

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-106227

(P2023-106227A)

(43)公開日 令和5年8月1日(2023.8.1)

(51)国際特許分類

G 0 1 S 17/894(2020.01)

F I

G 0 1 S 17/894

テーマコード(参考)

5 J 0 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全22頁)

(21)出願番号 特願2022-7432(P2022-7432)

(22)出願日 令和4年1月20日(2022.1.20)

(71)出願人 000006633

京セラ株式会社
京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

(74)代理人 100147485

弁理士 杉村 憲司

(74)代理人 230118913

弁護士 杉村 光嗣

(74)代理人 100132045

弁理士 坪内 伸

(74)代理人 100147692

弁理士 下地 健一

(72)発明者 林 佑介

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地
京セラ株式会社内

F ターム(参考) 5J084 AA04 AA05 AA10 AB01

最終頁に続く

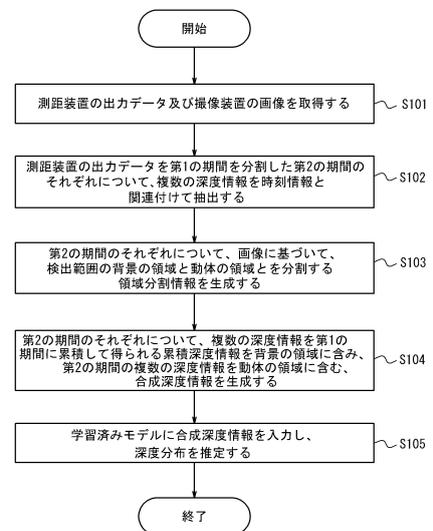
(54)【発明の名称】 深度情報処理装置、深度分布推定方法、深度分布検出システム及び学習済みモデル生成方法

(57)【要約】

【課題】測距装置の測定時刻のずれに起因する深度分布の歪み及びずれを低減する

【解決手段】本開示の実施形態の深度情報処理装置は、距離情報取得部と、画像取得部と、プロセッサとを備える。距離情報取得部は、走査型の測距装置から出力データを取得する。画像取得部は、測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像した画像を取得する。プロセッサは、出力データ及び画像に基づいて、測距装置の1フレームの期間である第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を推定する。前記深度分布の推定を行うため、プロセッサは、出力データから、第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、複数の処理を行い合成深度情報を生成する。プロセッサは、学習済みモデルに、生成した合成深度情報を入力することにより深度分布を推定する。

【選択図】図4



10

20

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

走査型の測距装置から出力データを取得する距離情報取得部と、
前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像した画像を取得する画像取得部と、
前記出力データ及び前記画像に基づいて、前記測距装置の1フレームの期間である第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を推定するプロセッサであって、
前記プロセッサは、

前記出力データから、前記第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成し、

前記画像から、前記第2の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成し、

前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第2の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含み、合成深度情報を生成し、

複数の前記第2の期間の合成深度情報を入力とし、前記第1の期間内の前記所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定するプロセッサとを備える深度情報処理装置。

【請求項 2】

前記学習済みモデルは、前記教師データを用いて学習を行う際、不確実性を含む演算を行って生成されたものであり、前記不確実性は機械学習の出力を正規分布の確率表現として算出する場合における分散を表す、請求項1に記載の深度情報処理装置。

【請求項 3】

前記測距装置の光学系の光軸と前記画像を撮像する光学系の光軸とが、実質的に一致している請求項1または2に記載の深度情報処理装置。

【請求項 4】

時系列の前記画像に対して、オプティカルフロー、それぞれの前記画像の間の差分、又は、複数の前記画像から得られる輝度のヒストグラムに基づいて、前記画像から前記領域分割情報を生成する、請求項1から3の何れか一項に記載の深度情報処理装置。

【請求項 5】

前記所定のタイミングは、前記第1の期間内の略中央の時刻である、請求項1から4の何れか一項に記載の深度情報処理装置。

【請求項 6】

推定される前記深度分布は、前記第1の期間に生成される深度情報の数の合計よりも大きい数の深度情報を含む、請求項1から5の何れか一項に記載の深度情報処理装置。

【請求項 7】

前記教師データの前記合成深度情報及び前記深度分布は、前記検出範囲に動体を仮想的に配置するシミュレーションを実行することにより生成される請求項1から6の何れか一項に記載の深度情報処理装置。

【請求項 8】

コンピュータのプロセッサが実行する深度分布推定方法であって、
走査型の測距装置から出力データを取得し、

前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像した画像を取得し、

前記出力データから、前記測距装置の1フレームの期間である第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成し、

前記画像から、前記第2の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成し、

前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して

10

20

30

40

50

得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第 2 の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成し、

複数の前記第 2 の期間の合成深度情報を入力とし、前記第 1 の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定する、方法。

【請求項 9】

走査型の測距装置と、

前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像する撮像装置と、

前記測距装置の出力データ及び前記撮像装置が撮像した画像に基づいて、前記測距装置の 1 フレームの期間である第 1 の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を算出するプロセッサを含む深度情報処理装置と

10

を備え、

前記プロセッサは、

前記出力データから、前記第 1 の期間を時間的に分割した複数の第 2 の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した 2 次元方向の位置及び前記第 2 の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成し、

前記画像から、前記第 2 の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成し、

前記第 2 の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第 1 の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第 2 の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成し、

20

複数の前記第 2 の期間の合成深度情報を入力とし、前記第 1 の期間内の前記所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定する、深度分布検出システム。

【請求項 10】

コンピュータが実行する学習済みモデル生成方法であって、

走査型の測距装置の 1 フレームの期間である第 1 の期間を時間的に分割した複数の第 2 の期間のそれぞれについて生成された複数の深度情報及び領域分割情報、並びに、前記第 1 の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を組合せたデータであって、それぞれの前記深度情報は、深度、該深度を検出した 2 次元方向の位置及び前記第 2 の期間に対応する時刻情報を含み、前記領域分割情報は、前記測距装置の検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する、前記データを複数取得又は生成し、

30

前記第 2 の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第 1 の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第 2 の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成し、

前記複数の前記第 2 の期間の前記合成深度情報を入力とし、前記深度分布を出力とする教師データを用いて機械学習を行うことにより学習済みモデルを生成する、学習済みモデル生成方法。

【請求項 11】

40

前記教師データを用いて前記学習済みモデルを生成する際、不確実性を含む演算を行ない、前記不確実性は機械学習の出力を正規分布の確率表現として算出する場合における分散を表す、請求項 10 に記載の学習済みモデル生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、深度情報処理装置、深度分布推定方法、深度分布検出システム及び学習済みモデル生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

物体の方位及び物体までの距離を測定するために、レーザレーダ等の走査型の測距装置が使用される。例えば、レーザレーダを用いて、自車両周囲にある物体までの距離及び方位を計測し、取得したデータ点列に基づき駐車車両の配置を判断する技術が開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-243857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、通常のレーザレーダは、レーザによる順次スキャンを行うため、カメラ映像に比べると解像度及びフレームレートが低くなる。また、走査型のレーザレーダにおいて、解像度を上げるために測定点を増やすと、走査時間が更に長くなる。さらに、検出対象が動体の場合、動体は、走査の最中に移動してしまう。このため、1フレームの測定間の測定時刻の違いに起因して、深度分布に歪み及びずれが生じ、正確な計測ができなくなってしまうことがある。

【0005】

したがって、これらの点に着目してなされた本開示の目的は、走査型の測距装置を用いた深度分布の測定において測定時刻の違いに起因する深度分布の歪み及びずれを低減することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の実施形態の深度情報処理装置は、距離情報取得部と、画像取得部と、プロセッサとを備える。前記距離情報取得部は、走査型の測距装置から出力データを取得する。前記画像取得部は、前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像した画像を取得する。前記プロセッサは、前記出力データ及び前記画像に基づいて、前記測距装置の1フレームの期間である第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を推定する。前記プロセッサは、前記出力データから、前記第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成する。前記プロセッサは、前記画像から、前記第2の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成する。前記プロセッサは、前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第2の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含み、合成深度情報を生成する。前記プロセッサは、さらに、複数の前記第2の期間の合成深度情報を入力とし、前記第1の期間内の前記所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定する。

【0007】

本開示の実施形態の深度分布推定方法は、コンピュータのプロセッサが実行する方法である。前記方法は、走査型の測距装置から出力データを取得することと、前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像した画像を取得することを含む。前記方法は、前記出力データから、前記第2の期間のそれぞれについて、前記測距装置の1フレームの期間である第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成することを含む。前記方法は、前記画像から、前記第2の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成することを含む。前記方法は、前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第2の期間の前記複

