

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6817780号
(P6817780)

(45) 発行日 令和3年1月20日 (2021.1.20)

(24) 登録日 令和3年1月4日 (2021.1.4)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 S 17/894 (2020.01)

G O 1 S 17/894

G O 1 S 17/86 (2020.01)

G O 1 S 17/86

H O 4 N 5/225 (2006.01)

H O 4 N 5/225 3 0 0

H O 4 N 5/232 (2006.01)

H O 4 N 5/225 8 0 0

H O 4 N 5/232

請求項の数 9 (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2016-206912 (P2016-206912)
 (22) 出願日 平成28年10月21日 (2016.10.21)
 (65) 公開番号 特開2018-66701 (P2018-66701A)
 (43) 公開日 平成30年4月26日 (2018.4.26)
 審査請求日 令和1年9月26日 (2019.9.26)

(73) 特許権者 316005926
 ソニーセミコンダクタソリューションズ株
 式会社
 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号
 (74) 代理人 100112955
 弁理士 丸島 敏一
 (72) 発明者 大木 光晴
 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソ
 ニーセミコンダクタソリューションズ株式
 会社内

審査官 中村 説志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測距装置、および、測距装置の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられ
 た所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロ
 ックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記
 間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解
 像度距離データとして生成する測距部と

を具備し、

前記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号を含み、

前記第1の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を0度として
 0度から180度までの受光量の累積値であり、

前記第2の低解像度電荷信号は、180度から360度までの受光量の累積値であり、

前記第3の低解像度電荷信号は、90度から270度までの受光量の累積値であり、

前記第4の低解像度電荷信号は、270度から90度までの受光量の累積値であり、

前記測距部は、

所定のフィルタと、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算して前記所定のフィルタに入力する平均演算
 部と、

10

20

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとの比に応じた距離データを低解像度距離データとして生成して前記所定のフィルタに入力する低解像度距離データ生成部とを備え、

前記所定のフィルタは、

前記間欠光画素の画素位置に対応する前記連続光受光部上の位置である投影位置から前記画素位置までのユークリッド距離が大きいほど小さな第 1 の重みを演算する第 1 の関数演算部と、

前記平均値と前記連続光受光データとの差分絶対値が大きいほど小さな第 2 の重みを演算する第 2 の関数演算部と、

前記低解像度距離データに前記第 1 および第 2 の重みを乗算した結果の統計量を前記第 1 および第 2 の重みの乗算値の統計量により除算した値を前記高解像度距離データとして演算する距離データアップサンプリング部とを備える測距装置。

【請求項 2】

前記所定のフィルタは、クロスバイラテラルフィルタである請求項 1 記載の測距装置。

【請求項 3】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部とを具備し、

前記測距部は、

所定のフィルタと、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算して前記所定のフィルタに入力する平均演算部とを備え、

前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記第 1 の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を 0 度として 0 度から 180 度までの受光量の累積値であり、

前記第 2 の低解像度電荷信号は、180 度から 360 度までの受光量の累積値であり、

前記第 3 の低解像度電荷信号は、90 度から 270 度までの受光量の累積値であり、

前記第 4 の低解像度電荷信号は、270 度から 90 度までの受光量の累積値であり、

前記測距部は、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して前記所定のフィルタに入力する差分データ生成部と、

前記連続光画素ごとに高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とをさらに備え、

前記所定のフィルタは、

前記間欠光画素の画素位置に対応する前記連続光受光部上の位置である投影位置から前記画素位置までのユークリッド距離が大きいほど小さな第 1 の重みを演算する第 1 の関数演算部と、

前記平均値と前記連続光受光データとの差分絶対値が大きいほど小さな第 2 の重みを演算する第 2 の関数演算部と、

前記低解像度差分データに前記第 1 および第 2 の重みを乗算した結果の統計量を前記第

10

20

30

40

50

1 および第 2 の重みの乗算値の統計量により除算した値を前記高解像度差分データとして演算する差分データアップサンプリング部と
を備える
測距装置。

【請求項 4】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と
を具備し、

前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、
前記第 1 の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を 0 度として 0 度から 180 度までの受光量の累積値であり、

前記第 2 の低解像度電荷信号は、180 度から 360 度までの受光量の累積値であり、

前記第 3 の低解像度電荷信号は、90 度から 270 度までの受光量の累積値であり、

前記第 4 の低解像度電荷信号は、270 度から 90 度までの受光量の累積値であり、

前記測距部は、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算する平均演算部と、

前記平均値から所定の関数を回帰分析により求める回帰分析部と、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとの比に応じた距離データを低解像度距離データとして生成して前記回帰分析部に入力する低解像度距離データ生成部と、

前記連続光受光データを前記所定の関数に入力して前記高解像度距離データを生成する高解像度距離データ生成部と
を備え、

前記回帰分析部は、前記低解像度距離データと前記平均値との関係を示す関数を前記所定の関数として求める

測距装置。

【請求項 5】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と
を具備し、

前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記第 1 の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を 0 度として 0 度から 180 度までの受光量の累積値であり、

前記第 2 の低解像度電荷信号は、180 度から 360 度までの受光量の累積値であり、

前記第 3 の低解像度電荷信号は、90 度から 270 度までの受光量の累積値であり、

前記第 4 の低解像度電荷信号は、270 度から 90 度までの受光量の累積値であり、

前記測距部は、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算する平均演算部と、

前記平均値から所定の関数を回帰分析により求める回帰分析部と、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3

10

20

30

40

50

および第４の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して前記回帰分析部に入力する差分データ生成部と、

前記連続光受光データを前記所定の関数に入力して前記連続光画素ごとに高解像度差分データを生成する高解像度距離データ生成部と、

前記連続光画素ごとに前記高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度距離データ変換部と

を備え、

前記回帰分析部は、前記低解像度差分データと前記平均値との関係を示す関数を前記所定の関数として求める

測距装置。

10

【請求項６】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

エネルギー最小化計算により前記間欠光受光データと前記連続光受光データとから前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と

を具備し、

前記間欠光受光データは、第１、第２、第３および第４の低解像度電荷信号を含み、

前記第１の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を０度として０度から１８０度までの受光量の累積値であり、

前記第２の低解像度電荷信号は、１８０度から３６０度までの受光量の累積値であり、

前記第３の低解像度電荷信号は、９０度から２７０度までの受光量の累積値であり、

前記第４の低解像度電荷信号は、２７０度から９０度までの受光量の累積値であり、

前記測距部は、

前記間欠光画素ごとに前記第１および第２の低解像度電荷信号の差分データと前記第３および第４の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成する差分データ生成部と、

前記画素ブロックごとに高解像度差分データの平均値と前記低解像度差分データとの差の二乗和であるデータ項と前記連続光受光データの段差に応じたスムーズ項との和を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記高解像度差分データを生成するエネルギー最小化計算部と、

前記連続光画素ごとに前記高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部と

を備える

測距装置。

【請求項７】

連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

エネルギー最小化計算により前記間欠光受光データと前記連続光受光データとから前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と

を具備し、

前記間欠光受光データは、第１、第２、第３および第４の低解像度電荷信号を含み、

前記第１の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を０度として０度から１８０度までの受光量の累積値であり、

前記第２の低解像度電荷信号は、１８０度から３６０度までの受光量の累積値であり、

50

前記第 3 の低解像度電荷信号は、90 度から 270 度までの受光量の累積値であり、
前記第 4 の低解像度電荷信号は、270 度から 90 度までの受光量の累積値であり、
前記測距部は、

前記画素ブロックごとに第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号の平均値と第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号との差の二乗和であるデータ項と前記連続光受光データの段差に応じたスムーズ項との和を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号を生成するエネルギー最小化計算部と、

前記第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号を前記高解像度距離データに変換する高解像度電荷信号変換部と

10

を備える

測距装置。

【請求項 8】

複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部において前記複数の連続光画素が連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する連続光受光手順と、

間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部において前記間欠光画素が間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光受光手順と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距手順と

20

を具備し、

前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記第 1 の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を 0 度として 0 度から 180 度までの受光量の累積値であり、

前記第 2 の低解像度電荷信号は、180 度から 360 度までの受光量の累積値であり、

前記第 3 の低解像度電荷信号は、90 度から 270 度までの受光量の累積値であり、

前記第 4 の低解像度電荷信号は、270 度から 90 度までの受光量の累積値であり、

前記測距手順は、

30

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算して所定のフィルタに入力する平均演算手順と、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとの比に応じた距離データを低解像度距離データとして生成して前記所定のフィルタに入力する低解像度距離データ生成手順と

を備え、

前記所定のフィルタは、

前記間欠光画素の画素位置に対応する前記連続光受光部上の位置である投影位置から前記画素位置までのユークリッド距離が大きいほど小さな第 1 の重みを演算する第 1 の関数演算部と、

40

前記平均値と前記連続光受光データとの差分絶対値が大きいほど小さな第 2 の重みを演算する第 2 の関数演算部と、

前記低解像度距離データに前記第 1 および第 2 の重みを乗算した結果の統計量を前記第 1 および第 2 の重みの乗算値の統計量により除算した値を前記高解像度距離データとして演算する距離データアップサンプリング部と

を備える

測距装置の制御方法。

【請求項 9】

複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部において前記複数の連続光画素が連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する連続光

50

受光手順と、

間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部において前記間欠光画素が間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光受光手順と、

エネルギー最小化計算により前記間欠光受光データと前記連続光受光データとから前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距手順と

を具備し、

前記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号を含み、

前記第1の低解像度電荷信号は、前記間欠光の発光制御信号の特定の位相を0度として0度から180度までの受光量の累積値であり、

前記第2の低解像度電荷信号は、180度から360度までの受光量の累積値であり、

前記第3の低解像度電荷信号は、90度から270度までの受光量の累積値であり、

前記第4の低解像度電荷信号は、270度から90度までの受光量の累積値であり、

前記測距手順は、

前記間欠光画素ごとに前記第1および第2の低解像度電荷信号の差分データと前記第3および第4の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成する差分データ生成手順と、

前記画素ブロックごとに高解像度差分データの平均値と前記低解像度差分データとの差の二乗和であるデータ項と前記連続光受光データの段差に応じたスムーズ項との和を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記高解像度差分データを生成するエネルギー最小化計算手順と、

前記連続光画素ごとに前記高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換手順と

を備える

測距装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本技術は、測距装置、および、測距装置の制御方法に関する。詳しくは、光の位相差から距離を測定する測距装置、および、測距装置の制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

測距センサのひとつとして、ToF (Time of Flight) と呼ばれる方式がある。ToFでは、装置が、サイン波や矩形波の照射光をエミッタから発光し、対象物に当たり反射してきた反射光をセンサで受光することで測距を行う。

【0003】

受光するセンサ (ToFセンサ) は、2次元アレイ状に配置された画素より構成される。これらの各画素は、受光素子を有し、光を取り込むことができる。より詳細に述べると、各画素は、照射光の位相に対して、所定のR度からR+180度までに、その画素に到達する反射光の総量 (光量) を露光する構成となっている。通常、ToFセンサは、Rを0、180、90、270度として受光を行う。それぞれのRにおいて受光された光量 (正確には、受光された光量を光電変換した電荷量) をQ1、Q2、Q3、Q4とする。これらの測定された4つの電荷信号 (Q1乃至Q4) から所定の計算により距離Dを求めることが出来る。

【0004】

ToFセンサは構造が複雑なため、画素サイズが大きい。従って、通常の固体撮像素子の画素数は数メガピクセルもあるのに対し、ToFセンサの画素数は、例えば、VGAサイズ程度である。

【0005】

10

20

30

40

50

また、ToFセンサは、通常の固体撮像素子と併設して使用されることが多い。そこで、通常の固体撮像素子の画像データをヒントとして使い、ToFセンサから得られる低解像度の距離データを、アップサンプリングして、高解像度の距離データに変換する方法が提案されている（例えば、非特許文献1参照。）。

【0006】

このアップサンプリングについて図12や図10を用いて説明する。ToFセンサおよび通常の固体撮像素子は2次元的な測距および撮影をするが、説明の便宜上、図12では画素位置を1次元的に図示している。ここでは、通常のイメージセンサとして、モノクロ画像データを撮像する固体撮像素子を用いている。すなわち、図10に示すように、ToFセンサ200と固体撮像素子130とが併設されており、物体表面を測距および撮影を

10

【0007】

ToFセンサ200は画素数が少ないので、測距する方向は、図10の実線（511など）である。一方、白黒イメージセンサ200は画素数が多いので、撮影する方向は、実線よりも多い、点線（501乃至505など）となる。ここでは図を簡略化するため、ToFセンサ200の画素数は4個、白黒イメージセンサ200の画素数は21個としている。各点線および実線が画素に対応している。

【0008】

従来のアップサンプリングでは、点線の方を撮影した21画素より成る画像データをヒントに、実線の方を測距した4画素より成る距離データをアップサンプリングして21画素の距離データを作成している。

20

【0009】

図10から分かるように、実線511と点線501乃至505は物体表面の同じ位置を測距および撮影している。そこで、図12におけるdに示すように、実線511の方向の画素が測距した距離データと、それぞれに対応する点線501乃至505のそれぞれの方向の画素が撮影した輝度データとの関係を用いて、距離データのアップサンプリングが行われる。その結果、図12におけるcの21個の距離データを得ることが出来る。このような対応関係（図12におけるdの対応関係）を用いて従来のアップサンプリングが行われていた。

【先行技術文献】

30

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】D.Chan et al., A Noise-Aware Filter for Real-Time Depth Upsampling, ECCV Workshops 2008.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

図12におけるdに例示するように、従来技術では、ToFセンサ200の1画素が、対応する固体撮像素子の1画素に係る物体上の位置までの距離をピンポイントに測距するものと想定して、アップサンプリングを行っている。しかしながら、ToFセンサ200の実際の画素は、ある程度の大きさを持っている。従って、各画素が測距する物体表面の位置はピンポイントではなく、ある面積を持った領域の平均的な距離を測定していることになる。このため、従来技術では、正確なアップサンプリングを行うことができないという問題がある。

40

【0012】

本技術はこのような状況に鑑みて生み出されたものであり、光の位相差から距離を測定する装置において、アップサンプリングを正確に行うことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本技術は、上述の問題点を解消するためになされたものであり、その第1の側面は、連

50

続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を上記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、上記画素ブロックごとの上記連続光受光データの平均値と上記連続光受光データと上記間欠光受光データとを用いて上記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部とを具備する測距装置、および、その制御方法である。これにより、画素ブロックごとの連続光受光データの平均値と連続光受光データと間欠光受光データとから、高解像度距離データが生成されるという作用をもたらす。

【 0 0 1 4 】

10

また、この第1の側面において、上記測距部は、所定のフィルタと、上記画素ブロックごとに上記平均値を演算して上記所定のフィルタに入力する平均演算部とを備えてもよい。これにより、所定のフィルタによって高解像度の距離データが生成されるという作用をもたらす。

【 0 0 1 5 】

また、この第1の側面において、上記所定のフィルタは、クロスバイラテラルフィルタであってもよい。これにより、クロスバイラテラルフィルタによって高解像度の距離データが生成されるという作用をもたらす。

