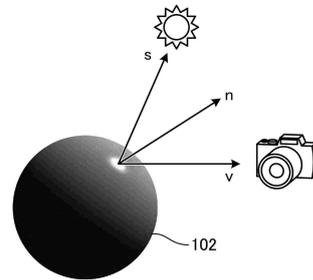


10

【 図 7 】



【 図 8 】



20

30

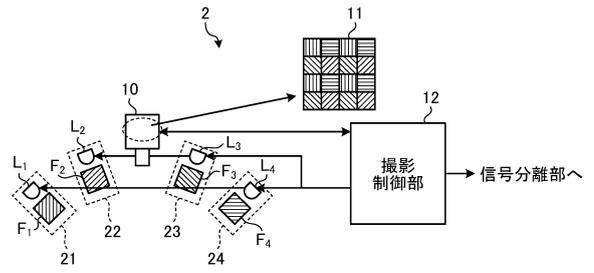
40

50

【図 9】

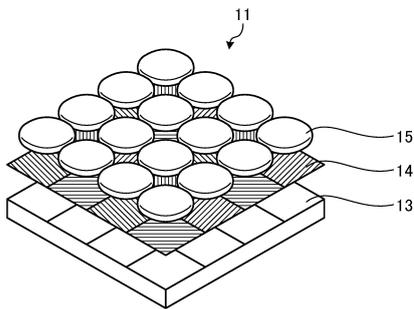
光源信号 (i)	1	2	3	4
偏光方向 (ϕ_i)	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
光源方向 (s_i)	s_1	s_2	s_3	s_4

【図 10】

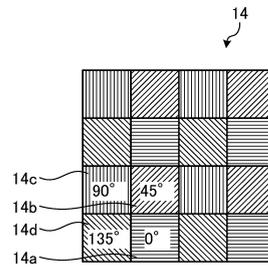


10

【図 11】



【図 12】



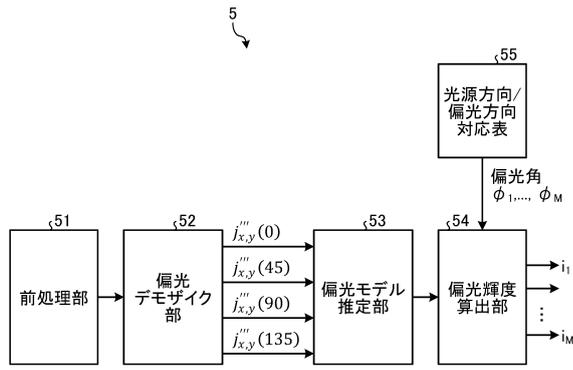
20

30

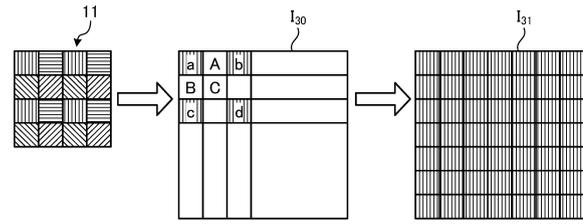
40

50

【図 1 3】

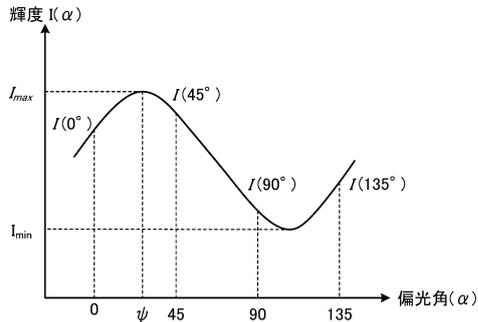


【図 1 4】

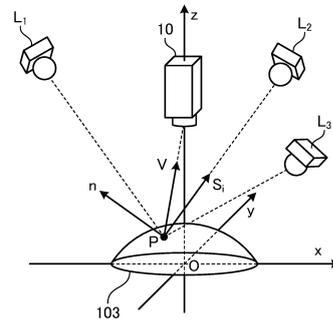


10

【図 1 5】



【図 1 6】



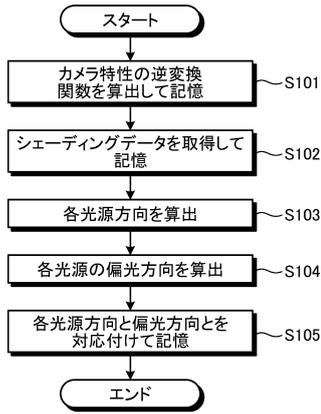
20

30

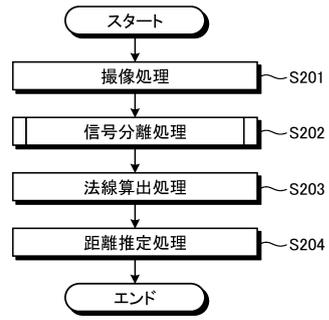
40

50

【 図 1 7 】

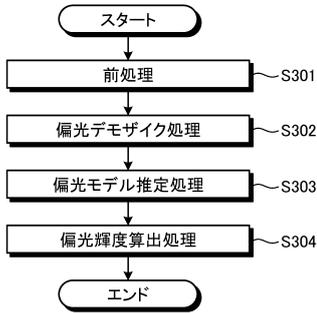


【 図 1 8 】

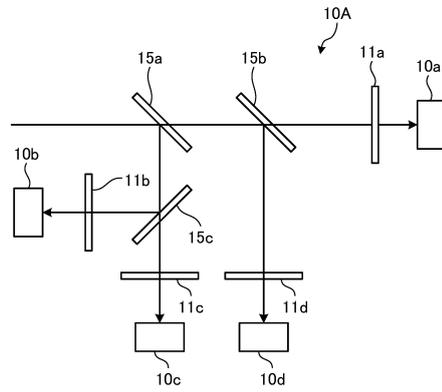


10

【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

G 0 3 B	35/08 (2021.01)	G 0 3 B	15/03	W
G 0 3 B	11/00 (2021.01)	G 0 3 B	35/08	
G 0 3 B	19/06 (2021.01)	G 0 3 B	11/00	
G 0 1 B	11/24 (2006.01)	G 0 3 B	19/06	
G 0 6 T	7/586(2017.01)	G 0 1 B	11/24	K
		G 0 6 T	7/586	

(56)参考文献

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 6 8 3 8 2 (U S , A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 1 8 5 0 2 (U S , A 1)

特開 2 0 1 8 - 0 7 3 1 2 2 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 N 2 3 / 6 0
H 0 4 N 2 3 / 5 6
H 0 4 N 2 3 / 5 4
G 0 3 B 1 5 / 0 2
G 0 3 B 1 5 / 0 3
G 0 3 B 3 5 / 0 8
G 0 3 B 1 1 / 0 0
G 0 3 B 1 9 / 0 6
G 0 1 B 1 1 / 2 4
G 0 6 T 7 / 5 8 6