10

20

30

40

50

数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成することを含む。前記方法は、複数の前記第2の期間の合成深度情報を入力とし、前記第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定することを含む。

【0008】

本開示の実施形態に係る深度分布検出システムは、走査型の測距装置と、撮像装置と、深度情報処理装置とを含む。前記撮像装置は、前記測距装置の検出範囲と重複する範囲を撮像する。前記深度情報処理装置は、前記測距装置の出力データ及び前記撮像装置が撮像した画像に基づいて、前記測距装置の1フレームの期間である第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を算出するプロセッサを含む。前記プロセッサは、前記出力データから、前記第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含む複数の深度情報を生成する。前記プロセッサは、前記画像から、前記第2の期間のそれぞれについて、前記検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する領域分割情報を生成する。前記プロセッサは、前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第2の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成する。前記プロセッサは、複数の前記第2の期間の合成深度情報を入力とし、前記第1の期間内の前記所定のタイミングにおける深度分布を出力とする教師データを用いて学習させた学習済みモデルに、生成した前記合成深度情報を入力することにより前記深度分布を推定する。

【0009】

本開示の実施形態に係る学習済みモデル生成方法は、コンピュータが実行する学習済みモデル生成方法である。前記方法は、走査型測距装置の1フレームの期間である第1の期間を時間的に分割した複数の第2の期間のそれぞれについて生成された複数の深度情報及び領域分割情報、並びに、前記第1の期間内の所定のタイミングにおける深度分布を組合せたデータを複数取得又は生成する。それぞれの前記深度情報は、深度、該深度を検出した2次元方向の位置及び前記第2の期間に対応する時刻情報を含み、前記領域分割情報は、前記測距装置の検出範囲の背景の領域と動体の領域とを分割する。前記方法は、前記第2の期間のそれぞれについて、前記複数の深度情報を前記第1の期間に累積して得られる累積深度情報を前記背景の領域に含み、前記第2の期間の前記複数の深度情報を前記動体の領域に含む、合成深度情報を生成する。前記方法は、前記複数の前記第2の期間の前記合成深度情報を入力とし、前記深度分布を出力とする教師データを用いて機械学習を行うことにより学習済みモデルを生成する。

【発明の効果】

【0010】

本開示の実施形態によれば、走査型の測距装置を用いた深度分布の測定において、測定時刻のずれに起因する深度分布の歪み及びずれを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本開示の一実施形態に係る深度分布検出システムの基本的な構成を示す構成図である。

【図2】図1の深度分布検出システムのより詳細な一例を示す構成図である。

【図3】図1の深度情報処理装置の概略構成を示すブロック図である。

【図4】図1の深度情報処理装置が実行する処理を示すフローチャートである。

【図5】図1の測距装置及び撮像装置が検出する場面の一例を示す図である。

【図6】図1の測距装置の1フレームの測距期間に深度情報処理装置が取得する画像及び深度情報を説明する図である。

【図7】領域分割情報を生成する方法を説明する図である。

【図8】合成深度情報を生成する方法を説明する図である。

【図9】学習済みモデルを生成する学習用コンピュータの概略構成を示す構成図である。

【図 10】学習用コンピュータにより学習済みモデルを生成する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】

【0012】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照して説明する。以下の説明で用いられる図は模式的なものである。図面上の寸法及び比率等は現実のものとは必ずしも一致していない。

【0013】

本開示の一実施形態に係る深度分布検出システム 10 は、図 1 に示すように、測距装置 11、撮像装置 12 及び深度情報処理装置 13 を含む。なお、本願において、深度は測距装置 11 から対象までの距離を意味する。本願において、深度は距離と同義に用いられる。

10

【0014】

測距装置 11 は、レーザレーダ等の走査型の測距装置である。レーザレーダは、検出範囲にレーザ光を照射し、反射されたレーザ光が戻ってくるまでの時間を計測する。レーザレーダは、LiDAR (Light Detection And Ranging) とも称される。撮像装置 12 は、撮像光学系及び撮像素子を有し、検出範囲の画像を取得する。撮像装置 12 は、測距装置 11 の検出範囲と重複する範囲を撮像するように構成される。

【0015】

測距装置 11 と撮像装置 12 とは、対象を観察する座標系が実質的に一致又は近接するように構成することができる。このため、測距装置 11 と撮像装置 12 とは、被写体を検出又は撮像する光学系 14 の光軸 a_x が、一致するように構成されてよい。光学系 14 は、種々の構成のものが含まれる。また、測距装置 11 と撮像装置 12 とは、被写体を検出又は撮像する光学系の光軸が、互いに平行に近接して配置されてもよい。この場合、測距装置 11 と撮像装置 12 との光軸を一致させるための光学系 14 は無くてもよい。測距装置 11 と撮像装置 12 とでは、検出するデータ及び画像間に視差が無いが、又は、視差が小さい。測距装置 11 の出力する深度と撮像装置 12 の出力する画像とは、位置が対応するように重ね合わせることができる。

20

【0016】

測距装置 11 及び撮像装置 12 は、背景に対して固定して配置される。このため、測距装置 11 及び撮像装置 12 は、静止物に対して固定されてよい。例えば、深度分布検出システム 10 が屋外で使用される場合、測距装置 11 及び撮像装置 12 は、路側又は道路上部に設けられた構造物等に固定されてよい。

30

【0017】

深度情報処理装置 13 は、コンピュータである。深度情報処理装置 13 は、汎用コンピュータ、ワークステーション、及び、PC (Personal Computer) 等を含む種々のコンピュータの何れかであってよい。深度情報処理装置 13 は、専用のプログラム及びデータを読み込んで以下に説明する深度情報処理装置 13 の各機能を実行してよい。

【0018】

深度情報処理装置 13 が取得する測距装置 11 からの出力データは、少なくとも測定対象の方向を示す 2 次元の位置情報と、距離の情報を含む。2 次元の位置情報は、撮像装置 12 により撮像される画像上の位置に対応する。出力データは、さらに、深度を測定した時刻の情報を含んでよい。深度情報処理装置 13 は、さらに、撮像装置 12 から撮像装置 12 が撮像した画像を取得する。

40

【0019】

深度情報処理装置 13 は、測距装置 11 から出力された出力データ及び撮像装置 12 から出力された画像に基づいて、測距装置 11 の 1 フレームの期間である第 1 の期間 T_1 内の所定のタイミングにおける深度分布を推定する。本願において、「深度分布」は、測距装置 11 が観察する検出範囲を平面視したときの 2 次元的な深度の分布を表す。「深度分

50

布」は、「深度マップ」と類似の意味に用いられる。「深度分布」は画像として表現される必要は無い。所定のタイミングは、例えば、測距装置 1 1 の 1 フレームの中央の時刻とすることができる。深度情報処理装置 1 3 が推定する深度分布は、測距装置 1 1 の測定時刻の違いに起因する歪み及びずれが低減されたものとなる。深度情報処理装置 1 3 は、機械学習による学習済みモデルを備えており、測距装置 1 1 から出力された出力データ及び撮像装置 1 2 から出力された画像を用いて、機械学習により深度分布を推定することができる。

【 0 0 2 0 】

深度分布検出システム 1 0 のより具体的な一例を、図 2 を参照して説明する。深度分布検出システム 1 0 は、測距装置 1 1 及び撮像装置 1 2 の機能を包含する検出装置 2 1 と、深度情報処理装置 1 3 とを含む。検出装置 2 1 は、測距装置 1 1 に対応する構成要素として、照射部 2 2、反射部 2 3、制御部 2 4、第 1 の光学系 2 5 及び検出素子 2 6 を含む。また、検出装置 2 1 は、撮像装置 1 2 に対応する構成要素として、制御部 2 4、第 2 の光学系 2 7 及び撮像素子 2 8 を含む。検出装置 2 1 は、さらに、切替部 3 2 を含む。

10

【 0 0 2 1 】

(深度情報の取得)

照射部 2 2 は、赤外線、可視光線、紫外線、および電波の少なくともいずれかの電磁波を放射する。一実施形態において、照射部 2 2 は、赤外線を放射する。照射部 2 2 は、放射する電磁波を、対象 o b に向けて、直接または反射部 2 3 を介して間接的に、照射する。図 2 に図示する実施形態において、照射部 2 2 は、放射する電磁波を、対象 o b に向けて、反射部 2 3 を介して間接的に照射する。

20

【 0 0 2 2 】

一実施形態においては、照射部 2 2 は、幅の細い、例えば 0 . 5 ° のビーム状の電磁波を放射する。また、一実施形態において、照射部 2 2 は電磁波をパルス状に放射可能である。例えば、照射部 2 2 は、LED (Light Emitting Diode) および LD (Laser Diode) などを含む。照射部 2 2 は、後述する制御部 2 4 の制御に基づいて、電磁波の放射および停止を切替える。