【 0 0 1 6 】

また、この第1の側面において、上記測距部は、上記間欠光受光データに基づいて上記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成して上記所定のフィルタに入力する低解像度距離データ生成部をさらに備え、上記所定のフィルタは、上記低解像度距離データと上記平均値と上記連続光受光データとから上記高解像度距離データを生成してもよい。これにより、低解像度距離データと平均値と連続光受光データとから高解像度の距離データが生成されるという作用をもたらす。

20

【 0 0 1 7 】

また、この第1の側面において、上記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号を含み、上記測距部は、上記間欠光画素ごとに上記第1および第2の低解像度電荷信号の差分データと上記第3および第4の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して上記所定のフィルタに入力する差分データ生成部と、上記連続光画素ごとに高解像度差分データを上記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とをさらに備え、上記所定のフィルタは、上記低解像度差分データと上記平均値と上記連続光受光データとから上記高解像度差分データを生成してもよい。これにより、低解像度差分データと平均値と連続光受光データとから高解像度差分データが生成されるという作用をもたらす。

30

【 0 0 1 8 】

また、この第1の側面において、上記測距部は、上記画素ブロックごとに上記平均値を演算する平均演算部と上記平均値から所定の関数を回帰分析により求める回帰分析部とを備えてもよい。これにより、回帰分析により所定の関数が求められるという作用をもたらす。

40

【 0 0 1 9 】

また、この第1の側面において、上記測距部は、上記間欠光受光データに基づいて上記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成して上記回帰分析部に入力する低解像度距離データ生成部と、上記連続光受光データを上記所定の関数に入力して上記高解像度距離データを生成する高解像度距離データ生成部とをさらに備え、上記回帰分析部は、上記低解像度距離データと上記平均値との関係を示す関数を上記所定の関数として求めてもよい。これにより、低解像度距離データと平均値との関係を示す関数が求められるという作用をもたらす。

【 0 0 2 0 】

また、この第1の側面において、上記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第

50

4の低解像度電荷信号を含み、上記測距部は、上記間欠光画素ごとに上記第1および第2の低解像度電荷信号の差分データと上記第3および第4の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して上記回帰分析部に入力する差分データ生成部と、上記連続光受光データを上記所定の関数に入力して上記連続光画素ごとに高解像度差分データを生成する高解像度距離データ生成部と上記連続光画素ごとに上記高解像度差分データを上記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とをさらに備え、上記回帰分析部は、上記低解像度差分データと上記平均値との関係を示す関数を上記所定の関数として求めてもよい。これにより、低解像度差分データと平均値との関係を示す関数が求められるという作用をもたらす。

【0021】

10

また、本技術の第2の側面は、連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を上記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、エネルギー最小化計算により上記間欠光受光データと上記連続光受光データとから上記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部とを具備する測距装置、および、その制御方法である。これにより、エネルギー最小化計算によって高解像度距離データが生成されるという作用をもたらす。

【0022】

また、この第2の側面において、上記測距部は、上記間欠光受光データに基づいて上記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成する低解像度距離データ生成部と、上記画素ブロックごとに上記高解像度距離データの平均値と上記低解像度距離データとの差を最小にする上記エネルギー最小化計算により上記高解像度距離データを生成するエネルギー最小化計算部とを備えてもよい。これにより、画素ブロックごとに高解像度距離データの平均値と低解像度距離データとの差を最小にするエネルギー最小化計算によって高解像度距離データが生成されるという作用をもたらす。

20

【0023】

また、この第2の側面において、上記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号を含み、上記測距部は、上記間欠光画素ごとに上記第1および第2の低解像度電荷信号の差分データと上記第3および第4の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成する差分データ生成部と、上記画素ブロックごとに高解像度差分データの平均値と上記低解像度差分データとの差を最小にする上記エネルギー最小化計算により上記高解像度差分データを生成するエネルギー最小化計算部と、上記連続光画素ごとに上記高解像度差分データを上記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とを備えてもよい。これにより、エネルギー最小化計算によって高解像度差分データが生成されるという作用をもたらす。

30

【0024】

また、この第2の側面において、上記間欠光受光データは、第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号を含み、上記距離部は、上記画素ブロックごとに第1、第2、第3および第4の高解像度電荷信号の平均値と第1、第2、第3および第4の低解像度電荷信号との差を最小にする上記エネルギー最小化計算により上記第1、第2、第3および第4の高解像度電荷信号を生成するエネルギー最小化計算部と、上記第1、第2、第3および第4の高解像度電荷信号を上記高解像度距離データに変換する高解像度電荷信号変換部とを備えてもよい。これにより、エネルギー最小化計算によって第1、第2、第3および第4の高解像度電荷信号が生成されるという作用をもたらす。

40

【発明の効果】

【0025】

本技術によれば、光の位相差から距離を測定する装置において、測距精度を向上させることができるという優れた効果を奏し得る。なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

【図 1】本技術の第 1 の実施の形態における携帯端末機の斜視図の一例である。

【図 2】本技術の第 1 の実施の形態における携帯端末機の一構成例を示すブロック図である。

【図 3】本技術の第 1 の実施の形態における T o F センサの一構成例を示すブロック図である。

【図 4】本技術の第 1 の実施の形態における画素回路の一構成例を示すブロック図である。

【図 5】本技術の第 1 の実施の形態における Q 1 Q 2 検出期間内の画素回路の露光制御の一例を示すタイミングチャートである。 10

【図 6】本技術の第 1 の実施の形態における Q 3 Q 4 検出期間内の画素回路の露光制御の一例を示すタイミングチャートである。

【図 7】本技術の第 1 の実施の形態における固体撮像素子の一構成例を示すブロック図である。

【図 8】本技術の第 1 の実施の形態における固体撮像素子と T o F センサとのそれぞれの投影面上の画素の位置関係の一例を示す図である。

【図 9】本技術の第 1 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。

【図 1 0】本技術の第 1 の実施の形態における固体撮像素子が受光する連続光の光線と T o F センサが受光する間欠光の光線との関係の一例を示す図である。 20

【図 1 1】本技術の第 1 の実施の形態における T o F センサの画素毎の測距範囲の一例を示す図である。

【図 1 2】本技術の第 1 の実施の形態における画素ごとの距離データおよび輝度データの一例を示す図である。

【図 1 3】本技術の第 1 の実施の形態におけるフィルタ処理の一例を示す図である。

【図 1 4】本技術の第 1 の実施の形態における携帯端末機の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 1 5】本技術の第 1 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 1 6】本技術の第 2 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。 30

【図 1 7】本技術の第 2 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 1 8】本技術の第 3 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。

【図 1 9】本技術の第 3 の実施の形態における輝度データと距離データとの関係の一例を示すグラフである。

【図 2 0】本技術の第 3 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 2 1】本技術の第 4 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。 40

【図 2 2】本技術の第 4 の実施の形態における輝度データと差分データとの関係の一例を示すグラフである。

【図 2 3】本技術の第 4 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 2 4】本技術の第 5 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。

【図 2 5】本技術の第 5 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 2 6】本技術の第 6 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である 50

。

【図 2 7】本技術の第 6 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 2 8】本技術の第 7 の実施の形態における測距部の一構成例を示すブロック図である。

。

【図 2 9】本技術の第 7 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。

【図 3 0】車両制御システムの概略的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 3 1】車外情報検出部及び撮像部の設置位置の一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0027】

以下、本技術を実施するための形態（以下、実施の形態と称する）について説明する。説明は以下の順序により行う。

- 1．第 1 の実施の形態（平均値と距離データとをフィルタに入力する例）
- 2．第 2 の実施の形態（平均値と差分データとをフィルタに入力する例）
- 3．第 3 の実施の形態（平均値と距離データとを回帰分析する例）
- 4．第 4 の実施の形態（平均値と差分データとを回帰分析する例）
- 5．第 5 の実施の形態（距離データについてエネルギー最小化計算を行う例）
- 6．第 6 の実施の形態（差分データについてエネルギー最小化計算を行う例）
- 7．第 7 の実施の形態（電荷信号についてエネルギー最小化計算を行う例）
- 8．移動体への応用例

20

【0028】

< 1．第 1 の実施の形態 >

[携帯端末機の構成例]

図 1 は、本技術の第 1 の実施の形態における携帯端末機 100 の斜視図の一例である。同図は、携帯端末機 100 のディスプレイが向いた方向を前方として、その前方に対して斜め後方から見た斜視図である。この携帯端末機 100 の背面には、ToF センサ 200 が設けられる。また、背面において、ToF センサ 200 の近傍に固体撮像素子 130 が設けられる。携帯端末機 100 としては、スマートフォン、タブレット端末やノート型パーソナルコンピュータなどが想定される。なお、携帯端末機 100 は、特許請求の範囲に

30

【0029】

図 2 は、本技術の第 1 の実施の形態における携帯端末機 100 の一構成例を示すブロック図である。この携帯端末機 100 は、発光部 110、制御部 120、ToF センサ 200、固体撮像素子 130、測距部 300 および距離データ処理部 140 を備える。

【0030】

発光部 110 は、周期的に明るさが変動する間欠光を発して物体に照射するものである。この発光部 110 は、例えば、矩形波の発光制御信号 CLKp に同期して間欠光を発生する。また、例えば、発光部 110 として発光ダイオードが用いられ、間欠光として近赤外光などが用いられる。なお、発光制御信号 CLKp は、周期信号であれば、矩形波に限定されない。例えば、発光制御信号 CLKp は、サイン波であってもよい。

40

【0031】

制御部 120 は、携帯端末機 100 全体を制御するものである。この制御部 120 は、発光制御信号 CLKp を生成して発光部 110 および ToF センサ 200 に信号線 128 を介して供給する。この発光制御信号 CLKp の周波数は、例えば、20メガヘルツ（MHz）である。なお、発光制御信号 CLKp の周波数は、20メガヘルツ（MHz）に限定されず、5メガヘルツ（MHz）などであってもよい。

【0032】

また、制御部 120 は、発光制御信号 CLKp より周波数の低い垂直同期信号 VSYNC を生成して ToF センサ 200 および固体撮像素子 130 に信号線 129 を介して供給

50

する。例えば、60ヘルツ(Hz)の周期信号が垂直同期信号VSYNCとして用いられる。なお、垂直同期信号VSYNCの周波数は、60ヘルツ(Hz)に限定されず、30ヘルツ(Hz)や120ヘルツ(Hz)であってもよい。

【0033】

ToFセンサ200は、物体の表面で反射した間欠光を光電変換するものである。このToFセンサ200には、複数の画素が二次元格子状に配置される。これらの画素は、物体表面で反射した間欠光を受光し、その受光量に応じた受光データを生成して測距部300に信号線209を介して供給する。それぞれの画素の受光データは、電荷信号 $Q1(u)^{obs}$ 、 $Q2(u)^{obs}$ 、 $Q3(u)^{obs}$ および $Q4(u)^{obs}$ からなる。ここで、添え字のuは、ToFセンサ200における画素位置を示す。なお、ToFセンサ200は、特許請求の範囲に記載の間欠光受光部の一例である。また、ToFセンサ200における画素は、特許請求の範囲に記載の間欠光画素の一例である。

10

【0034】

固体撮像素子130は、可視光や赤外光などの連続光を光電変換して画像データを生成するものである。この固体撮像素子130には、複数の画素が二次元格子状に配置される。また、固体撮像素子130の受光面の面積はToFセンサ200と同程度であり、また、画素数はToFセンサ200より多いものとする。すなわち、固体撮像素子130の画素密度(解像度)は、ToFセンサ200より高い。固体撮像素子130上の画素のそれぞれは、連続光を受光し、その連続光の受光量に応じた受光データを生成して測距部300に信号線139を介して供給する。それぞれの画素の受光データは、色情報を含まず、輝度データ $G(p)$ のみを含む。このため、これらの受光データからなる画像データは、モノクロ画像データとなる。また、添え字のPは、固体撮像素子130における画素位置を示す。なお、固体撮像素子130は、特許請求の範囲に記載の連続光受光部の一例である。また、固体撮像素子130における画素は、特許請求の範囲に記載の連続光画素である。

20

【0035】

測距部300は、ToFセンサ200からの電荷信号と固体撮像素子130からの輝度データとに基づいて物体までの距離(言い換えれば、デプス)を測定し、かつ、高解像度化するものである。この測距部300は、ToFセンサ200からの電荷信号を使用して、画素ごとの距離データを配列したデプスマップを生成する。前述したように、ToFセンサ200の画素数は、固体撮像素子130より少ないため、電荷信号から生成されたデプスマップの解像度は、モノクロ画像データよりも低い。

30

【0036】

そして、測距部300は、モノクロ画像データを用いてデプスマップの解像度を高くする。測距部300は、解像度を向上させたデプスマップを距離データ処理部140に信号線309を介して供給する。

【0037】

距離データ処理部140は、デプスマップを用いて所定の処理を実行するものである。例えば、距離に応じた度合いのぼかし処理を行う画像処理や、距離に応じて物体を検出して物体のみを切り抜く処理などが実行される。

40

【0038】

なお、発光部110、制御部120、ToFセンサ200、固体撮像素子130、測距部300および距離データ処理部140を同一の機器に設けているが、これらを複数の装置や機器に分散して配置してもよい。例えば、固体撮像素子130およびToFセンサ200を外部のセンサモジュールに配置し、残りをノート型パーソナルコンピュータやタブレット端末に配置してもよい。

【0039】

[ToFセンサの構成例]

図3は、第1の実施の形態におけるToFセンサ200の一構成例を示すブロック図である。このToFセンサ200は、行走査回路210と、画素アレイ部220と、タイミ

50

ング制御部 240 と、複数の A/D (Analog to Digital) 変換部 250 と、列走査回路 260 と信号処理部 270 とを備える。画素アレイ部 220 には、二次元格子状に複数の画素回路 230 が配置される。以下、所定の方に配列された画素回路 230 の集合を「行」と称し、行に垂直な方向に配列された画素回路 230 の集合を「列」と称する。前述の A/D 変換部 250 は、列ごとに設けられる。

【0040】

タイミング制御部 240 は、垂直同期信号 VSYNC に同期して行走査回路 210、A/D 変換部 250 および列走査回路 260 を制御するものである。

【0041】

行走査回路 210 は、発光制御信号 CLKp に同期して全行を同時に露光させ、露光終了後に行を順に選択して画素信号を出力させるものである。画素回路 230 は、行走査回路 210 の制御に従って反射光を受光し、受光量に応じた電荷信号を出力するものである。

10

【0042】

A/D 変換部 250 は、対応する列からの電荷信号を A/D 変換するものである。この A/D 変換部 250 は、列走査回路 260 の制御に従って、A/D 変換した電荷信号を信号処理部 270 に出力する。列走査回路 260 は、A/D 変換部 250 を順に選択して電荷信号を出力させるものである。