【 0 0 2 3 】

反射部 2 3 は、照射部 2 2 から放射された電磁波を、向きを変えながら反射することにより、対象 o b に照射される電磁波の照射位置を変更する。照射位置は、測距装置 1 1 が距離を測定する検出位置に等しい。反射部 2 3 は、照射部 2 2 から放射される電磁波により、対象 o b を走査する。したがって、検出素子 2 6 は、反射部 2 3 と協同して、走査型の測距センサを構成する。

30

【 0 0 2 4 】

反射部 2 3 は、電磁波の照射位置を 2 次元方向に検出範囲で走査することができる。反射部 2 3 は、測距装置 1 1 が検出を行う照射位置を、プログレッシブ走査方式のように、水平方向に走査しながら順次垂直方向にずらしていく規則的な走査を行うことができる。また、反射部 2 3 は、電磁波の照射位置を、順次 2 次元方向にランダムな位置に設定してよい。本開示では、ランダムに照射位置を変えて順次測定を行うことも、「走査」に含む。反射部 2 3 は、他の任意の方法で、検出範囲を走査してよい。

40

【 0 0 2 5 】

反射部 2 3 は、照射部 2 2 から放射されて反射した電磁波の照射領域の少なくとも一部が、検出素子 2 6 の検出範囲に含まれるように構成されている。したがって、反射部 2 3 を介して対象 o b に照射される電磁波の少なくとも一部は、検出素子 2 6 において検出され得る。

【 0 0 2 6 】

反射部 2 3 は、例えば、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラー、ポリゴンミラー、およびガルバノミラーなどを含む。

【 0 0 2 7 】

反射部 2 3 は、後述する制御部 2 4 の制御に基づいて、電磁波を反射する向きを変える

50

。また、反射部 23 は、例えばエンコーダなどの角度センサを有してもよく、角度センサが検出する角度を、電磁波を反射する方向情報として、制御部 24 に通知してもよい。このような構成において、制御部 24 は、反射部 23 から取得する方向情報に基づいて、照射位置を算出し得る。また、制御部 24 は、反射部 23 に電磁波を反射する向きを変えさせるために入力する駆動信号に基づいて照射位置を算出し得る。

【0028】

制御部 24 が、反射部 23 から取得する方向情報、又は、反射部 23 に入力する駆動信号に基づいて照射位置、すなわち深度を検出する検出位置を算出する場合、反射部 23 は、電磁波を走査する方向の中心軸が光軸 a_x に実質的に平行且つ近接して配置することができる。この場合、測距装置 11 による検出軸は、反射部 23 により電磁波を走査する中心軸となる。

10

【0029】

制御部 24 は、1 以上のプロセッサおよびメモリを含む。プロセッサは、特定のプログラムを読み込ませて特定の機能を実行する汎用のプロセッサ、および特定の処理に特化した専用のプロセッサの少なくともいずれかを含んでよい。専用のプロセッサは、特定用途向け IC (ASIC; Application Specific Integrated Circuit) を含んでよい。プロセッサは、プログラマブルロジックデバイス (PLD; Programmable Logic Device) を含んでよい。PLD は、FPGA (Field-Programmable Gate Array) を含んでよい。制御部 24 は、1 つまたは複数のプロセッサが協働する SoC (System-on-a-Chip)、および SiP (System In a Package) の少なくともいずれかを含んでもよい。

20

【0030】

制御部 24 は、反射部 23 及び切替部 32 を制御可能に構成される。制御部 24 は、反射部 23 による電磁波の照射位置及び照射時刻に応じて、検出素子 26 が反射された電磁波を取得できるように切替部 32 を制御することができる。制御部 24 は、後述するように、検出素子 26 から検出情報を取得し、深度情報を生成することができる。また、制御部 24 は、撮像素子 28 から画像信号を取得することができる。制御部 24 は、深度情報及び画像信号を深度情報処理装置 13 に出力することができる。

【0031】

30

第 1 の光学系 25 は、照射部 22 から照射され且つ反射部 23 により反射されることにより、検出範囲に向けて照射された電磁波の対象 o_b からの反射波を、検出素子 26 に検出されるように進行させる。

【0032】

検出素子 26 は、照射部 22 から出射した電磁波を検出可能な素子を含む。例えば、検出素子 26 は、APD (Avalanche Photodiode)、PD (Photodiode) および測距イメージセンサなどの単一の素子を含む。検出素子 26 は、APD アレイ、PD アレイ、測距イメージングアレイ、および測距イメージセンサなどの素子アレイを含むものであってもよい。一実施形態において、検出素子 26 は、被写体からの反射波を検出したことを示す検出情報を信号として制御部 24 に送信する。検出素子 26 は、例えば、赤外線帯域の電磁波を検出する。

40

【0033】

なお、検出素子 26 は、上述した測距センサを構成する単一の素子である構成において、電磁波を検出できればよく、対象 o_b が検出面において結像される必要はない。それゆえ、検出素子 26 は、第 1 の後段光学系 30 による結像位置である二次結像位置に設けられなくてもよい。すなわち、この構成において、検出素子 26 は、すべての画角からの電磁波が検出面上に入射可能な位置であれば、切替部 32 により第 1 の方向 d_1 に進行した後、第 1 の後段光学系 30 を経由して進行する電磁波の経路上のどこに配置されてもよい。

【0034】

50

制御部 24 は、検出素子 26 が検出した電磁波に基づいて、深度を取得する。制御部 24 は、検出素子 26 が検出する検出情報に基づいて、以下に説明するように、ToF (Time-of-Flight) 方式により、照射部 22 により照射される照射位置の深度を取得する。

【0035】

制御部 24 は、照射部 22 に電磁波放射信号を入力することにより、照射部 22 にパルス状の電磁波を放射させる。照射部 22 は、入力された当該電磁波放射信号に基づいて電磁波を照射する。照射部 22 が放射し且つ反射部 23 が反射して任意の照射領域に照射された電磁波は、当該照射領域において反射する。そして、検出素子 26 は、当該照射領域において反射された電磁波を検出するとき、検出情報を制御部 24 に通知する。

10

【0036】

制御部 24 は、照射部 22 に電磁波を放射させた時刻から、検出情報を取得した時刻までの時間を計測する。制御部 24 は、当該時間に、光速を乗算し、且つ 2 で除算することにより、照射位置までの距離を算出する。検出素子 26 が単一の素子である場合、制御部 24 は、上述のように、反射部 23 から取得する方向情報、または自身が反射部 23 に出力する駆動信号に基づいて、照射位置を算出する。検出素子 26 が素子のアレイを含む場合、制御部 24 は、対象 ob により反射された電磁波が素子アレイ上で検出される位置により、照射位置を算出することができる。この場合、撮像素子 28 から得られる画像と視差が無い略同じ座標軸で照射位置を特定できる。制御部 24 は、照射位置を変えながら、各照射位置までの距離を算出することにより深度と検出位置の情報を含む出力データを作成する。

20

【0037】

(画像情報の取得)

第 2 の光学系 27 は、検出素子 26 の検出範囲、すなわち、測距装置 11 の検出範囲と重複する範囲の対象 ob の像を撮像素子 28 の検出面上に結像させる。

【0038】

撮像素子 28 は、検出面において結像した像を電気信号に変換して、対象 ob を含む検出範囲の画像を生成する。撮像素子 28 は、CCD イメージセンサ (Charge-Coupled Device Image Sensor) 及び CMOS イメージセンサ (Complementary MOS Image Sensor) の何れかを含んでよい。

30

【0039】

撮像素子 28 は、生成した画像を制御部 24 に出力する。制御部 24 は、画像について、歪み補正、明度調整、コントラスト調整、ガンマ補正等の任意の処理を行ってもよい。制御部 24 は、検出素子 26 から出力される出力データの座標系と、撮像素子 28 から出力される画像の座標系との間にずれがある場合、これらが相互に近づけるように調整を行ってよい。

【0040】

(光学系と切替部の構成)

第 1 の光学系 25 は、第 2 の光学系 27 と共通の前段光学系 29 と、切替部 32 の後段に位置する第 1 の後段光学系 30 を含む。第 2 の光学系 27 は、第 1 の光学系 25 と共通の前段光学系 29 と、切替部 32 の後段に位置する第 2 の後段光学系 31 を含む。前段光学系 29 は、例えば、レンズおよびミラーの少なくとも一方を含み、被写体となる対象 ob の像を結像させる。

40

【0041】

切替部 32 は、前段光学系 29 から所定の位置において離れた対象 ob の像の、前段光学系 29 による結像位置である一次結像位置、又は当該一次結像位置近傍に、設けられていけばよい。切替部 32 は、前段光学系 29 を通過した電磁波が入射する作用面 as を有している。作用面 as は、2 次元状に沿って並ぶ複数の画素 px によって構成されている。作用面 as は、後述する第 1 の状態および第 2 の状態の少なくともいずれかにおいて、電磁波に、例えば、反射および透過などの作用を生じさせる面である。

50

【 0 0 4 2 】

切替部 3 2 は、作用面 a s に入射する電磁波を、第 1 の方向 d 1 に進行させる第 1 の状態と、第 2 の方向 d 2 に進行させる第 2 の状態とに、画素 p x 毎に切替可能である。第 1 の状態は、作用面 a s に入射する電磁波を、第 1 の方向 d 1 に反射する第 1 の反射状態である。また、第 2 の状態は、作用面 a s に入射する電磁波を、第 2 の方向 d 2 に反射する第 2 の反射状態である。

【 0 0 4 3 】

切替部 3 2 は、さらに具体的には、画素 p x 毎に電磁波を反射する反射面を含んでいる。切替部 3 2 は、画素 p x 毎の反射面の向きを変更することにより、第 1 の反射状態および第 2 の反射状態を画素 p x 毎に切替える。一実施形態において、切替部 3 2 は、例えば DMD (Digital Micro mirror Device : デジタルマイクロミラーデバイス) を含む。DMD は、作用面 a s を構成する微小な反射面を駆動することにより、画素 p x 毎に当該反射面を作用面 a s に対して所定の角度、例えば + 1 2 ° および - 1 2 ° のいずれかの傾斜状態に切替可能である。なお、作用面 a s は、DMD における微小な反射面を載置する基板の板面に平行である。

10

【 0 0 4 4 】

切替部 3 2 は、制御部 2 4 の制御に基づいて、第 1 の状態および第 2 の状態を、画素 p x 毎に切替える。例えば、切替部 3 2 は、同時に、一部の画素 p x 1 を第 1 の状態に切替えることにより当該画素 p x 1 に入射する電磁波を第 1 の方向 d 1 に進行させ得、別の一部の画素 p x 2 を第 2 の状態に切替えることにより当該画素 p x 2 に入射する電磁波を第 2 の方向 d 2 に進行させ得る。また、切替部 3 2 は、同一の画素 p x を第 1 の状態から第 2 の状態に切替えることにより、当該画素 p x に入射する電磁波を第 1 の方向 d 1 の次に第 2 の方向 d 2 に向けて進行させ得る。

20

【 0 0 4 5 】

図 2 に示すように、第 1 の後段光学系 3 0 は、切替部 3 2 から第 1 の方向 d 1 に設けられている。第 1 の後段光学系 3 0 は、例えば、レンズおよびミラーの少なくとも一方を含む。第 1 の後段光学系 3 0 は、切替部 3 2 において進行方向を切替えられた電磁波を、検出素子 2 6 に入射させる。

【 0 0 4 6 】

第 2 の後段光学系 3 1 は、切替部 3 2 から第 2 の方向 d 2 に設けられている。第 2 の後段光学系 3 1 は、例えば、レンズおよびミラーの少なくとも一方を含む。第 2 の後段光学系 3 1 は、切替部 3 2 において進行方向を切替えられた電磁波としての対象 o b の画像を撮像素子 2 8 の検出面上に結像させる。

30

【 0 0 4 7 】

以上のような構成により、検出装置 2 1 は、前段光学系 2 9 の光軸を、第 1 の状態において電磁波を進行させる第 1 の方向 d 1 における第 1 の後段光学系 3 0 の光軸に、かつ第 2 の状態において電磁波を進行させる第 2 の方向 d 2 における第 2 の後段光学系 3 1 の光軸に合わせることが可能となる。したがって、検出装置 2 1 は、切替部 3 2 の画素 p x を第 1 の状態および第 2 の状態のいずれかに切替えることにより、素子アレイである場合の検出素子 2 6 が検出する深度と撮像素子 2 8 が撮像する画像との視差のずれを低減し得る。

40

【 0 0 4 8 】

制御部 2 4 は、反射部 2 3 が照射位置を移動させるに従って、切替部 3 2 における一部の画素 p x を第 1 の状態に切替え、且つ別の一部の画素 p x を第 2 の状態に切替え得る。したがって、検出装置 2 1 は、一部の画素 p x において検出素子 2 6 に電磁波を検出させながら、同時に別の一部の画素 p x において撮像素子 2 8 に画像を検出させ得る。これにより、検出装置 2 1 は、同じ視野内の深度と電磁波の照射位置の近傍を除いた部分の画像とを実質的に同時に取得することができる。

【 0 0 4 9 】

なお、図 2 の構成例では、測距装置 1 1 の検出光軸と、撮像装置 1 2 の光軸とを一致又

50

は近接させるために、切替部 3 2 を含む光学系を用いた。しかし、測距装置 1 1 と撮像装置 1 2 との光軸を一致又は近接させる方法は、これに限られない。例えば、図 1 の光学系 1 4 は、測距装置 1 1 の検出する光と撮像装置 1 2 の撮像する画像との波長の差異を利用し、ダイクロミックミラー又はダイクロミックプリズムを用いて、測距装置 1 1 の光学系の光軸と撮像装置 1 2 の光軸とを実質的に一致させる構成とすることができる。

【 0 0 5 0 】

(深度情報処理装置)

一実施形態に係る深度情報処理装置 1 3 は、図 3 に示すように、距離情報取得部 4 1 、画像取得部 4 2 、制御部 4 3 、記憶部 4 4 及び出力部 4 5 を含む。

【 0 0 5 1 】

距離情報取得部 4 1 は、測距装置 1 1 から出力データを取得する。距離情報取得部 4 1 は、測距装置 1 1 と通信する通信モジュールを含んでよい。図 2 の検出装置 2 1 の場合、距離情報取得部 4 1 は、測距装置 1 1 の一部を構成する制御部 2 4 から出力データを取得する。出力データは、少なくとも、検出範囲を平面視したときの検出位置を示す 2 次元の位置情報と、当該位置に位置する対象 o b までの距離である深度の測定値を含む。出力データは、さらに、深度を検出した時刻の情報を含んでよい。時刻の情報は、深度情報処理装置 1 3 が出力データを取得した時刻に基づいて付与することもできる。

【 0 0 5 2 】

画像取得部 4 2 は、撮像装置 1 2 から画像を取得する。画像取得部 4 2 は、撮像装置 1 2 と通信する通信モジュールを含んでよい。図 2 の検出装置 2 1 の場合、画像取得部 4 2 は、撮像装置 1 2 の一部を構成する制御部 2 4 から画像を取得する。画像取得部 4 2 が取得する画像は、画像を撮像した時刻の情報を含むことができる。時刻の情報は、深度情報処理装置 1 3 が画像を取得した時刻に基づいて付与することもできる。測距装置 1 1 の出力データの時刻の情報と、画像の時刻の情報とは同期している必要がある。

【 0 0 5 3 】

制御部 4 3 は、検出装置 2 1 の制御部 2 4 と同様に、1 以上のプロセッサ及びメモリを含む。制御部 4 3 は、検出装置 2 1 の制御部 2 4 と同様に、特定のプログラムを読み込ませて特定の機能を実行する汎用のプロセッサ、および特定の処理に特化した専用のプロセッサの少なくともいずれかを含んでよい。

【 0 0 5 4 】

制御部 4 3 は、深度情報処理装置 1 3 の全体を制御するとともに、距離情報取得部 4 1 で取得した出力データ及び画像取得部 4 2 で取得した画像に基づいて、所定のタイミングの深度分布を推定するための種々の処理を実行する。制御部 4 3 が実行する処理には、以下において説明する機械学習を用いた深度分布の推定が含まれる。

【 0 0 5 5 】

記憶部 4 4 は、半導体メモリ及び / 又は磁気メモリを含む。記憶部 4 4 は、例えば主記憶装置、補助記憶装置、又はキャッシュメモリとして機能してもよい。記憶部 4 4 は、深度情報処理装置 1 3 の動作に用いられる任意の情報を記憶する。例えば、記憶部 4 4 は、システムプログラム、アプリケーションプログラム、管理データベース等を記憶してもよい。記憶部 4 4 は、距離情報取得部 4 1 で取得した出力データ及び画像取得部 4 2 で取得した画像、並びに、これらから加工して得られた情報を、一時的に保存することができる。