【0043】

信号処理部 270 は、電荷信号に対して、所定の信号処理を行うものである。この信号処理部 270 は、信号処理後の電荷信号を測距部 300 に供給する。

20

【0044】

なお、ToF センサ 200 には、実際には反射光を集光するためのレンズがさらに設けられるが、このレンズは図 2 において、記載の便宜上、省略されている。

【0045】

[画素回路の構成例]

図 4 は、第 1 の実施の形態における画素回路 230 の回路の一例を示すブロック図である。この画素回路 230 は、受光素子 231 と、転送スイッチ 232 と、電荷蓄積部 233 および 234 と、選択スイッチ 235 および 236 とを備える。

【0046】

30

受光素子 231 は、光を光電変換して電荷を生成するものである。この受光素子 231 として、例えば、フォトダイオードが用いられる。

【0047】

転送スイッチ 232 は、行走査回路 210 の制御に従って受光素子 231 を電荷蓄積部 233、電荷蓄積部 234 およびリセット電源 Vrst のいずれかに接続するものである。この転送スイッチ 232 は、例えば、複数の MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) トランジスタなどにより実現される。

【0048】

電荷蓄積部 233 および 234 は、電荷を蓄積して、その蓄積量に応じた電圧を生成するものである。これらの電荷蓄積部 233 および 234 として、例えば、浮遊拡散層が用いられる。

40

【0049】

選択スイッチ 235 は、行走査回路 210 の制御に従って、電荷蓄積部 233 と A/D 変換部 250 との間の線路を開閉するものである。選択スイッチ 236 は、行走査回路 210 の制御に従って、電荷蓄積部 234 と A/D 変換部 250 との間の線路を開閉するものである。例えば、行走査回路 210 により FD 読出し信号 RD_FD1 が供給された際に選択スイッチ 235 が閉状態に遷移し、行走査回路 210 により FD 読出し信号 RD_FD2 が供給された際に選択スイッチ 236 が閉状態に遷移する。これらの選択スイッチ 235 および 236 のそれぞれは、例えば、MOS トランジスタなどにより実現される。

【0050】

50

図5は、第1の実施の形態におけるQ1Q2検出期間内の画素の露光制御の一例を示すタイミングチャートである。間欠光の照射が開始されると画素回路230は、電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ および $Q2_{(u)}^{obs}$ の生成と、電荷信号 $Q3_{(u)}^{obs}$ および $Q4_{(u)}^{obs}$ の生成とを交互に繰り返し行う。以下、電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ および $Q2_{(u)}^{obs}$ の検出期間を「Q1Q2検出期間」と称し、電荷信号 $Q3_{(u)}^{obs}$ および $Q4_{(u)}^{obs}$ の検出期間を「Q3Q4検出期間」と称する。Q1Q2検出期間およびQ3Q4検出期間のそれぞれの長さは、垂直同期信号VSYNCの周期（例えば、1/60秒）である。また、Q1Q2検出期間およびQ3Q4検出期間からなる期間を以下、「測距期間」と称する。この測距期間は、垂直同期信号VSYNCの2周期分の期間（例えば、1/30秒）となる。

【0051】

10

ここで、電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ は、間欠光の発光制御信号CLKpの特定の位相（例えば、立上り）を0度として、0度から180度までの受光量 $q1$ をQ1Q2検出期間に亘って累積したものである。発光制御信号CLKpの周波数は20メガヘルツ（MHz）と高いため、その1周期（1/20マイクロ秒）当たりの受光量は非常に少なく、検出が困難である。このため、画素回路230は、発光制御信号CLKpの周期（1/20マイクロ秒）より長い1/60秒などのQ1Q2検出期間に亘って、受光量 $q1$ のそれぞれを累積し、その総量を示す信号を電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ として生成する。また、電荷信号 $Q2_{(u)}^{obs}$ は、180度から360度までの反射光の受光量 $q2$ をQ1Q2検出期間に亘って累積したものである。

【0052】

20

また、電荷信号 $Q3_{(u)}^{obs}$ は、90度から270度までの反射光の受光量 $q3$ をQ3Q4検出期間に亘って累積したものである。また、電荷信号 $Q4_{(u)}^{obs}$ は、270度から90度までの反射光の受光量 $q4$ をQ3Q4検出期間に亘って累積したものである。

【0053】

これらの電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ 、 $Q2_{(u)}^{obs}$ 、 $Q3_{(u)}^{obs}$ および $Q4_{(u)}^{obs}$ から、携帯端末機100は、物体までの距離を画素毎に算出することができる。

【0054】

例えば、タイミングT1からタイミングT2までのQ1Q2検出期間において、その期間の電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ および $Q2_{(u)}^{obs}$ が検出される。まず、行走査回路210は、タイミングT1から所定のパルス期間に亘ってリセット信号RSTを全行に供給する。このリセット信号RSTにより、全行の電荷蓄積部233および234の電荷蓄積量が初期化される。

30

【0055】

そして、行走査回路210は、Q1Q2検出期間において、発光制御信号CLKpの周期内の0度から180度までに亘って全行についてハイレベルのFD選択信号SEL_FDにより受光素子231が生成した電荷を電荷蓄積部233に転送させる。この制御により、電荷蓄積部233に受光量 $q1$ が蓄積される。

【0056】

また、行走査回路210は、Q1Q2検出期間において、発光制御信号CLKpの周期内の180度から360度までに亘って全行についてミドルレベルのFD選択信号SEL_FDにより受光素子231が生成した電荷を電荷蓄積部234に転送させる。この制御により、電荷蓄積部234に受光量 $q2$ が蓄積される。

40

【0057】

そして、タイミングT2の直前のタイミングT1において行走査回路210は、1行目にFD読出し信号RD_FD1およびRD_FD2を順に供給する。この制御により、1行目の電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ および $Q2_{(u)}^{obs}$ が読み出される。次に、行走査回路210は、2行目にFD読出し信号RD_FD1およびRD_FD2を順に供給して電荷信号を読み出す。以下、同様に行走査回路210は、行を順に選択して電荷信号を読み出す。

【0058】

50

このように、 $Q1Q2$ 検出期間において画素回路 230 のそれぞれは、0 度から 180 度までの電荷信号 $Q1(u)^{obs}$ と、180 度から 360 度までの電荷信号 $Q2(u)^{obs}$ とを生成する。

【0059】

図 6 は、第 1 の実施の形態における $Q3Q4$ 検出期間内の画素回路 230 の露光制御の一例を示すタイミングチャートである。例えば、タイミング $T2$ からタイミング $T3$ までの $Q3Q4$ 検出期間において、その期間の電荷信号 $Q3(u)^{obs}$ および $Q4(u)^{obs}$ が生成される。まず、行走査回路 210 は、タイミング $T2$ から所定のパルス期間に亘ってリセット信号 RST を全行に供給する。また、行走査回路 210 は、ローレベルの FD 選択信号 SEL_FD により、全行の受光素子 231 の電荷を初期化する。

10

【0060】

そして、行走査回路 210 は、最初の 0 度から 90 度において、全行についてミドルレベルの FD 選択信号 SEL_FD により受光素子 231 が生成した電荷を電荷蓄積部 234 に転送させる。この制御により、電荷蓄積部 234 に受光量 $q4$ が蓄積される。以降において行走査回路 210 は、発光制御信号 $CLKp$ の周期内の 90 度から 270 度までに亘って全行についてハイレベルの FD 選択信号 SEL_FD により受光素子 231 が生成した電荷を電荷蓄積部 233 に転送させる。この制御により、電荷蓄積部 233 に受光量 $q3$ が蓄積される。

【0061】

また、行走査回路 210 は、 $Q3Q4$ 検出期間において、発光制御信号 $CLKp$ の周期内の 270 度から 90 度までに亘って全行についてミドルレベルの FD 選択信号 SEL_FD により受光素子 231 が生成した電荷を電荷蓄積部 234 に転送させる。この制御により、電荷蓄積部 234 に受光量 $q4$ が蓄積される。

20

【0062】

そして、タイミング $T3$ の直前のタイミング $T21$ において行走査回路 210 は、1 行目に FD 読出し信号 RD_FD1 および RD_FD2 を順に供給する。この制御により、1 行目の電荷信号 $Q3(u)^{obs}$ 、および $Q4(u)^{obs}$ が読み出される。以下、同様に行走査回路 210 は、行を順に選択して電荷信号を読み出す。

【0063】

このように、 $Q3Q4$ 検出期間において画素回路 230 のそれぞれは、90 度から 270 度までの電荷信号 $Q3(u)^{obs}$ 、と、270 度から 90 度までの電荷信号 $Q4(u)^{obs}$ 、とを生成する。

30

【0064】

[固体撮像素子の構成例]

図 7 は、本技術の第 1 の実施の形態における固体撮像素子 130 の一構成例を示すブロック図である。この固体撮像素子 130 は、行走査回路 131 と、画素アレイ部 132 と、タイミング制御部 135 と、複数の AD 変換部 136 と、列走査回路 137 と信号処理部 138 とを備える。また、画素アレイ部 132 には、複数の画素回路 134 が二次元格子状に配置される。この固体撮像素子 130 の画素密度は、前述したように、ToF センサ 200 よりも高く、また、固体撮像素子 130 は、ToF センサ 200 の近傍に設けられる。この ToF センサ 200 の 1 画素は、一定の角度範囲内の物体上の面までの平均的な距離を測距している。その 1 画素が測距する面は、固体撮像素子 130 上の複数の画素により撮像される。このため、ある物体表面の所定の反射位置で反射した間欠光が、ToF センサ 200 上の 1 つの画素に入射する場合、その反射位置からの連続光は、固体撮像素子 130 上の複数の画素に入射される。このように、ToF センサ 200 上の 1 画素に対応する複数の画素回路 134 からなる領域を以下、画素ブロック 133 と称する。

40

【0065】

例えば、ToF センサ 200 の総画素数を M (M は整数) とし、ToF センサ 200 上の 1 画素について、固体撮像素子 130 上の N (N は 2 以上の整数) 画素が対応する場合について考える。この場合、画素ブロック 133 の個数は M 個となり、固体撮像素子 13

50

0の総画素数は、 $N \times M$ となる。固体撮像素子130においても所定の方向に配列された画素回路134の集合を「行」と称し、行に垂直な方向に配列された画素回路134の集合を「列」と称する。前述のAD変換部136は、列ごとに設けられる。

【0066】

タイミング制御部135は、垂直同期信号VSYNCに同期して行走査回路131、AD変換部136および列走査回路137を制御するものである。

【0067】

行走査回路131は、行のそれぞれを選択して輝度信号を出力させるものである。画素回路134は、行走査回路131の制御に従って連続光を受光し、受光量に応じた輝度信号を出力するものである。

10

【0068】

AD変換部136は、対応する列からの輝度信号をAD変換するものである。このAD変換部136は、列走査回路137の制御に従って、AD変換した輝度信号を輝度データとして信号処理部138に出力する。列走査回路137は、AD変換部136を順に選択して輝度データを出力させるものである。

【0069】

信号処理部138は、輝度データに対して、CDS処理などの信号処理を行うものである。この信号処理部138は、信号処理後の輝度データを測距部300に供給する。

【0070】

前述したように、ToFセンサ200の測距期間は、垂直同期信号VSYNCの2周期分である。ToFセンサ200の動作に合わせて、固体撮像素子130も、この測距期間(2周期)ごとに1枚のモノクロ画像データを生成するものとする。

20

【0071】

図8は、本技術の第1の実施の形態における固体撮像素子130とToFセンサ200とのそれぞれの投影面上の画素の位置関係の一例を示す図である。

【0072】

ToFセンサ200の光軸中心を原点とした座標系を (X_t, Y_t, Z_t) とし、固体撮像素子130の光軸中心を原点とした座標系を (X_c, Y_c, Z_c) とする。これらの座標系の一方から他方への変換は、3行3列の回転行列Rと、3次元の並進ベクトルTとにより行われるものとする。これらの回転行列Rおよび並進ベクトルTは、既知の値であり、固体撮像素子130とToFセンサ200とのそれぞれの光学系の位置関係により一意に決定される。

30

【0073】

ここで、ToFセンサ200に付随するレンズの焦点距離を F_t とすると、ToFセンサ200の投影面上の Z_t 座標の値は、既知の F_t となる。そして、 $(0, 0, F_t)^t$ が、ToFセンサ200の投影面の座標系 (U_{tx}, U_{ty}) の原点となる。 X_t 軸と U_{tx} 軸とは平行である。また、 Y_t 軸と U_{ty} 軸とが平行である。

【0074】

また、固体撮像素子130に付随するレンズの焦点距離を F_c とすると、固体撮像素子130の投影面上の Z_c 座標の値は、既知の F_c となる。そして、 $(0, 0, F_c)^t$ が、固体撮像素子130の投影面の座標系 (U_{cx}, U_{cy}) の原点となる。 X_c 軸と U_{cx} 軸とは平行である。また、 Y_c 軸と U_{cy} 軸とが平行である。

40

【0075】

ToFセンサ200の投影面上の位置521に着目すると、この位置521(すなわち、画素位置U)は、二次元平面上の座標を用いて次の式により表されとする。

【数1】

$$U = \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} \quad \dots \text{式1}$$

【0076】

50

T o F センサ 2 0 0 に対応する座標系 (X t、Y t、Z t) において、位置 5 2 1 に投影されている物体表面の反射点 5 2 2 への方向は、式 1 より (U x、U y、F t) ^t で表すことができる。ここで、上付きの t は、転置を意味する。T o F センサ 2 0 0 の光軸中心から反射点 5 2 2 までの距離を D (u) が測距された場合、その距離データ D (u) と方向 (U x、U y、F t) ^t とに基づいて、反射点 5 2 2 の 3 次元位置 P r を次の式により表すことができる。

【数 2】

$$Pr = \frac{D_{(u)}}{\sqrt{U_x^2 + U_y^2 + F_t^2}} \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ F_t \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 2} \quad 10$$

【0 0 7 7】

固体撮像素子 1 3 0 に対応する座標系において、式 2 の示す位置は、回転行列 R および並進ベクトル T を用いて次の式により表すことができる。

【数 3】

$$\begin{bmatrix} X_{(u)} \\ Y_{(u)} \\ Z_{(u)} \end{bmatrix} = \frac{D_{(u)}}{\sqrt{U_x^2 + U_y^2 + F_t^2}} R \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ F_t \end{bmatrix} + T \quad \dots \text{式 3} \quad 20$$

【0 0 7 8】

反射点 5 2 2 が、固体撮像素子 1 3 0 の投影面に投影される位置 5 2 3 の 2 次元位置 P p は、その投影面の座標系 (U c x、U c y) において、次の式により表すことができる。

【数 4】

$$Pp = \begin{bmatrix} \frac{F_c \cdot X_{(u)}}{Z_{(u)}} \\ \frac{F_c \cdot Y_{(u)}}{Z_{(u)}} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 4} \quad 30$$

【0 0 7 9】

まとめると、T o F センサ 2 0 0 の投影面上の位置 5 2 1 (画素位置 U) に投影されている物体は、固体撮像素子 1 3 0 の投影面においては式 4 の位置 5 2 3 に投影される。ただし、式 4 の右辺の座標は、式 3 により定義される。