【 0 0 5 6 】

記憶部 4 4 は、他のコンピュータ (「学習用コンピュータ」とする) 又は深度情報処理装置 1 3 で、機械学習により生成された学習済みモデル 4 6 を記憶する。学習済みモデル 4 6 は、距離情報取得部 4 1 で取得した出力データ及び画像取得部 4 2 で取得した画像を前処理したデータを入力とし、所定のタイミングの深度分布を出力とするデータセットを用いて機械学習により生成される。学習済みモデル 4 6 は、プログラム及びパラメータの形式で記憶されてよい。制御部 4 3 は、記憶部 4 4 から学習済みモデル 4 6 を読みだして使用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

出力部 4 5 は、深度情報処理装置 1 3 から外部に情報を出力可能に構成される。出力部 4 5 は、ディスプレイ、外部のコンピュータに情報を送信する通信モジュール、記憶媒体に情報を出力する装置等の何れか一つ以上を含む。

【 0 0 5 8 】

(深度分布の推定処理)

以下に、制御部 4 3 が実行する深度分布の推定処理を、図 4 のフローチャートを用いて説明する。深度情報処理装置 1 3 は、以下に説明する制御部 4 3 が行う処理を、非一時的なコンピュータ可読媒体に記録されたプログラムを読み込んで実装するように構成されてよい。非一時的なコンピュータ可読媒体は、磁気記憶媒体、光学記憶媒体、光磁気記憶媒体、半導体記憶媒体を含むがこれらに限られない。

10

【 0 0 5 9 】

まず、制御部 4 3 は、距離情報取得部 4 1 を介して測距装置 1 1 の出力データを取得し、画像取得部 4 2 を介して撮像装置 1 2 の撮像した画像を取得する (ステップ S 1 0 1)

【 0 0 6 0 】

図 5 は、深度分布検出システム 1 0 の検出範囲内の場面の一例を示す図である。例えば、測距装置 1 1 及び撮像装置 1 2 又は検出装置 2 1 が、道路の横又は上方の構造物に固定され、道路上を走行する動体 M O を検出しているものとする。動体 M O は、例えば、自動車、自転車及び歩行者の何れかであってよい。図 5 は一つの動体 M O を含むが、動体 M O

20

【 0 0 6 1 】

測距装置 1 1 のフレームレート及び解像度は、撮像装置 1 2 のフレームレート及び解像度よりも低い。測距装置 1 1 の 1 フレームの期間を第 1 の期間 T_1 とする。例えば、測距装置 1 1 のフレームレートは、3 f p s であり、第 1 の期間 T_1 は、1 / 3 秒である。また、測距装置 1 1 が 1 フレームの間に、測定できる深度の数は、例えば、横方向 1 2 0、縦方向 2 0 の合計 2 4 0 0 とすることができる。例えば、動体 M O が自動車の場合、測距装置 1 1 が 1 フレームの走査をする間に、動体 M O は、測距装置 1 1 が測定を行う視野内で移動する。そのため、第 1 の期間 T_1 の間に得られる深度を集めて深度分布を生成しても、測定時刻の違いに起因して、特定の時刻の瞬間的な深度分布を得ることができない。

30

【 0 0 6 2 】

図 6 の下段に示すように、制御部 4 3 は、測距装置 1 1 の出力データに基づき、第 1 の期間 T_1 を分割した複数の第 2 の期間 T_2 のそれぞれについて、複数の深度を時刻情報と関連付けて抽出する (ステップ S 1 0 2)。制御部 4 3 は、例えば、第 1 の期間 T_1 を 1 0 0 の第 2 の期間 T_2 に分割することができる。例えば、第 1 の期間 T_1 の長さが、1 / 3 秒の場合、第 2 の期間 T_2 の長さは、1 / 3 0 0 秒とすることができる。第 1 の期間 T_1 を第 2 の期間 T_2 に分割する数 n は、1 0 0 に限られず任意の数とすることができる。

【 0 0 6 3 】

図 6 に示すように、それぞれの第 2 の期間 T_2 について、それぞれの第 2 の期間 T_2 に測距装置 1 1 で検出された深度が深度情報 d_i として抽出される。深度情報 d_i は深度の測定値と、深度の検出位置を示す 2 次元の位置情報及び時刻情報とを関連付けた情報である。それぞれの第 2 の期間 T_2 に検出された複数の深度情報 d_i の集合を短期間深度情報分布 $S D k$ ($k = 1 \sim n$) とする。例えば、測距装置 1 1 が 1 フレームの間に、横方向 1 2 0、縦方向 2 0 の合計 2 4 0 0 の深度を測定し、 $n = 1 0 0$ の場合、各短期間深度情報分布 $S D k$ に含まれる深度情報 d_i の数は横方向 1 2、縦方向 2 の合計 2 4 とすることができる。図 6 は単に説明のための図であるから、各短期間深度情報分布 $S D k$ 内の深度情報 d_i の数を少数の点で表示している。

40

【 0 0 6 4 】

50

図6において、測距装置11は、検出範囲内でランダムな位置の深度を順次取得するものとしている。しかし、測距装置11は、検出範囲内で深度を規則的に走査して取得してよい。

【0065】

また、制御部43は、第1の期間 T_1 に渡って、1フレームの深度情報 d_i を累積した情報を、累積深度情報ADとして生成してよい。累積深度情報ADは、深度情報 d_i を検出範囲の2次元の座標に対応付けて画像として表現したとき、測定時刻の違いに起因する歪み及びずれのある画像となる情報である。

【0066】

各短期間深度情報分布 SD_k ($k = 1 \sim n$)に含まれる深度情報 d_i には、それぞれの各短期間深度情報分布 SD_k ($k = 1 \sim n$)に応じた時刻情報が付与される。一例として、各短期間深度情報分布 SD_k ($k = 1 \sim n$)に属する深度情報 d_i には、第2の期間 T_2 の終了する時刻が時刻情報として付与されてよい。例えば、第1の期間 T_1 の開始時刻を0とする場合、短期間深度情報分布 SD_k ($k = 1 \sim n$)に含まれる深度情報 d_i には、 $t = T_1 \times k / n$ の時刻情報が付与される。なお、測距装置11が出力する出力データに深度を測定した時刻の情報が含まれる場合、これをそのまま深度情報 d_i の時刻情報としてもよい。このようにして、各深度情報 d_i に含まれる深度の測定値は、検出範囲を平面視したときの検出位置を示す2次元の座標と時刻情報とを含む3次元のボクセル(Voxel)に対応付けられる。

【0067】

次に、制御部43は、第2の期間 T_2 のそれぞれについて、撮像装置12から取得した画像に基づいて、検出範囲の背景BGの領域と動体MOの領域とを分割する領域分割情報 SI_k ($k = 1 \sim n$) (図7参照)を生成する(ステップS103)。このため、制御部43は、撮像装置12から取得した画像から、第1の期間 T_1 の所定のタイミングで画像を抽出する。例えば、図6に示すように、制御部43は、第1の期間 T_1 の開始時刻を $t = 0$ とするとき、 $t = 0$ のときの画像IM1と、第1の期間 T_1 の終了時刻である $t = T_1$ のときの画像IM2とを取得してよい。

【0068】

制御部43は、撮像装置12から取得した時系列の画像に対してオプティカルフロー法を用いて、それぞれの第2の期間 T_2 の終了時刻における、動体MOの位置を推定する。すなわち、制御部43は、図7に示すように、第1の画像MI1から動体MOを抽出し、第2の画像MI2から同じ動体MO(図7において、MO'とする)を抽出する。制御部43は、動体MOの特徴点を抽出し第1の画像MI1と第2の画像MI2との間の特徴点の変位ベクトル v を算出する。制御部43は、各特徴点が等速で移動することを想定して、それぞれの第2の期間 T_2 に対応する時刻の動体MOの位置を推定する。

【0069】

制御部43は、それぞれの第2の期間 T_2 における動体MOの位置に基づいて、領域分割情報 SI_k ($k = 1 \sim n$)を決定する。領域分割情報 SI_k ($k = 1 \sim n$)は、動体MOが存在する領域である動体領域MAと、動体領域MA以外の背景BGの領域である背景領域BAとの境界を示す領域境界ABの情報を含む。図7では、単に説明のために領域境界ABは、長方形で示しているが、領域境界は動体MOを平面視した外形に沿うものとする。

【0070】

なお、領域分割情報 SI_k ($k = 1 \sim n$)を生成する方法は、オプティカルフローを用いるものに限られない。例えば、制御部43はそれぞれの第2の期間 T_2 に対応する時刻 $t = T_1 \cdot k / n$ に撮像された画像を取得し、直前の第2の期間 T_2 の画像と差分をとることができる。制御部43は、差分が実質的に0の領域を、画像が変化していないので背景領域BAであると判断しうる。また、制御部43は、差分が実質的に0以外の領域を、画像が変化しているので動体領域MAであると判断しうる。なお、差分が実質的に0であるとは、差分が0であるか検出誤差範囲内の僅かな値であることを示す。

10

20

30

40

50

【0071】

また、制御部43は、各画素について複数の画像から輝度のヒストグラムを生成し、このヒストグラムに基づいて領域分割情報 $S I k$ ($k = 1 \sim n$)を生成することができる。ヒストグラムは、横軸に輝度、縦軸に頻度をとったグラフとして表現される。複数の画像に基づき、特定の輝度の頻度が所定値よりも高い画素の位置は、背景領域 $B A$ に該当すると判断することができる。輝度の頻度が広く分布している画素の位置は、動体領域 $M A$ と判断することができる。

【0072】

さらに、制御部43は、図8に示すように、第2の期間 T_2 のそれぞれについて、累積深度情報 $A D$ を背景領域 $B A$ に含み、第2の期間 T_2 の複数の深度情報 $d i$ を動体領域 $M A$ に含む、合成深度情報 $C D k$ ($k = 1 \sim n$)を生成する(ステップ $S 104$)。 10

【0073】

すなわち、制御部43は、第2の期間 T_2 のそれぞれについてステップ $S 103$ で生成した領域分割情報 $S I k$ ($k = 1 \sim n$)を適用して、測距装置11の検出範囲を平面視した2次元領域を分割する。制御部43は、動体領域 $M A$ には、短期間深度情報分布 $S D k$ ($k = 1 \sim n$)の深度情報 $d i$ を採用し、背景領域 $B A$ には累積深度情報 $A D$ の深度情報 $d i$ を採用して、合成深度情報 $C D k$ ($k = 1 \sim n$)を生成する。その結果、合成深度情報 $C D k$ ($k = 1 \sim n$)の背景領域 $B A$ は、1フレームの深度情報 $d i$ を反映した、高密度の深度情報 $d i$ を含む。背景領域 $B A$ では、時間と共に検出対象が変化しないので、このように1フレームあたり累積した多数の深度情報 $d i$ を使用することができる。一方、 20
動体領域 $M A$ では、深度情報 $d i$ が時間と共に変化するので、各第2の期間 T_2 の低解像度の深度情報 $d i$ を使用する。なお、図8は単に説明のための図なので、深度情報 $d i$ を少数の点で表している。深度情報 $d i$ はより高密度に取得することができる。

【0074】

このように、背景領域 $B A$ の深度情報 $d i$ の密度を高くすることにより、合成深度情報 $C D k$ ($k = 1 \sim n$)を機械学習の入力として使用する場合に、深度分布の推定精度を向上させることができる。

【0075】

次に、制御部43は、ステップ $S 104$ で生成した n 個の合成深度情報 $C D k$ ($k = 1 \sim n$)を学習済みモデル46に入力して、所定のタイミングにおける深度分布を推定する(ステップ $S 105$)。所定のタイミングは、第1の期間 T_1 の間の任意の時刻に設定することができる。例えば、所定のタイミングは、第1の期間 T_1 内の略中央の時刻に設定することができる。すなわち、第1の期間 T_1 の開始時刻を $t = 0$ とするとき、所定のタイミングは、 $t = T_1 / 2$ の近傍とすることができる。例えば、所定のタイミングが $T_1 \times 0.4$ 以上 $T_1 \times 0.6$ 以下であれば、所定のタイミングは、第1の期間 T_1 内の略中央の時刻とすることができる。制御部43は、推定した所定のタイミングの深度分布を記憶部44に記憶することができる。また、制御部43は、推定した所定のタイミングの深度分布を、出力部45から出力することができる。 30

【0076】

(学習用コンピュータ)

深度情報処理装置13の深度分布の推定に使用される学習済みモデル46は、予め学習用コンピュータ50により生成される。学習用コンピュータ50は、深度情報処理装置13と異なるコンピュータとすることができる。あるいは、深度情報処理装置13が、学習用コンピュータ50の機能を有してもよい。一実施形態において、学習用コンピュータ50は、シミュレーションにより機械学習の教師データを生成し、この教師データを使用して学習済みモデル46を生成する。 40

【0077】

学習用コンピュータ50は、仮想的な3次元空間内で仮想的な動体 $M O$ を移動させ、仮想空間内の所定の位置に配置した測距装置11及び撮像装置12により検出される出力データ及び画像を算出する。学習用コンピュータ50は、 $C G$ (Computer Gra 50

physics)により画像を生成することができる。また、学習用コンピュータ50は、所定のタイミングにおける遅延の無い深度分布をシミュレーション演算により算出する。

【0078】

学習用コンピュータ50は、例えば、図9に示すように、入力部51、演算部52、記憶部53及び出力部54を含む。

【0079】

入力部51は、シミュレーションに使用する各種のデータの入力を受ける。入力部51は、キーボード、マウス等の入力装置、通信モジュール及び/又は記憶媒体の読取装置を含む。例えば、入力部51は、仮想空間に配置される静止物又は背景の位置、大きさ等の情報の入力を受ける。また、入力部51は、仮想空間に配置される動体MOの位置、大きさ、移動方向及び速度の入力を受ける。さらに、入力部51は、仮想空間に配置される測距装置11及び撮像装置12の位置及び向き情報の入力を受ける。さらに、入力部51は、シミュレーションを行うための各種条件の設定を受けてよい。例えば、入力部51は、第1の期間 T_1 及び第2の期間 T_2 の設定を受ける。

【0080】

演算部52は、学習済みモデル46を生成するための各種演算を実行する。演算部52は、検出装置21の制御部24及び深度情報処理装置13の制御部43と同様に、一つ以上のプロセッサを含んで構成される。演算部52は、シミュレーションを行うシミュレーション部55と機械学習を行う関数近似器56とを含んでよい。関数近似器56は、複数の入力と出力とを組み合わせたデータセットである教師データから入力と出力との関係を推定する。関数近似器56は、例えば、ニューラルネットワークである。なお、本実施形態では、シミュレーションと機械学習とを同一の学習用コンピュータ50で行うものとしたが、これらは別個のコンピュータにより実行されてよい。

【0081】

記憶部53は、半導体メモリ及び/又は磁気メモリを含む。記憶部53は、学習用コンピュータ50の動作に使用される任意の情報及び学習用コンピュータ50が出力する任意の情報を記憶することができる。例えば、記憶部53は、入力部51から取得したシミュレーションの各種設定情報、及び、機械学習の結果生成された学習済みモデル46を記憶することができる。

【0082】

出力部54は、学習用コンピュータ50から外部に情報を出力可能に構成される。出力部54は、ディスプレイ、外部のコンピュータに情報を送信する通信モジュール、記憶媒体に情報を出力する装置等を含む。

【0083】

(学習済みモデルの生成)

以下に、演算部52が実行する学習済みモデル46の生成処理を、図10のフローチャートを用いて説明する。学習用コンピュータ50は、以下に説明する演算部52が行う処理の一部又は全部を、非一時的なコンピュータ可読媒体に記録されたプログラムを読み込んで実装するように構成されてよい。非一時的なコンピュータ可読媒体は、磁気記憶媒体、光学記憶媒体、光磁気記憶媒体、半導体記憶媒体を含むがこれらに限られない。

【0084】

演算部52は、シミュレーションにより、仮想空間における測距装置11の出力データ及び撮像装置12の出力する画像並びに第1の期間 T_1 の所定のタイミングにおける深度分布を生成する。以下において、所定のタイミングの深度分布を目標深度分布と呼ぶ。目標深度分布は、測距装置11の1フレーム内の測定時刻の違いに起因するずれを含まない、所定のタイミングにおける正しい深度の分布である。演算部52は、実際の測距装置11が深度測定を可能な頻度に従って、出力データを生成する。演算部52は、1フレームの期間である第1の期間 T_1 に実際に測距装置11が検出可能な深度情報 d_i の数よりも大きい数の深度情報 d_i を含む目標深度分布を生成してよい。例えば、測距装置11が、第1の期間 T_1 の間に横方向に120、縦方向に20配列された検出位置の深度情報 d_i

10

20

30

40

50

を取得する場合、シミュレーションで算出する目標深度分布は、横方向に240、縦方向に40配列された検出位置の深度の分布とすることができる。すなわち、目標深度分布は、測距装置11が実際に検出可能な深度情報 d_i より高い解像度の深度情報 d_i を含むことができる。