【0 0 8 0】

次に、T o F センサ 2 0 0 の 1 つの画素が、固体撮像素子 1 3 0 のいくつかの画素に対応するかについて考える。ある画素と、その隣接画素では、焦点距離の逆数だけ異なる角度を撮像または測距することになる。したがって、T o F センサ 2 0 0 の 1 画素により測距される範囲は、縦方向について固体撮像素子 1 3 0 が撮像する範囲の「F c / F t」倍である。横方向についても同様である。すなわち、T o F センサ 2 0 0 の 1 画素が測距する範囲は、固体撮像素子 1 3 0 の一辺が F c / F t 画素の矩形の領域である。ここで、T o F センサ 2 0 0 よりも固体撮像素子 1 3 0 の方が解像度が高いため、F c は F t より大きい。

【0 0 8 1】

上述の関係に基づいて測距部 300 は、ToF200 が生成した距離データをアップサンプリングする。ここで、ToF センサ 200 上に、長さが 1 の複数の正方格子を想定し、それらの正方格子ごとに測距データが生成されるものとする。この場合、アップサンプリングにより、長さが「 F_t / F_c 」の正方格子ごとに距離データが生成される。長さが 1 の正方格子の位置の集合を L とし、アップサンプリング前の画素位置 u は次の式により表される。

【数 5】

$$u \equiv \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \in L \quad \dots \text{式 5}$$

10

【0082】

また、長さが「 F_t / F_c 」の正方格子の位置の集合を H とすると、アップサンプリング後の画素位置 U は、次の式により表される。

【数 6】

$$U \equiv \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} \in H \quad \dots \text{式 6}$$

【0083】

20

[測距部の構成例]

図 9 は、本技術の第 1 の実施の形態における測距部 300 の一構成例を示すブロック図である。この測距部 300 は、低解像度距離データ生成部 311、投影位置供給部 312、平均演算部 313、および、クロスバイラテラルフィルタ 314 を備える。

【0084】

低解像度距離データ生成部 311 は、電荷信号に基づいて ToF センサ 200 の画素ごとに距離データ $D_{(u)}^{obs}$ を生成するものである。この距離データ $D_{(u)}^{obs}$ は、例えば、次の式により求められる。

【数 7】

$$I_{(u)}^{obs} \equiv Q1_{(u)}^{obs} - Q2_{(u)}^{obs} \quad \dots \text{式 7}$$

30

【数 8】

$$Q_{(u)}^{obs} \equiv Q3_{(u)}^{obs} - Q4_{(u)}^{obs} \quad \dots \text{式 8}$$

【数 9】

$$D_{(u)}^{obs} \equiv \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan \left(\frac{Q_{(u)}^{obs}}{I_{(u)}^{obs}} \right) \quad \dots \text{式 9}$$

40

【0085】

ここで、式 9 において距離データ $D_{(u)}^{obs}$ の単位は、例えば、メートル (m) である。c は光速であり、単位は、例えば、メートル毎秒 (m/s) である。arctan () は、正接関数の逆関数を示す。式 7 乃至式 9 における $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ は、電荷信号の差分データである。

【0086】

低解像度距離データ生成部 311 は、生成した距離データ $D_{(u)}^{obs}$ を低解像度距離データとして投影位置供給部 312 とクロスバイラテラルフィルタ 314 とに供給する。

50

【 0 0 8 7 】

投影位置供給部 3 1 2 は、T o F センサ 2 0 0 上の画素位置 u に対応する、固体撮像素子 1 3 0 上の投影位置 $p_{(u)}$ を演算するものである。

【 0 0 8 8 】

投影位置供給部 3 1 2 は、画素位置 u の X 座標 u_x および Y 座標 u_y を取得し、次の式により投影位置 $p_{(u)}$ を求める。

【数 1 0】

$$p_{(u)} \equiv \begin{bmatrix} \frac{F_c \cdot X_{(u)}}{Z_{(u)}} \\ \frac{F_c \cdot Y_{(u)}}{Z_{(u)}} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 1 0} \quad 10$$

【 0 0 8 9 】

この式 1 0 の右辺における $X_{(u)}$ 、 $Y_{(u)}$ および $Z_{(u)}$ は、次の式により表される。

【数 1 1】

$$\begin{bmatrix} X_{(u)} \\ Y_{(u)} \\ Z_{(u)} \end{bmatrix} \equiv \frac{D_{(u)}^{obs}}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2 + F_t^2}} R \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ F_t \end{bmatrix} + T \quad \dots \text{式 1 1} \quad 20$$

【 0 0 9 0 】

式 1 0 および式 1 1 により演算された投影位置 $p_{(u)}$ を中心とし、一辺の長さが F_c / F_t の正方形の領域が画素ブロック 1 3 3 に該当する。投影位置供給部 3 1 2 は、この投影位置 $p_{(u)}$ をクロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 および平均演算部 3 1 3 に供給する。

【 0 0 9 1 】

平均演算部 3 1 3 は、画素ブロック 1 3 3 ごとに、輝度データ $G_{(p)}$ の平均値を演算するものである。この平均演算部 3 1 3 は、投影位置 $p_{(u)}$ ごとに、次の式により平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ を演算する。

【数 1 2】

$$G_{(p(u))}^{avg} \equiv \frac{\sum_{V \in Mp(u)} G_{(V)}}{N} \quad \dots \text{式 1 2} \quad 30$$

上式において、 $Mp(u)$ は、投影位置 $p_{(u)}$ に対応する画素ブロック 1 3 3 内の画素位置 V の集合を示す。また、 $G_{(V)}$ は、画素位置 V の輝度データを示す。 N は、画素ブロック 1 3 3 内の画素数を示す。

【 0 0 9 2 】

平均演算部 3 1 3 は、式 1 2 により演算した平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ をクロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 に供給する。

【 0 0 9 3 】

クロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 は、関数演算部 3 1 5 および 3 1 6 と、距離データアップサンプリング部 3 1 7 とを備える。

【 0 0 9 4 】

関数演算部 3 1 5 は、画素ブロック 1 3 3 内の画素位置 P と、投影位置 $p_{(u)}$ との間 50

のユークリッド距離をガウス関数 $h(\cdot)$ に入力して、そのユークリッド距離が大きいほど小さな重みを演算するものである。この関数演算部 315 は、演算結果 $h(\cdot)$ を距離データアップサンプリング部 317 に供給する。

【0095】

関数演算部 316 は、画素ブロック 133 内の輝度データ $G_{(p)}$ と、平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ との差分絶対値をガウス関数 $g(\cdot)$ に入力して、その差分絶対値が大きいほど小さな重みを演算するものである。この関数演算部 316 は、演算結果 $g(\cdot)$ を距離データアップサンプリング部 317 に供給する。

【0096】

距離データアップサンプリング部 317 は、次の式により、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ をアップサンプリングするものである。ここで、添え字 P 付のオメガは、白黒イメージセンサ 200 上の位置 P の近傍の画素位置の集合を示している。

10

【数 13】

$$D_{(p)} = \frac{1}{k_{(p)}} \sum_{\{u|p(u) \in \Omega_p\}} \{D_{(u)}^{obs} \times h(\|P - p_{(u)}\|) \times g(\|G_{(p)} - G_{(p(u))}^{avg}\|)\} \cdots \text{式 13}$$

【数 14】

$$k_{(p)} \equiv \sum_{\{u|p(u) \in \Omega_p\}} \{h(\|P - p_{(u)}\|) \times g(\|G_{(p)} - G_{(p(u))}^{avg}\|)\} \cdots \text{式 14}$$

20

【0097】

距離データアップサンプリング部 317 は、式 13 および式 14 を用いて演算した距離データ $D_{(p)}$ を高解像度距離データとして距離データ処理部 140 に供給する。

【0098】

なお、測距部 300 は、クロスバイラテラルフィルタ 314 によりアップサンプリングを行っているが、アップサンプリングを行うことができるものであれば、用いるフィルタはクロスバイラテラルフィルタ 314 に限定されない。

【0099】

30

図 10 は、本技術の第 1 の実施の形態における固体撮像素子 130 が受光する連続光の光線と ToF センサ 200 が受光する間欠光の光線との関係の一例を示す図である。同図において、点線は連続光の光線を示し、実線は、間欠光の光線を示す。

【0100】

前述したように固体撮像素子 130 の画素密度は、ToF センサ 200 よりも高く、また、固体撮像素子 130 は、ToF センサ 200 の近傍に設けられる。この ToF センサ 200 の 1 画素は、一定の角度範囲内の物体上の面（例えば、光線 511 を中心とした物体上の面）までの平均的な距離を測距している。その 1 画素が測距する面は、固体撮像素子 130 上の複数の画素により撮像される。例えば、ある反射位置で反射した反射光の光線 511 が ToF センサ 200 上の 1 つの画素に入射される場合、その反射位置からの連続光の光線 501、502、503、504 および 505 は、固体撮像素子 130 上の互いに異なる画素に入射される。したがって、間欠光の光線 511 により測定された距離は、連続光 501、502、503、504 および 505 のそれぞれに対応する画素までの各距離の平均値となる。

40

【0101】

図 11 は、本技術の第 1 の実施の形態における ToF センサ 200 の画素毎の測距範囲の一例を示す図である。同図における実線は、間欠光の光線を示す。また、両端が矢印の弧は、ToF センサ 200 上の 1 画素に入射される間欠光の範囲を示す。この ToF センサ 200 の 1 画素には、実線を中心とする一定の角度範囲の間欠光が入射される。そして、ToF センサ 200 は、画素毎に、その角度範囲内の物体上の面までの平均的な距離を

50

測定する。

【0102】

図12は、本技術の第1の実施の形態における画素ごとの距離データおよび輝度データの一例を示す図である。同図におけるaは、画素ごとの低解像度の距離データ $D_{(u)}^{obs}$ の一例を示す図である。同図のaにおいて、縦軸は距離データ $D_{(u)}^{obs}$ の値を示し、横軸はToFセンサ200上の画素位置uを示す。画素位置u1、u2、u3およびu4などにおいて、距離データ $D_{(u)}^{obs}$ が測定される。

【0103】

図12におけるbは、画素ごとの輝度データ $G_{(p)}$ の一例を示す図である。同図のbにおいて、縦軸は輝度データ $G_{(p)}$ の値を示し、横軸は固体撮像素子130上の画素位置Pを示す。画素位置u1やu2などの画素位置uごとに、複数の輝度データ $G_{(p)}$ が対応付けられる。

10

【0104】

図12におけるcは、画素ごとの高解像度の距離データ $D_{(p)}$ の一例を示す図である。同図のcにおいて、縦軸は距離データ $D_{(p)}$ の値を示し、横軸は固体撮像素子130上の画素位置Pを示す。式13および式14に例示したクロスバイラテラルフィルタにより、距離データがアップサンプリングされ、画素位置Pごとに距離データ $D_{(p)}$ が算出される。

【0105】

図12におけるdは、ToFセンサ200の1画素が、一定の面積の物体上の面でなく、物体上の一点までの距離をピンポイントで測距するものと想定する比較例の輝度データの一例を示す図である。同図のbにおいて、縦軸は輝度データの値を示し、横軸は固体撮像素子上の画素位置Pを示す。この比較例では、図12におけるbと異なり、ToFセンサの画素ごとに、1つの輝度データが対応付けられる。

20

【0106】

前述したようにToFセンサ200の実際の画素は、ある程度の大きさを持っている。従って、ToFセンサ200の各画素が測距する物体表面の位置はピンポイントではなく、ある面積を持った領域の平均的な距離を測定していることになる。このため、図12におけるdの比較例では、正確なアップサンプリングを行うことができない。これに対して、図12におけるbでは、ToFセンサ200の画素ごとに、その画素が測距する面に係る複数の輝度データを対応づけている。このため、それらの輝度データの平均を演算することにより、携帯端末機100は、比較例よりも正確にアップサンプリングを行うことができる。

30

【0107】

図13は、本技術の第1の実施の形態におけるフィルタ処理の一例を示す図である。携帯端末機100は、ToFセンサ200上の画素ごとに、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ を生成し、固体撮像素子130の画素ごとに輝度データ $G_{(p)}$ を生成する。ToFセンサ200の解像度は、固体撮像素子130より低く、ToFセンサ200の1画素について、固体撮像素子130上の複数の画素からなる画素ブロックが対応付けられる。例えば、ToFセンサ200の画素11と、固体撮像素子130上の画素00、01、02、10、11、12、20、21および22からなる画素ブロックとが対応付けられる。

40

【0108】

携帯端末機100は、画素ブロックごとに輝度データの平均値を算出する。例えば、画素00、01、02、10、11、12、20、21および22の輝度データが「22」、「21」、「22」、「19」、「20」、「18」、「23」、「21」および「23」である場合、それらの平均値として「21」が算出される。

【0109】

クロスバイラテラルフィルタ314において、画素位置Pの輝度データと画素ブロックの平均値との差分絶対値がガウス関数 $g()$ に入力される。そして、そのガウス関数 $g()$ と、ガウス関数 $h()$ とが低解像度距離データ $G_{(u)}^{obs}$ に乗算されて、画素位置Pごと

50

の距離データ $D(p)$ が出力される。

【0110】

[携帯端末機の動作例]

図14は、本技術の第1の実施の形態における携帯端末機の動作の一例を示すフローチャートである。この動作は、例えば、デプスマップを用いるアプリケーションが実行されたときに開始される。ToFセンサ200は、画素ごとに電荷信号 $Q1(u)^{obs}$ 乃至 $Q4(u)^{obs}$ を生成する(ステップS901)。また、固体撮像素子130は、画素ごとに輝度データ $G(p)$ を生成する(ステップS902)。

【0111】

そして、測距部300は、高解像度のデプスマップを生成するための測距処理を実行する(ステップS910)。距離データ処理部140は、デプスマップにおける距離データ $D(p)$ を処理する(ステップS903)。

【0112】

携帯端末機100は、アプリケーションの終了などにより測距を終了するか否かを判断する(ステップS903)。測距を終了しない場合に(ステップS903: No)、携帯端末機100は、ステップS901以降を繰り返し実行する。一方、測距を終了する場合に(ステップS903: Yes)、携帯端末機100は、デプスマップを生成するための動作を終了する。

【0113】

図15は、本技術の第1の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。測距部300は、電荷信号 $Q1(u)^{obs}$ 乃至 $Q4(u)^{obs}$ から、低解像度の距離データ $D(u)^{obs}$ を生成し(ステップS911)、画素位置 u ごとに投影位置 $p(u)$ を演算する(ステップS912)。また、測距部300は、画素ブロックごとに平均データ $G(p(u))^{avg}$ を演算する(ステップS913)。そして、測距部300は、クロスバイラテラルフィルタにより、距離データ $D(u)^{obs}$ をアップサンプリングする(ステップS914)。ステップS914の後に測距部300は、測距処理を終了する。

【0114】

このように、本技術の第1の実施の形態によれば、画素ブロック内の輝度の平均データを低解像度の距離データとともにフィルタに入力するため、その平均データを基準値として高解像度の距離データを演算することができる。これにより、アップサンプリングを正確に行うことができる。