【0085】

次に、演算部52は、シミュレーションの結果得られた測距装置11の出力データを第1の期間 T_1 を分割した第2の期間 T_2 のそれぞれについて、複数の深度情報 d_i を時刻情報と関連付けて抽出する(ステップS202)。この処理は、図4のフローチャートにおけるステップS102と同じ処理である。ここで使用される第1の期間 T_1 及び第2の期間 T_2 は、ステップS102において使用される第1の期間 T_1 及び第2の期間 T_2 と同じに設定される。

10

【0086】

演算部52は、第2の期間 T_2 のそれぞれについて、シミュレーションの結果得られた画像に基づいて、検出範囲の背景BGの領域と動体MOの領域とを分割する領域分割情報 S_{ik} ($k=1\sim n$)を生成する(ステップS203)。この処理は、図4のフローチャートにおけるステップS103と同じ処理である。

【0087】

さらに、演算部52は、第2の期間 T_2 のそれぞれについて、複数の深度情報 d_i を第1の期間 T_1 に累積して得られる累積深度情報ADを背景領域BAに含み、第2の期間 T_2 の複数の深度情報 d_i を動体領域MAに含み、合成深度情報 CD_k ($k=1\sim n$)を生成する(ステップS204)。この処理は、図4のフローチャートにおけるステップS104と同じ処理である。

20

【0088】

すなわち、演算部52は、シミュレーションにより得られた測距装置11の出力データ及び撮像装置12の画像に対して、深度情報処理装置13が機械学習により推論を行う前段階で行う処理と同じ処理を行って、合成深度情報 CD_k ($k=1\sim n$)を生成する。

【0089】

演算部52は、1フレームのデータに対応する複数の合成深度情報 CD_k ($k=1\sim n$)と目標深度分布との組合せを一つのデータとし、これを複数含む教師データを生成する(ステップS205)。演算部52は、上記ステップS201～S204において、複数のデータを平行して生成してよい。演算部52は、機械学習のために多数の、例えば、1000組から10000組のデータからなるデータセットを生成する。

30

【0090】

演算部52は、関数近似器56により、合成深度情報 CD_k ($k=1\sim n$)を入力とし、目標深度分布を出力とする機械学習を実行し、学習済みモデル46を生成する(ステップS206)。演算部52は、学習済みモデル46を記憶部53に記憶し、及び/又は、出力部54から出力する。学習済みモデル46は、複数の深度情報処理装置13で使用することができる。

【0091】

(機械学習の演算方法)

40

関数近似器56は、例えば、ニューラルネットワークである。ネットワーク

【数1】

$$f^{\hat{w}}$$

は、数式(1)に示すように、入力に対して深度推定値(Depth推定値)

【数2】

$$\hat{D}$$

と不確実性

50

【数 3】

$\hat{\sigma}^2$

とを出力する。

【数 4】

$$[\hat{D}, \hat{\sigma}^2] = f^{\hat{W}}(F) \quad (1)$$

【0092】

不確実性は、機械学習の出力を正規分布の確率表現として算出する場合における分散を表す。関数近似器 56 は、数式 (2) の損失関数 $L(\theta)$ を算出する演算を行い、この損失関数 $L(\theta)$ を最小化するように学習を行う。 10

【0093】

【数 5】

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{2} \exp(-\log \hat{\sigma}_i^2) \|D_i - \hat{D}_i\| + \frac{1}{2} \log \hat{\sigma}_i^2 \quad (2)$$

【0094】

ここで、 i は、教師データに含まれるそれぞれのデータを示す。また、 D_i は、教師データの深度である。式 (2) で用いた不確実性は、推定が難しいデータの程度を表す。 20

【0095】

数式 (2) の第 2 項は、不確実性 (分散) を小さくする方向に作用する。一方で第 1 項の指数関数 $\exp(\cdot)$ は、不確実性 (分散) を大きくする方向に作用する。演算部 52 は、損失関数 $L(\theta)$ が小さくなるよう学習を行うので、第 1 項と第 2 項との間でバランスを取って学習を行うことができる。すなわち、本実施形態によれば、学習済みモデル 46 の生成において不確実性が考慮される。不確実性を用いて学習することにより、空間的には遠方及び物体の境界付近、時間的には目的の時刻に遠い時刻、並びに、移動物体のように深度推定が困難な深度測定値に対して、頑健な出力となることが期待できる。

【0096】

本実施形態では、学習用コンピュータ 50 は、上述のように、それぞれの第 2 の期間 T_2 の深度情報 d_i に、第 1 の期間 T_1 よりも高い分解度の時刻情報を持たせて機械学習の入力となる合成深度情報 CD_k ($k = 1 \sim n$) を生成した。また、学習用コンピュータ 50 は、測定時刻のずれに基づく歪を含まない目標深度分布をシミュレーションにより生成して機械学習の出力とした。これによって、生成された学習済みモデル 46 を使用することにより、深度情報処理装置 13 は、実際の測距装置 11 からの出力データ及び撮像装置 12 からの画像から生成した合成深度情報 CD_k ($k = 1 \sim n$) を学習済みモデル 46 に入力して、所定のタイミングの深度分布を推定することが可能になる。推定された深度分布は、測距装置 11 の測定時刻のずれに起因する深度分布の歪み及びずれを低減したものとなる。 30

【0097】

また、本実施形態では、学習用コンピュータ 50 による学習と、深度情報処理装置 13 による推定の両段階において、機械学習の入力として背景領域 BA に深度情報 d_i を第 1 の期間 T_1 に渡り累積して得られる累積深度情報 AD を含むようにした。これにより、単に、1 フレームの測距情報を、 n 個に分割した短期間深度情報分布 SD_k ($k = 1 \sim n$) を機械学習の入力に用いるよりも、入力情報を高密度化することができる。これによって、機械学習の精度が向上するので、所定のタイミングにおける深度分布の予測精度が向上する。 40

【0098】

さらに、本実施形態では、機械学習の学習段階において、学習済みモデル 46 を生成す 50

るために不確実性を含む演算を行った。これによって、深度情報 d_i の推定が困難な位置及び時間の条件についても、不確実性をより小さくすることができる。これによって、深度分布の推定精度をさらに向上させることができる。

【0099】

実際に、本願の発明者がシミュレーションにより行った実験によれば、機械学習の入力となる深度情報 d_i を時間的に分割して時刻情報を持たせることにより、深度分布の推定精度を向上させる効果が確認された。また、背景領域 BA に1フレームの間累積した深度情報 d_i を持たせて高密度化することによっても、深度分布の推定精度を向上させる効果が確認された。さらに、機械学習の学習段階で不確実性を考慮することによっても、深度分布の推定精度を向上させる効果が確認された。これらの手法は、併用して実行することにより、深度分布の推定精度がさらに向上することも確認された。

10

【0100】

また、本実施形態によれば、学習段階で使用する出力としての目標深度分布の深度情報 d_i の数を、第1の期間 T_1 に1フレームの深度情報 d_i として測距装置11から出力される深度情報 d_i の数より大きくした。これによって、深度情報処理装置13は、所定のタイミングの深度分布として、測距装置11が1フレームの間取得できる深度分布よりも高い密度の深度分布を取得することができる。また、これにより、深度分布に基づいて、深度マップを生成する場合、深度情報処理装置13は、測距装置11から出力される深度分布を高解像度化した深度マップを生成することができる。

【0101】

20

本開示に係る実施形態について、諸図面及び実施例に基づき説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき種々の変形又は修正を行うことが容易であることに注意されたい。従って、これらの変形又は修正は本開示の範囲に含まれることに留意されたい。例えば、各構成部又は各ステップなどに含まれる機能などは論理的に矛盾しないように再配置可能であり、複数の構成部又はステップなどを1つに組み合わせたり、或いは分割したりすることが可能である。本開示に係る実施形態は装置が備えるプロセッサにより実行される方法、プログラム、又はプログラムを記録した記憶媒体としても実現し得るものである。本開示の範囲にはこれらも包含されるものと理解されたい。

【符号の説明】

【0102】

30

- 10 深度分布検出システム
- 11 測距装置
- 12 撮像装置
- 13 深度情報処理装置
- 14 光学系
- 21 検出装置
- 22 照射部
- 23 反射部
- 24 制御部
- 25 第1の光学系
- 26 検出素子
- 27 第2の光学系
- 28 撮像素子
- 29 前段光学系
- 30 第1の後段光学系
- 31 第2の後段光学系
- 32 切替部
- 41 距離情報取得部
- 42 画像取得部
- 43 制御部

40

50

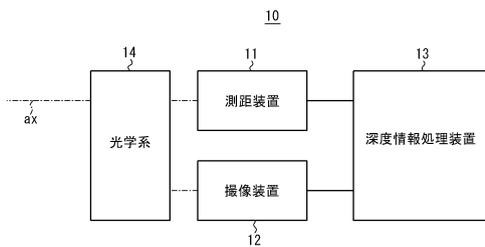
- 4 4 記憶部
- 4 5 学習済みモデル
- 5 0 学習用コンピュータ
- 5 1 入力部
- 5 2 演算部
- 5 3 記憶部
- 5 4 出力部
- 5 5 シミュレーション部
- 5 6 関数近似器
- a x 光軸
- M O 動体
- B G 背景
- T 1 第 1 の期間
- T 2 第 2 の期間
- I M 1 第 1 の画像
- I M 2 第 2 の画像
- d i 深度情報
- S D k (k = 1 ~ n) 短期間深度情報分布
- A D 累積深度情報
- S I k (k = 1 ~ n) 領域分割情報
- C D k (k = 1 ~ n) 合成深度情報

10

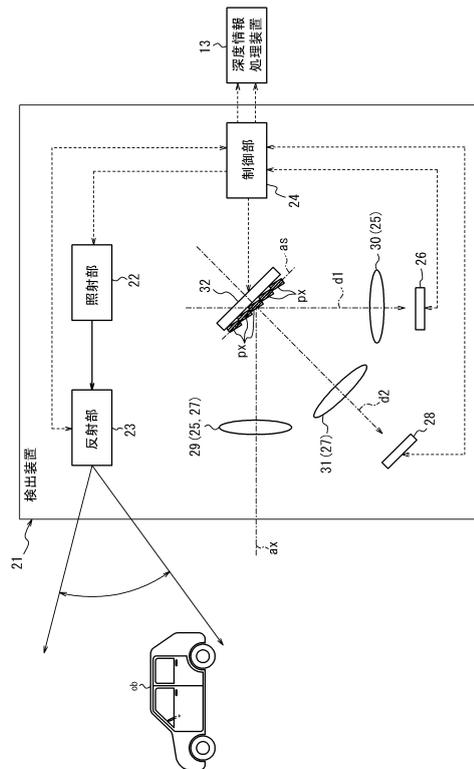
20

【 図面 】

【 図 1 】



【 図 2 】

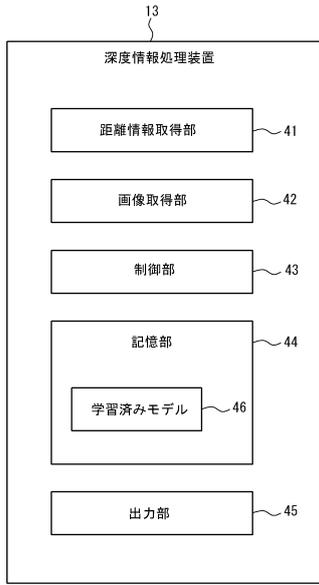


30

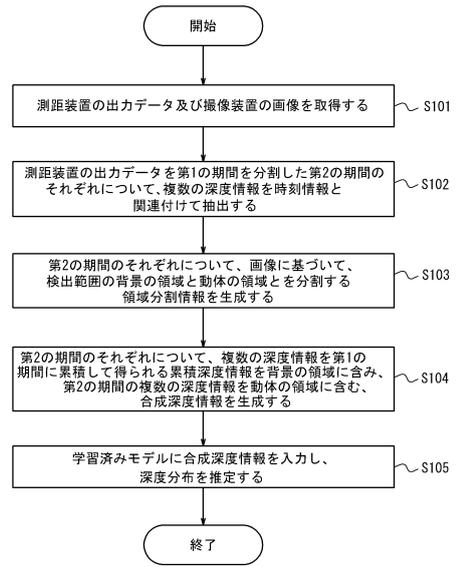
40

50

【 図 3 】



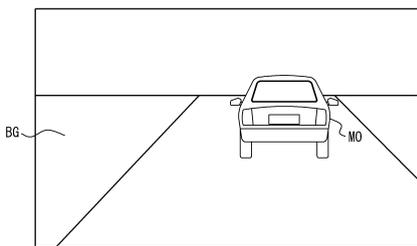
【 図 4 】



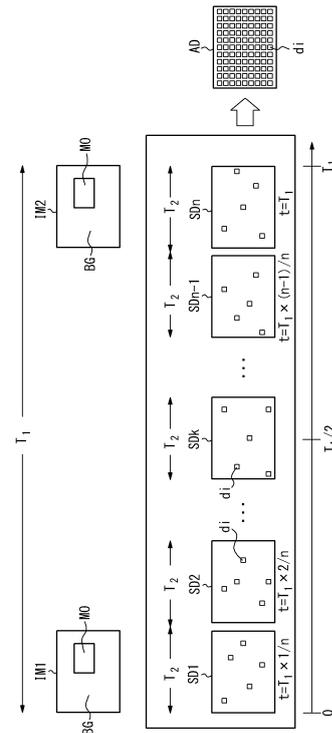
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

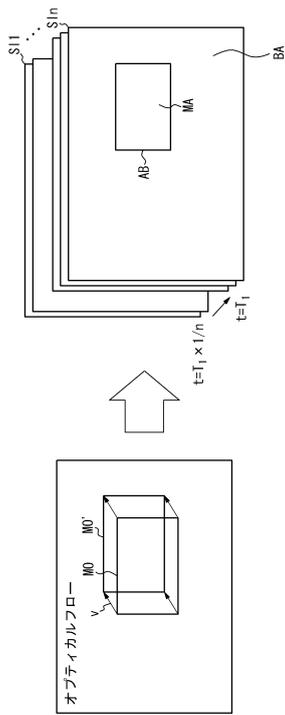


30

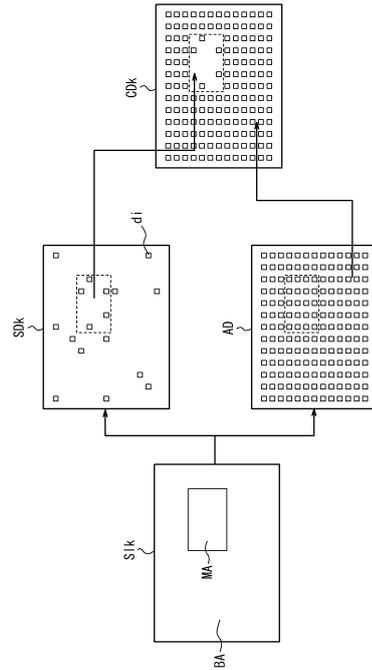
40

50

【 図 7 】



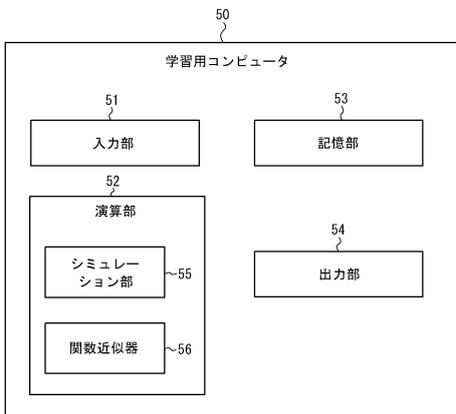
【 図 8 】



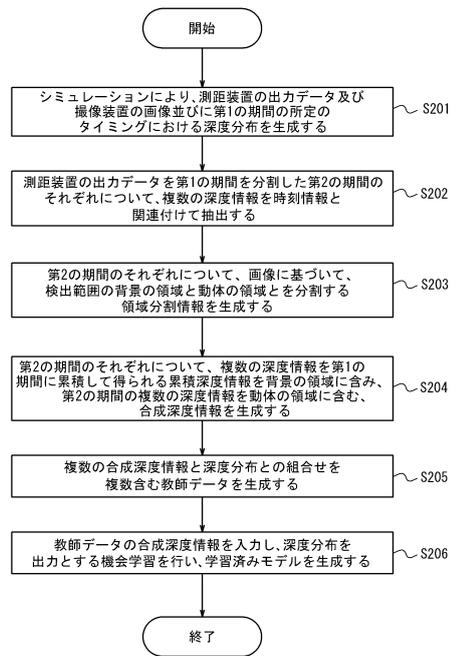
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】



30

40

50

フロントページの続き

Fターム(参考)

AB07 AD01 AD05 BA02 BA04 BA20 BA34 BA36 BA40 BA50
BB01 BB20 BB26 BB27 BB28 CA03 CA10 CA32 CA65 CA67 EA11