【0115】

< 2. 第2の実施の形態 >

上述の第1の実施の形態では、距離データをアップサンプリングしていたが、その代わりに式7および式8における差分データをアップサンプリングすることもできる。この第2の実施の形態の携帯端末機100は、差分データをアップサンプリングする点において第1の実施の形態と異なる。

【0116】

図16は、本技術の第2の実施の形態における測距部300の一構成例を示すブロック図である。この第2の実施の形態の測距部300は、距離データアップサンプリング部317の代わりに差分データアップサンプリング部323を備え、高解像度差分データ変換部324をさらに備える点において第1の実施の形態と異なる。

【0117】

第2の実施の形態の低解像度距離データ生成部311は、画素毎に低解像度距離データ $D(u)^{obs}$ に加えて、差分データ $I(u)^{obs}$ および $Q(u)^{obs}$ をさらに生成してクロスバイラテラルフィルタ314に供給する。

【0118】

差分データアップサンプリング部323は、次の式により差分データ $I(u)^{obs}$ および $Q(u)^{obs}$ をアップサンプリングするものである。

【数 1 5】

$$I_{(p)} = \frac{1}{k_{(p)}} \sum_{\{u|p(u) \in \Omega_p\}} \left\{ I_{(u)}^{obs} \times h(\|P - p_{(u)}\|) \times g(\|G_{(p)} - G_{(p(u))}^{avg}\|) \right\} \quad \dots \text{式 1 5}$$

【数 1 6】

$$Q_{(p)} = \frac{1}{k_{(p)}} \sum_{\{u|p(u) \in \Omega_p\}} \left\{ Q_{(u)}^{obs} \times h(\|P - p_{(u)}\|) \times g(\|G_{(p)} - G_{(p(u))}^{avg}\|) \right\} \quad \dots \text{式 1 6}$$

10

【0 1 1 9】

差分データアップサンプリング部 3 2 3 は、式 1 5 および式 1 6 により演算した差分データ $I_{(p)}$ および $Q_{(p)}$ を高解像度差分データとして高解像度差分データ変換部 3 2 4 に供給する。

【0 1 2 0】

高解像度差分データ変換部 3 2 4 は、次の式により、高解像度差分データ $I_{(p)}$ および $Q_{(p)}$ を高解像度距離データ $D_{(p)}$ に変換して距離データ処理部 1 4 0 に出力するものである。

【数 1 7】

$$D_{(p)} = \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan\left(\frac{Q_{(p)}}{I_{(p)}}\right) \quad \dots \text{式 1 7}$$

20

【0 1 2 1】

図 1 7 は、本技術の第 2 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。この第 2 の実施の形態の測距処理は、ステップ S 9 1 1 および S 9 1 4 の代わりにステップ S 9 2 1 および S 9 2 4 を実行し、ステップ S 9 2 5 をさらに実行する点において第 1 の実施の形態と異なる。

【0 1 2 2】

測距部 3 0 0 は、画素位置 u ごとに差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ を生成し (ステップ S 9 2 1)、ステップ S 9 1 2 および S 9 1 3 を実行する。そして、測距部 3 0 0 は、クロスバイラテラルフィルタにより、差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ をアップサンプリングする (ステップ S 9 2 4)。測距部 3 0 0 は、アップサンプリング後の差分データを高解像度距離データ $D_{(p)}$ に変換し (ステップ S 9 2 5)、測距処理を終了する。

30

【0 1 2 3】

なお、第 1 および第 2 の実施の形態において固体撮像素子 1 3 0 は、モノクロ画像データを生成しているが、モノクロ画像データの代わりにカラー画像データを生成してもよい。この場合、例えば、クロスバイラテラルフィルタの式 1 2 乃至式 1 6 の輝度データ $G_{(p)}$ および平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ は、R (Red)、G (Green) および B (Blue) の 3 次元ベクトルとなる。また、式 1 3 乃至式 1 6 における、ガウス関数 $g(\cdot)$ への入力値は、R、G および B の 3 次元ベクトル上の 2 点間の距離となる。

40

【0 1 2 4】

このように、本技術の第 2 の実施の形態では、画素ブロック内の輝度の平均データを低解像度の差分データとともにフィルタに入力するため、その平均データを基準値として高解像度の差分データを演算することができる。これにより、アップサンプリングを正確に行うことができる。

【0 1 2 5】

< 3 . 第 3 の実施の形態 >

上述の第 1 の実施の形態では、携帯端末機 1 0 0 は、クロスバイラテラルフィルタ 3 1

50

4を用いて、距離データをアップサンプリングしていた。しかし、携帯端末機100は、クロスバイラテラルフィルタ314を用いずに距離データをアップサンプリングすることでもできる。例えば、携帯端末機100は、距離データと平均データとの間の関係を示す関数を回帰分析により求めて、その関数を用いて距離データをアップサンプリングしてもよい。この第3の実施の形態の携帯端末機100は、回帰分析により求めた関数を用いて距離データをアップサンプリングする点において第1の実施の形態と異なる。

【0126】

図18は、本技術の第3の実施の形態における測距部300の一構成例を示すブロック図である。この第3の実施の形態の測距部300は、クロスバイラテラルフィルタ314の代わりに、回帰分析部331および高解像度距離データ生成部332を備える点において第1の実施の形態と異なる。

10

【0127】

回帰分析部331は、距離データDと輝度データGとの関係を示す関数 $f(\cdot)$ を回帰分析により求めるものである。この関数 $f(\cdot)$ は、例えば、次の式により表される。

$$D = f(G) = a \times G + b \quad \dots \text{式 18}$$

上式において、aおよびbは実数の係数である。

【0128】

回帰分析部331は、例えば、輝度データの平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ を式18に入力した結果と、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ との差分の二乗和が最小になるときの係数aおよびbを求める最小二乗法を用いて回帰分析を行う。そして、回帰分析部331は、求めた係数aおよびbを回帰直線係数として高解像度距離データ生成部332に供給する。

20

【0129】

高解像度距離データ生成部332は、式18に、各画素位置Pの輝度データ $G_{(p)}$ を入力して高解像度距離データ $D_{(p)}$ を生成し、距離データ処理部140に出力するものである。

【0130】

図19は、本技術の第3の実施の形態における輝度データと距離データとの関係の一例を示すグラフである。同図において縦軸は、輝度データGであり、横軸は距離データDである。また、黒丸は、対応する低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ との組合せのそれぞれをプロットしたものである。白丸は、高解像度の固体撮像素子130の画素位置Pにおける距離データ $D_{(p)}$ と対応する高解像度輝度データ $G_{(p)}$ の組をプロットしたものである。また、回帰直線531は、式18により表される直線である。

30

【0131】

回帰分析部331は、固体撮像素子130上の着目した画素位置Pについて、 $p_{(u)}$ がその近傍内にあるというuに関して、距離データ $D_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ との組合せを2次元空間上にプロットする。そして、回帰分析部331は、プロットした黒丸の集合に対して回帰分析を行い、回帰直線531を求める。高解像度距離データ生成部332は、得られた回帰直線531において、輝度データ $G_{(p)}$ に対応する距離データを高解像度距離データ $D_{(p)}$ として演算する。

40

【0132】

図20は、本技術の第3の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。この第3の実施の形態の測距処理は、ステップS914の代わりにステップS934およびS935を実行する点において第1の実施の形態と異なる。

【0133】

測距部300は、ステップS911乃至S913を実行した後に、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ とに対して回帰分析を行い、回帰直線を求める(ステップS934)。そして、高解像度距離データ生成部332は、その回帰直線により、距離データをアップサンプリングし(ステップS935)、測距処理を終了する。

【0134】

50

このように、本技術の第3の実施の形態では、携帯端末機100は、平均データと低解像度の距離データとを回帰分析して、それらの関係を示す関数を求めるため、その関数を用いて距離データを高い精度でアップサンプリングすることができる。

【0135】

<4. 第4の実施の形態>

上述の第3の実施の形態では、回帰直線を用いて距離データをアップサンプリングしていたが、その代わりに式7および式8における差分データをアップサンプリングすることもできる。この第4の実施の形態の携帯端末機100は、回帰直線を用いて差分データをアップサンプリングする点において第3の実施の形態と異なる。

【0136】

図21は、本技術の第4の実施の形態における測距部300の一構成例を示すブロック図である。この第4の実施の形態の測距部300は、回帰分析部331および高解像度距離データ生成部332の代わりに回帰分析部341および高解像度差分データ生成部342を備え、高解像度差分データ変換部324をさらに備える点で第3の実施の形態と異なる。高解像度差分データ変換部324の構成は、第2の実施の形態と同様である。

【0137】

第4の実施の形態の低解像度距離データ生成部311は、画素毎に低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ に加えて、差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ をさらに生成して回帰分析部341に供給する。

【0138】

回帰分析部341は、差分データ I および Q と輝度データ G との関係を示す関数を回帰分析により求めるものである。この関数は、例えば、次の式により表される。

$$(I - I_0) / c = (Q - Q_0) / d = (G - G_0) / e \cdots \text{式19}$$

上式において、 c 、 d 、 e 、 I_0 、 Q_0 および G_0 は実数の係数である。

【0139】

そして、回帰分析部341は、求めた係数 c 、 d 、 e 、 I_0 、 Q_0 および G_0 を回帰直線係数として高解像度差分データ生成部342に供給する。

【0140】

高解像度差分データ生成部342は、式19に、各画素位置 P の輝度データ $G_{(P)}$ を入力して高解像度差分データ $I_{(P)}$ および $Q_{(P)}$ を生成し、高解像度差分データ変換部324に出力するものである。

【0141】

図22は、本技術の第4の実施の形態における輝度データと差分データとの関係の一例を示すグラフである。同図において直交する3軸の1つは、輝度データ G を示し、残りの2つは差分データ I および Q を示す。また、黒丸は、対応する低解像度差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ との組合せのそれぞれをプロットしたものである。白丸は、高解像度の固体撮像素子130の画素位置 P における輝度データ $G_{(P)}$ と対応する高解像度差分データ $I_{(P)}$ および $Q_{(P)}$ の組をプロットしたものである。また、回帰直線532は、式19により表される直線である。

【0142】

回帰分析部341は、固体撮像素子130上の着目した画素位置 P について、 $p_{(u)}$ がその近傍内にあるという u に関して、差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ との組合せを3次元空間上にプロットする。そして、回帰分析部341は、プロットした黒丸の集合に対して回帰分析を行い、回帰直線532を求める。高解像度差分データ生成部342は、得られた回帰直線532において、輝度データ $G_{(P)}$ に対応する差分データを高解像度距離データ $I_{(P)}$ および $Q_{(P)}$ として演算する。

【0143】

図23は、本技術の第4の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。この第4の実施の形態の測距処理は、ステップS911の代わりにステップS921を実行し、ステップS934およびS935の代わりにステップS944およびS94

10

20

30

40

50

5 を実行し、ステップ S 9 2 5 をさらに実行する点において第 3 の実施の形態と異なる。

【 0 1 4 4 】

測距部 3 0 0 は、画素ごとに差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ を生成し（ステップ S 9 2 1）、ステップ S 9 1 2 および S 9 1 3 を実行する。測距部 3 0 0 は、低解像度差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ と平均データ $G_{(p(u))}^{avg}$ とに対して回帰分析を行い、回帰直線を求める（ステップ S 9 4 4）。そして、高解像度距離データ生成部 3 3 2 は、その回帰直線により、差分データをアップサンプリングする（ステップ S 9 4 5）。測距部 3 0 0 は、アップサンプリング後の差分データを高解像度距離データ $D_{(p)}$ に変換し（ステップ S 9 2 5）、測距処理を終了する。

【 0 1 4 5 】

このように、本技術の第 4 の実施の形態では、携帯端末機 1 0 0 は、平均データと低解像度の差分データとを回帰分析して、それらの関係を示す関数を求めるため、その関数を用いて差分データを高い精度でアップサンプリングすることができる。

【 0 1 4 6 】

< 5 . 第 5 の実施の形態 >

上述の第 1 の実施の形態では、携帯端末機 1 0 0 は、クロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 を用いて、距離データをアップサンプリングしていた。しかし、携帯端末機 1 0 0 は、クロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 を用いずに距離データをアップサンプリングすることもできる。例えば、携帯端末機 1 0 0 は、エネルギー最小化計算により、距離データをアップサンプリングしてもよい。この第 5 の実施の形態の携帯端末機 1 0 0 は、エネルギー最小化計算により距離データをアップサンプリングする点において第 1 の実施の形態と異なる。

【 0 1 4 7 】

図 2 4 は、本技術の第 5 の実施の形態における測距部 3 0 0 の一構成例を示すブロック図である。この第 5 の実施の形態の測距部 3 0 0 は、投影位置供給部 3 1 2、平均演算部 3 1 3 およびクロスバイラテラルフィルタ 3 1 4 の代わりにエネルギー最小化計算部 3 5 1 を備える点において第 1 の実施の形態と異なる。

【 0 1 4 8 】

エネルギー最小化計算部 3 5 1 は、画素ブロックごとに高解像度距離データの平均値と低解像度距離データとの差を最小にするエネルギー最小化計算により高解像度距離データを生成するものである。このエネルギー最小化計算部 3 5 1 は、次の式を満たす高解像度距離データ $D_{(u)}$ を求める。

【数 1 8】

$$\{D_{(u)}|U \in H\} = \arg \min_{\{D'_{(u)}|U \in H\}} (dTerm + A \times sTerm) \quad \dots \text{式 2 0}$$

【数 1 9】

$$dTerm \equiv \sum_{u \in L} \left\{ \left(\frac{\sum_{v \in \Omega u \cap H} D'_{(v)}}{N} - D_{(u)}^{obs} \right)^2 \right\} \quad \dots \text{式 2 1}$$

【数 2 0】

$$sTerm \equiv \sum_{U \in H} \left\{ \left\| T_{(U)}^{1/2} \nabla D'_{(U)} \right\| \right\} \quad \dots \text{式 2 2}$$

【数 2 1】

$$T_{(U)}^{1/2} \equiv \exp \left(-B \left\| \nabla G_{(U)} \right\|^r \right) n_{(U)} n_{(U)}^t + m_{(U)} m_{(U)}^t \quad \dots \text{式 2 3}$$

10

【0 1 4 9】

式 2 0 の右辺の第 1 項はデータ項であり、第 2 項はスムーズ項である。式 2 1 における添え字 u 付の集合 Ω は、T o F センサ 2 0 0 上の画素位置 u を中心とした、一辺の長さが 1 の正方領域内の画素位置の集合である。式 2 3 における $n_{(u)}$ は、画素位置 u における勾配の方向を示す単位ベクトルであり、 $m_{(u)}$ は、 $n_{(u)}$ に直交する単位ベクトルである。また、式 2 2 および式 2 3 における関数 $T^{1/2}$ は、非等方性拡散テンソルである。この非等方性拡散テンソルについては、「D. Ferstl, Image Guided Depth Upsampling Using Anisotropic Total Generalized Variation, ICCV 2013」に記載されている。式 2 0 および式 2 3 における A 、 B および r は、所望の定数である。

20

【0 1 5 0】

式 2 3 の $G_{(u)}$ は、白黒イメージセンサ 2 0 0 上の次の式で示される位置における輝度データである。

【数 2 2】

$$\begin{bmatrix} \frac{F_c \cdot X'_{(u)}}{Z'_{(u)}} \\ \frac{F_c \cdot Y'_{(u)}}{Z'_{(u)}} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 2 4}$$

30

【0 1 5 1】

この式 2 4 における座標 $X'_{(u)}$ 、 $Y'_{(u)}$ および $Z'_{(u)}$ は、次の式により表される。

【数 2 3】

$$\begin{bmatrix} X'_{(u)} \\ Y'_{(u)} \\ Z'_{(u)} \end{bmatrix} \equiv \frac{D'_{(u)}}{\sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + F_t^2}} R \begin{bmatrix} U_X \\ U_Y \\ F_t \end{bmatrix} + T \quad \dots \text{式 2 5}$$

40

【0 1 5 2】

式 2 0 のデータ項 $dTerm$ は、式 2 1 に例示するように、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ と、対応する画素ブロック内の高解像度距離データ $D_{(u)}$ の平均値との差の二乗和を示す。エネルギー最小化計算部 3 5 1 は、そのデータ項が最小になるときの高解像度距離データ $D_{(u)}$ を演算して距離データ処理部 1 4 0 に供給する。すなわち、低解像度距離データ $D_{(u)}^{obs}$ と、対応する画素ブロック内の高解像度距離データ $D_{(u)}$ の平均値との差が最小になるときの高解像度距離データ $D_{(u)}$ が演算される。また、式 2 2 のスムーズ項 $sTerm$ により、T o F センサ 2 0 0 上の各位置 u に対応する固体撮像素子

50

130 上の位置における輝度データ $G_{(u)}$ に段差がない場合には、同様に距離データ $D_{(u)}$ もなるべくスムーズになるように演算される。

【0153】

このように、第1乃至第4の実施の形態と同様に、第5の実施の形態においても、低解像度距離データ $G_{(u)}^{obs}$ は、対応する画素ブロック内の複数の画素のそれぞれの距離の平均を示すことを想定して演算を行っている。

【0154】

図25は、本技術の第5の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。この第5の実施の形態の測距処理は、ステップS912乃至S914の代わりにステップS952を実行する点において第1の実施の形態と異なる。

10

【0155】

測距部300は、電荷信号 $Q1_{(u)}^{obs}$ 乃至 $Q4_{(u)}^{obs}$ から、低解像度の距離データ $D_{(u)}^{obs}$ を生成する(ステップS911)。そして、測距部300は、エネルギー最小化計算により、距離データをアップサンプリングする(ステップS952)。

【0156】

このように、本技術の第5の実施の形態では、画素ブロックごとに高解像度距離データの平均値と低解像度距離データとの差を最小にするエネルギー最小化計算を行うため、フィルタを用いずに距離データをアップサンプリングすることができる。

【0157】

< 6. 第6の実施の形態 >

20

上述の第5の実施の形態では、距離データをアップサンプリングしていたが、その代わりに式7および式8における差分データをアップサンプリングすることもできる。この第6の実施の形態の携帯端末機100は、差分データをアップサンプリングする点において第5の実施の形態と異なる。

【0158】

図26は、本技術の第6の実施の形態における測距部300の一構成例を示すブロック図である。この第6の実施の形態の測距部300は、低解像度距離データ生成部311の代わりに低解像度差分データ生成部361を備える点において第5の実施の形態と異なる。また、第6の実施の形態の測距部300は、エネルギー最小化計算部351の代わりにエネルギー最小化計算部362を備え、高解像度差分データ変換部324をさらに備える点においても第5の実施の形態と異なる。高解像度差分データ変換部324の構成は、第2の実施の形態と同様である。

30

【0159】

低解像度差分データ生成部361は、式8および式9により、画素ごとに差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ を生成してエネルギー最小化計算部362に供給するものである。

【0160】

エネルギー最小化計算部362は、画素ブロックごとに高解像度差分データの平均値と低解像度差分データとの差を最小にするエネルギー最小化計算により高解像度差分データを生成するものである。このエネルギー最小化計算部362は、次の式を満たす高解像度差分データ $I_{(u)}$ および $Q_{(u)}$ を求める。

40

【数24】

$$\{(I_{(u)}, Q_{(u)}) | U \in H\} = \arg \min_{\{(I'_{(u)}, Q'_{(u)}) | U \in H\}} (dTerm + A \times sTerm) \cdots \text{式26}$$

【数 2 5】

$$dTerm \equiv \sum_{u \in L} \left\{ \left(\frac{\sum_{V \in \Omega u \cap H} I'(V)}{N} - I_{(u)}^{obs} \right)^2 + \left(\frac{\sum_{V \in \Omega u \cap H} Q'(V)}{N} - Q_{(u)}^{obs} \right)^2 \right\} \cdots \text{式 2 7}$$

【数 2 6】

$$sTerm \equiv \sum_{U \in H} \left\{ \left\| T_{(U)}^{1/2} \nabla I'_{(U)} \right\| + \left\| T_{(U)}^{1/2} \nabla Q'_{(U)} \right\| \right\} \cdots \text{式 2 8}$$

10

【数 2 7】

$$T_{(U)}^{1/2} \equiv \exp \left(-B \left\| \nabla G_{(U)} \right\|^r \right) n_{(U)} n_{(U)}^t + m_{(U)} m_{(U)}^t \cdots \text{式 2 9}$$

【0 1 6 1】

ここで、画素位置 U は、式 2 4 および式 2 5 と次の式とにより表される。

【数 2 8】

20

$$D'_{(U)} \equiv \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan \left(\frac{Q'_{(U)}}{I'_{(U)}} \right) \cdots \text{式 3 0}$$

【0 1 6 2】

式 2 6 乃至式 2 9 により、低解像度差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ と、対応する画素ブロック内の高解像度差分データ $I_{(U)}$ および $Q_{(U)}$ の平均値との差が最小になるときの高解像度差分データ $I_{(U)}$ および $Q_{(U)}$ が演算される。

【0 1 6 3】

30

高解像度差分データ変換部 3 2 4 は、次の式を用いて高解像度距離データ $D_{(U)}$ を演算して距離データ処理部 1 4 0 に供給する。

【数 2 9】

$$D_{(U)} = \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan \left(\frac{Q_{(U)}}{I_{(U)}} \right) \cdots \text{式 3 1}$$

【0 1 6 4】

図 2 7 は、本技術の第 6 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。この第 6 の実施の形態の測距処理は、ステップ S 9 1 1 の代わりにステップ S 9 2 1 を実行し、ステップ S 9 5 2 の代わりにステップ S 9 6 2 を実行し、ステップ S 9 2 5 をさらに実行する点において第 5 の実施の形態と異なる。

40

【0 1 6 5】

測距部 3 0 0 は、画素位置 u ごとに差分データ $I_{(u)}^{obs}$ および $Q_{(u)}^{obs}$ を生成し（ステップ S 9 2 1）、エネルギー最小化計算により、差分データをアップサンプリングする（ステップ S 9 6 2）。そして、測距部 3 0 0 は、アップサンプリング後の差分データを高解像度距離データ $D_{(P)}$ に変換し（ステップ S 9 2 5）、測距処理を終了する。

【0 1 6 6】

このように、本技術の第 6 の実施の形態では、画素ブロックごとに高解像度差分データ

50

の平均値と低解像度差分データとの差を最小にするエネルギー最小化計算を行うため、フィルタを用いずに差分データをアップサンプリングすることができる。

【 0 1 6 7 】

< 7 . 第 7 の実施の形態 >

上述の第 5 の実施の形態では、距離データをアップサンプリングしていたが、その代わりに電荷信号をアップサンプリングすることもできる。この第 7 の実施の形態の携帯端末機 1 0 0 は、電荷信号をアップサンプリングする点において第 5 の実施の形態と異なる。

【 0 1 6 8 】

図 2 8 は、本技術の第 7 の実施の形態における測距部 3 0 0 の一構成例を示すブロック図である。この第 7 の実施の形態の測距部 3 0 0 は、エネルギー最小化計算部 3 7 1 および高解像度電荷信号変換部 3 7 2 を備える。

10

【 0 1 6 9 】

エネルギー最小化計算部 3 7 1 は、画素ブロックごとに高解像度電荷信号の平均値と低解像度電荷信号との差を最小にするエネルギー最小化計算により高解像度電荷信号を生成するものである。まず、T o F 方式の原理に基づいて、次の式に示す制約条件が定義される。

【 数 3 0 】

$$Q1'_{(U)} + Q2'_{(U)} = Q3'_{(U)} + Q4'_{(U)} \quad \text{for } \forall U \in H \quad \dots \text{式 3 2}$$

20

【 0 1 7 0 】

エネルギー最小化計算部 3 7 1 は、式 3 2 の制約条件の下で次の式を満たす高解像度電荷信号 $Q1'_{(U)}$ 乃至 $Q4'_{(U)}$ を求める。

【 数 3 1 】

$$\{Q_i'_{(U)} | i=1,2,3,4, U \in H\} = \arg \min_{\{Q_i'_{(U)} | i=1,2,3,4, U \in H\}} (dTerm + A \times sTerm) \quad \dots \text{式 3 3}$$

【 数 3 2 】

$$dTerm \equiv \sum_{i=1,2,3,4} \sum_{u \in L} \left\{ \left(\frac{\sum_{V \in Qu \cap H} Q_i'_{(V)}}{N} - Q_i^{obs}_{(u)} \right)^2 \right\} \quad \dots \text{式 3 4}$$

30

【 数 3 3 】

$$sTerm \equiv \sum_{i=1,2,3,4} \sum_{U \in H} \left\{ \|T_{(U)}^{1/2} \nabla Q_i'_{(U)}\| \right\} \quad \dots \text{式 3 5}$$

40

【 数 3 4 】

$$T_{(U)}^{1/2} \equiv \exp \left(-B \|\nabla G_{(U)}\|^r \right) n_{(U)} n_{(U)}^t + m_{(U)} m_{(U)}^t \quad \dots \text{式 3 6}$$

【 0 1 7 1 】

また、画素位置 U は、式 2 4 および式 2 5 と次の式とにより表される。

【数 3 5】

$$D'_{(U)} \equiv \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan \left(\frac{Q3'_{(U)} - Q4'_{(U)}}{Q1'_{(U)} - Q2'_{(U)}} \right) \quad \dots \text{式 3 7}$$

【0 1 7 2】

式 3 3 乃至式 3 6 により、低解像度電荷信号 $Q i_{(U)}^{obs}$ と、対応する画素ブロック内の高解像度電荷信号 $Q i_{(U)}$ の平均値との差が最小になるときの高解像度電荷信号 $Q i_{(U)}$ が演算される。

10

【0 1 7 3】

高解像度電荷信号変換部 3 7 2 は、次の式を用いて、高解像度距離データ $D_{(U)}$ を演算して距離データ処理部 1 4 0 に供給するものである。

【数 3 6】

$$D_{(U)} = \frac{c}{4\pi f} \cdot \arctan \left(\frac{Q3_{(U)} - Q4_{(U)}}{Q1_{(U)} - Q2_{(U)}} \right) \quad \dots \text{式 3 8}$$

【0 1 7 4】

20

図 2 9 は、本技術の第 7 の実施の形態における測距処理の一例を示すフローチャートである。測距部 3 0 0 は、エネルギー最小化計算により、低解像度電荷信号 $Q i_{(U)}^{obs}$ をアップサンプリングし（ステップ S 9 7 1）、アップサンプリング後の電荷信号 $Q i_{(U)}$ から高解像度距離データ $D_{(U)}$ を生成する（ステップ S 9 7 2）。ステップ S 9 7 2 の後に、測距部 3 0 0 は、測距処理を終了する。

【0 1 7 5】

なお、輝度データ G についての定義について補足しておく。引数が V あるいは P で表現されている $G(\)$ （すなわち、第 1 乃至第 4 の実施の形態にて使用されている $G(V)$ あるいは $G(P)$ ）は、固体撮像素子 1 3 0 上の画素位置 V あるいは P の輝度データをそれぞれ示している。一方、引数が U で表現されている $G(\)$ （すなわち、第 5 乃至第 7 の実施の形態にて使用されている $G(U)$ ）は、ToF センサ 2 0 0 上の位置 $U = (U_x, U_y)^t$ に対応する式 2 4 で示される固体撮像素子 1 3 0 上の画素位置の輝度データを示している。ここで、 $U = (U_x, U_y)^t$ に対応する式 2 4 で表現される 2 次元位置の導出には、式 2 5 を使用する。

30

【0 1 7 6】

このように、本技術の第 7 の実施の形態では、画素ブロックごとに高解像度電荷信号の平均値と低解像度電荷信号との差を最小にするエネルギー最小化計算を行うため、フィルタを用いずに電荷信号をアップサンプリングすることができる。

【0 1 7 7】

< 8 . 移動体への応用例 >

40

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、自動車、電気自動車、ハイブリッド電気自動車、自動二輪車、自転車、パーソナルモビリティ、飛行機、ドローン、船舶、ロボット等のいずれかの種類の移動体に搭載される装置として実現されてもよい。

【0 1 7 8】

図 3 0 は、本開示に係る技術が適用され得る移動体制御システムの一例である車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

【0 1 7 9】

車両制御システム 1 2 0 0 0 は、通信ネットワーク 1 2 0 0 1 を介して接続された複数の電子制御ユニットを備える。図 3 0 に示した例では、車両制御システム 1 2 0 0 0 は、

50

駆動系制御ユニット１２０１０、ボディ系制御ユニット１２０２０、車外情報検出ユニット１２０３０、車内情報検出ユニット１２０４０、及び統合制御ユニット１２０５０を備える。また、統合制御ユニット１２０５０の機能構成として、マイクロコンピュータ１２０５１、音声画像出力部１２０５２、及び車載ネットワークＩ／Ｆ（interface）１２０５３が図示されている。

【０１８０】

駆動系制御ユニット１２０１０は、各種プログラムにしたがって車両の駆動系に関連する装置の動作を制御する。例えば、駆動系制御ユニット１２０１０は、内燃機関又は駆動用モータ等の車両の駆動力を発生させるための駆動力発生装置、駆動力を車輪に伝達するための駆動力伝達機構、車両の舵角を調節するステアリング機構、及び、車両の制動力を発生させる制動装置等の制御装置として機能する。

10

【０１８１】

ボディ系制御ユニット１２０２０は、各種プログラムにしたがって車体に装備された各種装置の動作を制御する。例えば、ボディ系制御ユニット１２０２０は、キーレスエントリシステム、スマートキーシステム、パワーウィンドウ装置、あるいは、ヘッドランプ、バックランプ、ブレーキランプ、ウィンカー又はフォグランプ等の各種ランプの制御装置として機能する。この場合、ボディ系制御ユニット１２０２０には、鍵を代替する携帯機から発信される電波又は各種スイッチの信号が入力され得る。ボディ系制御ユニット１２０２０は、これらの電波又は信号の入力を受け付け、車両のドアロック装置、パワーウィンドウ装置、ランプ等を制御する。

20

【０１８２】

車外情報検出ユニット１２０３０は、車両制御システム１２０００を搭載した車両の外部の情報を検出する。例えば、車外情報検出ユニット１２０３０には、撮像部１２０３１が接続される。車外情報検出ユニット１２０３０は、撮像部１２０３１に車外の画像を撮像させるとともに、撮像された画像を受信する。車外情報検出ユニット１２０３０は、受信した画像に基づいて、人、車、障害物、標識又は路面上の文字等の物体検出処理又は距離検出処理を行ってもよい。

【０１８３】

撮像部１２０３１は、光を受光し、その光の受光量に応じた電気信号を出力する光センサである。撮像部１２０３１は、電気信号を画像として出力することもできるし、測距の情報として出力することもできる。また、撮像部１２０３１が受光する光は、可視光であっても良いし、赤外線等の非可視光であっても良い。

30

【０１８４】

車内情報検出ユニット１２０４０は、車内の情報を検出する。車内情報検出ユニット１２０４０には、例えば、運転者の状態を検出する運転者状態検出部１２０４１が接続される。運転者状態検出部１２０４１は、例えば運転者を撮像するカメラを含み、車内情報検出ユニット１２０４０は、運転者状態検出部１２０４１から入力される検出情報に基づいて、運転者の疲労度合い又は集中度合いを算出してもよいし、運転者が居眠りをしていないかを判別してもよい。

【０１８５】

40

マイクロコンピュータ１２０５１は、車外情報検出ユニット１２０３０又は車内情報検出ユニット１２０４０で取得される車内外の情報に基づいて、駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置の制御目標値を演算し、駆動系制御ユニット１２０１０に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ１２０５１は、車両の衝突回避あるいは衝撃緩和、車間距離に基づく追従走行、車速維持走行、車両の衝突警告、又は車両のレーン逸脱警告等を含むADAS（Advanced Driver Assistance System）の機能実現を目的とした協調制御を行うことができる。

【０１８６】

また、マイクロコンピュータ１２０５１は、車外情報検出ユニット１２０３０又は車内情報検出ユニット１２０４０で取得される車両の周囲の情報に基づいて駆動力発生装置、

50

ステアリング機構又は制動装置等を制御することにより、運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

【0187】

また、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030で取得される車外の情報に基づいて、ボディ系制御ユニット12020に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030で検知した先行車又は対向車の位置に応じてヘッドランプを制御し、ハイビームをロービームに切り替える等の防眩を図ることを目的とした協調制御を行うことができる。

【0188】

音声画像出力部12052は、車両の搭乗者又は車外に対して、視覚的又は聴覚的に情報を通知することが可能な出力装置へ音声及び画像のうちの少なくとも一方の出力信号を送信する。図30の例では、出力装置として、オーディオスピーカ12061、表示部12062及びインストルメントパネル12063が例示されている。表示部12062は、例えば、オンボードディスプレイ及びヘッドアップディスプレイの少なくとも一つを含んでいてもよい。

【0189】

図31は、撮像部12031の設置位置の例を示す図である。

【0190】

図31では、撮像部12031として、撮像部12101、12102、12103、12104、12105を有する。

【0191】

撮像部12101、12102、12103、12104、12105は、例えば、車両12100のフロントノーズ、サイドミラー、リアバンパ、バックドア及び車室内のフロントガラスの上部等の位置に設けられる。フロントノーズに備えられる撮像部12101及び車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部12105は、主として車両12100の前方の画像を取得する。サイドミラーに備えられる撮像部12102、12103は、主として車両12100の側方の画像を取得する。リアバンパ又はバックドアに備えられる撮像部12104は、主として車両12100の後方の画像を取得する。車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部12105は、主として先行車両又は、歩行者、障害物、信号機、交通標識又は車線等の検出に用いられる。

【0192】

なお、図31には、撮像部12101ないし12104の撮影範囲の一例が示されている。撮像範囲12111は、フロントノーズに設けられた撮像部12101の撮像範囲を示し、撮像範囲12112、12113は、それぞれサイドミラーに設けられた撮像部12102、12103の撮像範囲を示し、撮像範囲12114は、リアバンパ又はバックドアに設けられた撮像部12104の撮像範囲を示す。例えば、撮像部12101ないし12104で撮像された画像データが重ね合わせられることにより、車両12100を上方から見た俯瞰画像が得られる。

【0193】

撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、距離情報を取得する機能を有していてもよい。例えば、撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、複数の撮像素子からなるステレオカメラであってもよいし、位相差検出用の画素を有する撮像素子であってもよい。

【0194】

例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を基に、撮像範囲12111ないし12114内における各立体物までの距離と、この距離の時間的変化(車両12100に対する相対速度)を求めることにより、特に車両12100の進行路上にある最も近い立体物で、車両12100と略同じ方向に所定の速度(例えば、0km/h以上)で走行する立体物を先行車として抽出するこ

10

20

30

40

50

とができる。さらに、マイクロコンピュータ12051は、先行車の手前に予め確保すべき車間距離を設定し、自動ブレーキ制御（追従停止制御も含む）や自動加速制御（追従発進制御も含む）等を行うことができる。このように運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

【0195】

例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を元に、立体物に関する立体物データを、2輪車、普通車両、大型車両、歩行者、電柱等その他の立体物に分類して抽出し、障害物の自動回避に用いることができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車両12100の周辺の障害物を、車両12100のドライバが視認可能な障害物と視認困難な障害物とに識別する。そして、マイクロコンピュータ12051は、各障害物との衝突の危険度を示す衝突リスクを判断し、衝突リスクが設定値以上で衝突可能性がある状況であるときには、オーディオスピーカ12061や表示部12062を介してドライバに警報を出力することや、駆動系制御ユニット12010を介して強制減速や回避操舵を行うことで、衝突回避のための運転支援を行うことができる。

【0196】

撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、赤外線を検出する赤外線カメラであってもよい。例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104の撮像画像中に歩行者が存在するか否かを判定することで歩行者を認識することができる。かかる歩行者の認識は、例えば赤外線カメラとしての撮像部12101ないし12104の撮像画像における特徴点を抽出する手順と、物体の輪郭を示す一連の特徴点にパターンマッチング処理を行って歩行者か否かを判別する手順によって行われる。マイクロコンピュータ12051が、撮像部12101ないし12104の撮像画像中に歩行者が存在すると判定し、歩行者を認識すると、音声画像出力部12052は、当該認識された歩行者に強調のための方形輪郭線を重畳表示するように、表示部12062を制御する。また、音声画像出力部12052は、歩行者を示すアイコン等を所望の位置に表示するように表示部12062を制御してもよい。

【0197】

以上、本開示に係る技術が適用され得る車両制御システムの一例について説明した。本開示に係る技術は、以上説明した構成のうち、マイクロコンピュータ12051と撮像部12101ないし12104とに適用され得る。具体的には、撮像部12101ないし12104がいずれかが電荷信号を生成し、残りが輝度データを生成し、マイクロコンピュータ12051がデプスマップを生成する。マイクロコンピュータ12051と撮像部12101ないし12104とに本開示に係る技術を適用することにより、測距精度を向上させることができるため、障害物などを正確に検知して車両の安全性を向上させることができる。

【0198】

なお、上述の実施の形態は本技術を具現化するための一例を示したものであり、実施の形態における事項と、特許請求の範囲における発明特定事項とはそれぞれ対応関係を有する。同様に、特許請求の範囲における発明特定事項と、これと同一名称を付した本技術の実施の形態における事項とはそれぞれ対応関係を有する。ただし、本技術は実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において実施の形態に種々の変形を施すことにより具現化することができる。

【0199】

また、上述の実施の形態において説明した処理手順は、これら一連の手順を有する方法として捉えてもよく、また、これら一連の手順をコンピュータに実行させるためのプログラム乃至そのプログラムを記憶する記録媒体として捉えてもよい。この記録媒体として、例えば、CD（Compact Disc）、MD（MiniDisc）、DVD（Digital Versatile Disc）、メモ리카ード、ブルーレイディスク（Blu-ray（登録商標）Disc）等を用いることができる。

【 0 2 0 0 】

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。

【 0 2 0 1 】

なお、本技術は以下のような構成もとることができる。

(1) 連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と
を具備する測距装置。

10

(2) 前記測距部は、

所定のフィルタと、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算して前記所定のフィルタに入力する平均演算部とを備える

前記 (1) 記載の測距装置。

(3) 前記所定のフィルタは、クロスバイラテラルフィルタである

前記 (2) 記載の測距装置。

20

(4) 前記測距部は、前記間欠光受光データに基づいて前記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成して前記所定のフィルタに入力する低解像度距離データ生成部をさらに備え、

前記所定のフィルタは、前記低解像度距離データと前記平均値と前記連続光受光データとから前記高解像度距離データを生成する

前記 (2) または (3) に記載の測距装置。

(5) 前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記測距部は、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して前記所定のフィルタに入力する差分データ生成部と、

30

前記連続光画素ごとに高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とをさらに備え、

前記所定のフィルタは、前記低解像度差分データと前記平均値と前記連続光受光データとから前記高解像度差分データを生成する

前記 (2) または (3) に記載の測距装置。

(6) 前記測距部は、

前記画素ブロックごとに前記平均値を演算する平均演算部と

前記平均値から所定の関数を回帰分析により求める回帰分析部と

40

を備える

前記 (1) 記載の測距装置。

(7) 前記測距部は、

前記間欠光受光データに基づいて前記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成して前記回帰分析部に入力する低解像度距離データ生成部と、

前記連続光受光データを前記所定の関数に入力して前記高解像度距離データを生成する高解像度距離データ生成部と

をさらに備え、

前記回帰分析部は、前記低解像度距離データと前記平均値との関係を示す関数を前記所定の関数として求める

50

請求項 6 記載の測距装置。

(8) 前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記測距部は、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成して前記回帰分析部に入力する差分データ生成部と、

前記連続光受光データを前記所定の関数に入力して前記連続光画素ごとに高解像度差分データを生成する高解像度距離データ生成部と

前記連続光画素ごとに前記高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部とをさらに備え、

前記回帰分析部は、前記低解像度差分データと前記平均値との関係を示す関数を前記所定の関数として求める

前記 (6) 記載の測距装置。

(9) 連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部と、

間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部と、

エネルギー最小化計算により前記間欠光受光データと前記連続光受光データとから前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距部と

を具備する測距装置。

(1 0) 前記測距部は、

前記間欠光受光データに基づいて前記間欠光画素ごとに距離データを低解像度距離データとして生成する低解像度距離データ生成部と、

前記画素ブロックごとに前記高解像度距離データの平均値と前記低解像度距離データとの差を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記高解像度距離データを生成するエネルギー最小化計算部と

を備える前記 (9) 記載の測距装置。

(1 1) 前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記測距部は、

前記間欠光画素ごとに前記第 1 および第 2 の低解像度電荷信号の差分データと前記第 3 および第 4 の低解像度電荷信号の差分データとのそれぞれを低解像度差分データとして生成する差分データ生成部と、

前記画素ブロックごとに高解像度差分データの平均値と前記低解像度差分データとの差を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記高解像度差分データを生成するエネルギー最小化計算部と、

前記連続光画素ごとに前記高解像度差分データを前記高解像度距離データに変換する高解像度差分データ変換部と

を備える前記 (9) 記載の測距装置。

(1 2) 前記間欠光受光データは、第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号を含み、

前記距離部は、

前記画素ブロックごとに第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号の平均値と第 1、第 2、第 3 および第 4 の低解像度電荷信号との差を最小にする前記エネルギー最小化計算により前記第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号を生成するエネルギー最小化計算部と、

前記第 1、第 2、第 3 および第 4 の高解像度電荷信号を前記高解像度距離データに変換する高解像度電荷信号変換部と

10

20

30

40

50

を備える前記（９）記載の測距装置。

（１３）複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部において前記複数の連続光画素が連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する連続光受光手順と、

間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部において前記間欠光画素が間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光受光手順と、

前記画素ブロックごとの前記連続光受光データの平均値と前記連続光受光データと前記間欠光受光データとを用いて前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距手順と

10

を具備する測距装置の制御方法。

（１４）複数の連続光画素が各々に設けられた所定数の画素ブロックを配置した連続光受光部において前記複数の連続光画素が連続光の受光量を示す連続光受光データを生成する連続光受光手順と、

間欠光画素を前記所定数の画素ブロックのそれぞれに対応付けて設けた間欠光受光部において前記間欠光画素が間欠光の受光量を示す間欠光受光データを生成する間欠光受光手順と、

エネルギー最小化計算により前記間欠光受光データと前記連続光受光データとから前記複数の連続光画素のそれぞれについて距離データを高解像度距離データとして生成する測距手順と

20

を具備する測距装置の制御方法。

【符号の説明】

【０２０２】

- １００ 携帯端末機
- １１０ 発光部
- １２０ 制御部
- １３０ 固体撮像素子
- １３１、２１０ 行走査回路
- １３２、２２０ 画素アレイ部
- １３３ 画素ブロック
- １３４、２３０、 画素回路
- １３５、２４０ タイミング制御部
- １３６、２５０ ＡＤ変換部
- １３７、２６０ 列走査回路
- １３８、２７０ 信号処理部
- １４０ 距離データ処理部
- ２００ ＴｏＦセンサ
- ２３１ 受光素子
- ２３２ 転送スイッチ
- ２３３、２３４ 電荷蓄積部
- ２３５、２３６ 選択スイッチ
- ３００ 測距部
- ３１１ 低解像度距離データ生成部
- ３１２ 投影位置供給部
- ３１３ 平均演算部
- ３１４ クロスバイラテラルフィルタ
- ３１５、３１６ 関数演算部
- ３１７ 距離データアップサンプリング部
- ３２３ 差分データアップサンプリング部
- ３２４ 高解像度差分データ変換部

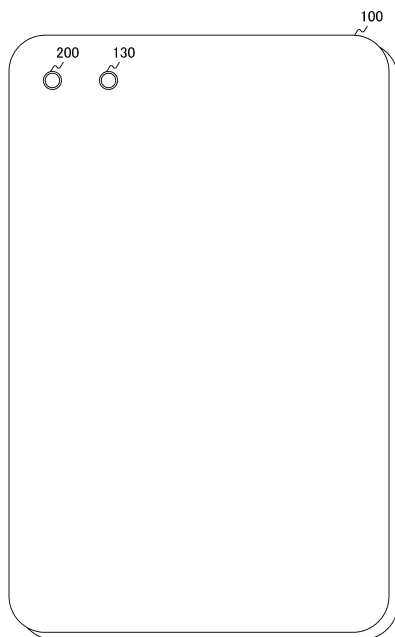
30

40

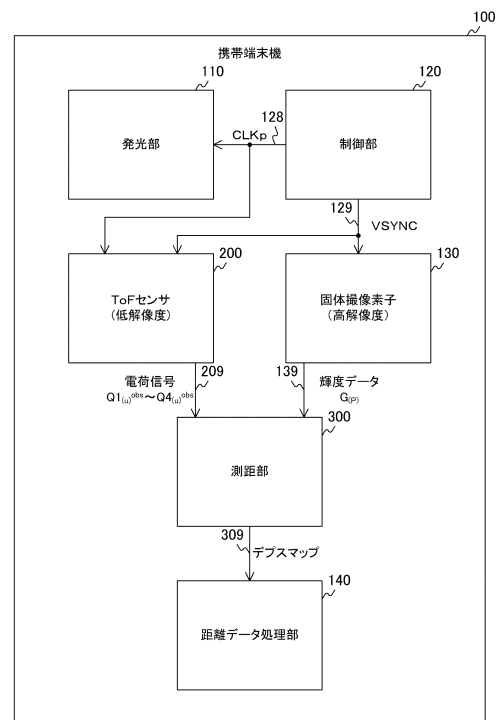
50

3 3 1、3 4 1 回帰分析部
 3 3 2 高解像度距離データ生成部
 3 4 2 高解像度差分データ生成部
 3 5 1、3 6 2、3 7 1 エネルギー最小化計算部
 3 6 1 低解像度差分データ生成部
 3 7 2 高解像度電荷信号変換部
 1 2 1 0 1、1 2 1 0 2、1 2 1 0 3、1 2 1 0 4、1 2 1 0 5 撮像部
 1 2 0 5 1 マイクロコンピュータ

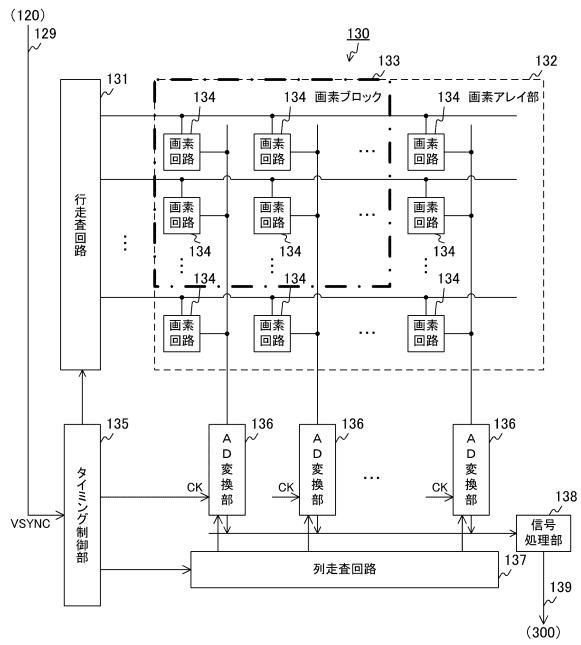
【図 1】



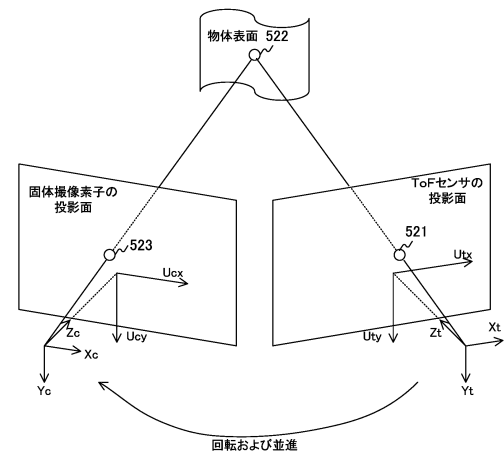
【図 2】



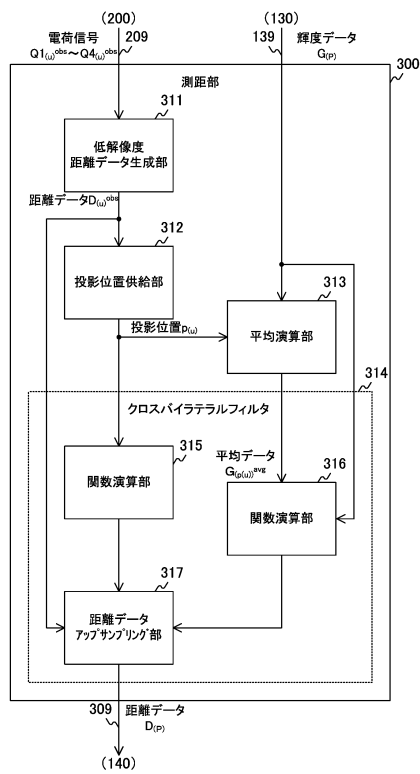
【図 7】



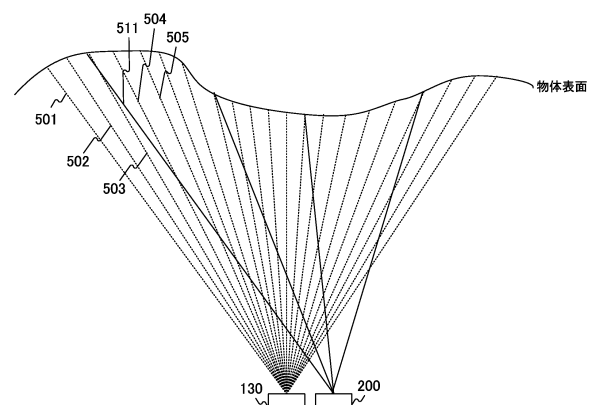
【図 8】



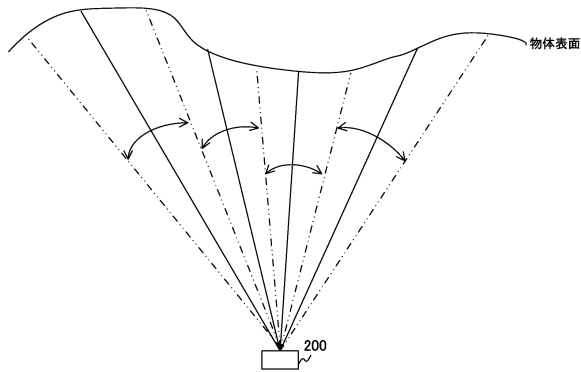
【図 9】



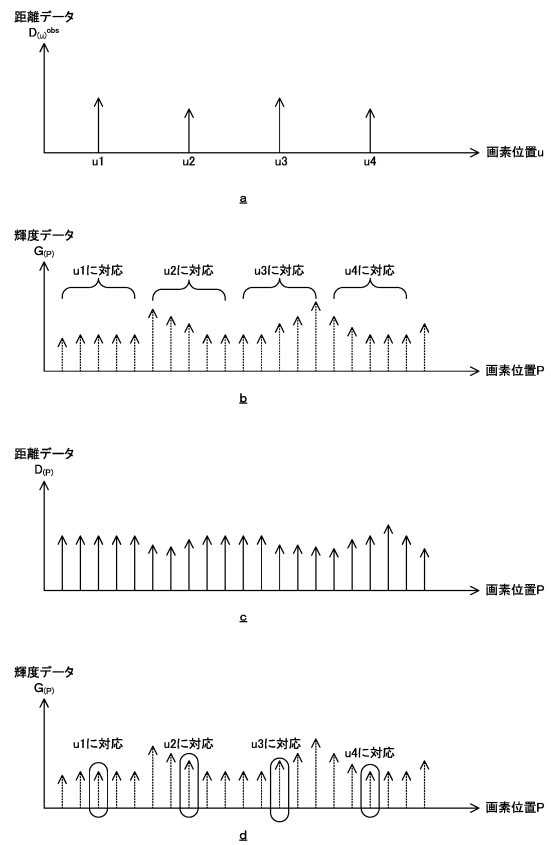
【図 10】



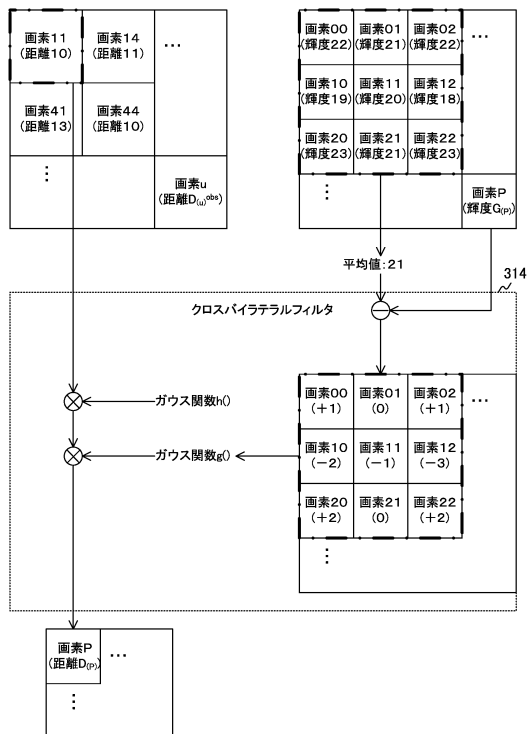
【図 1 1】



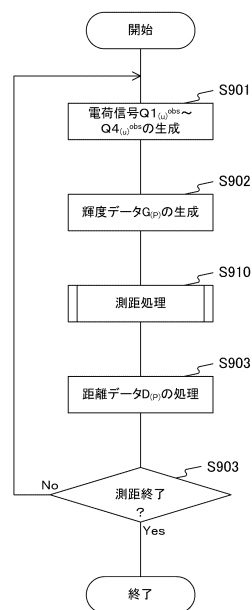
【図 1 2】



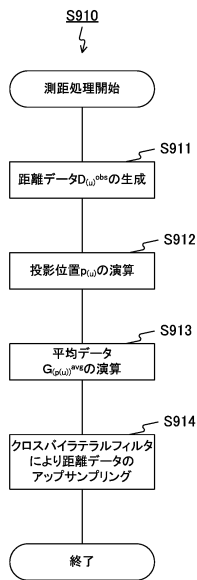
【図 1 3】



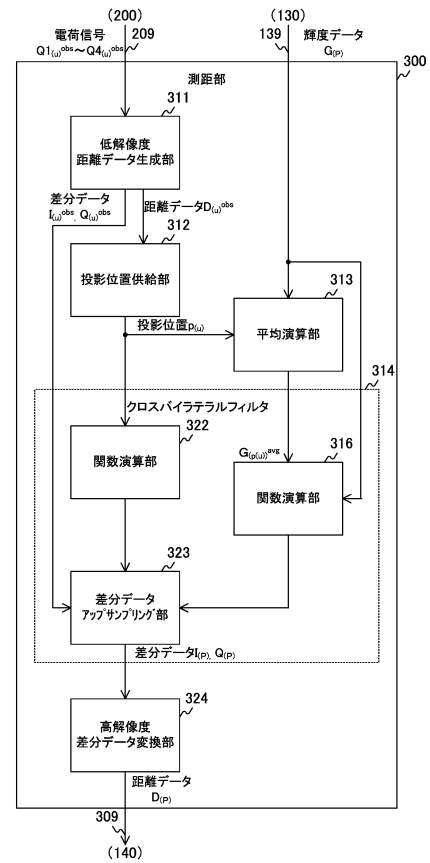
【図 1 4】



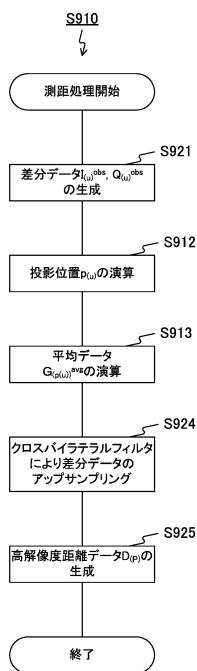
【図 15】



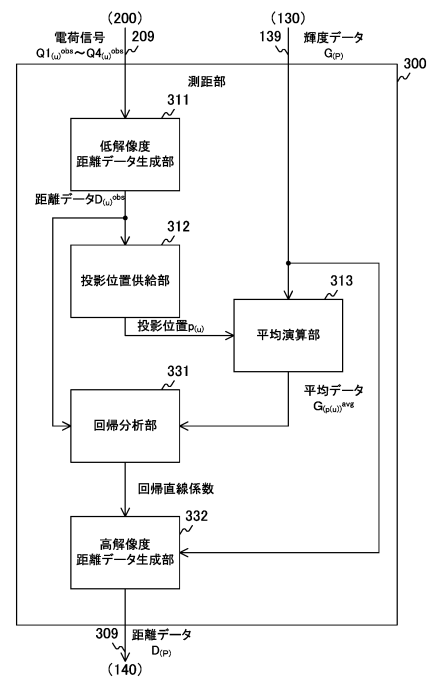
【図 16】



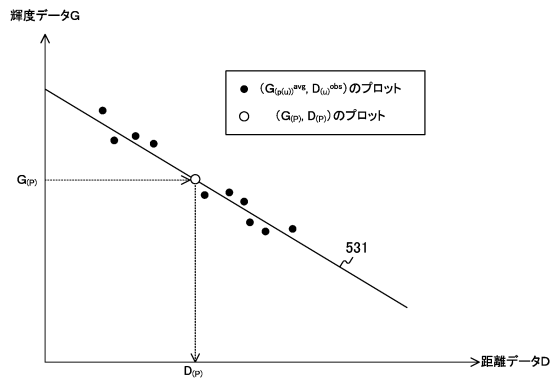
【図 17】



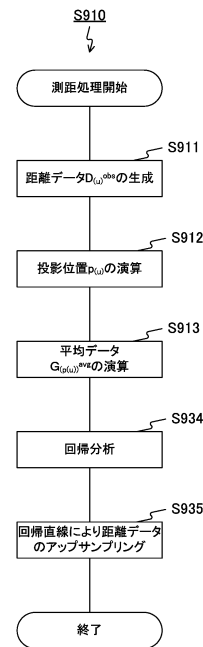
【図 18】



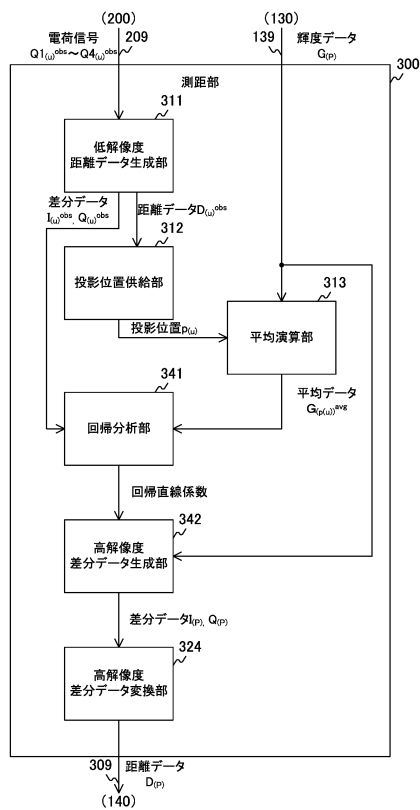
【図 19】



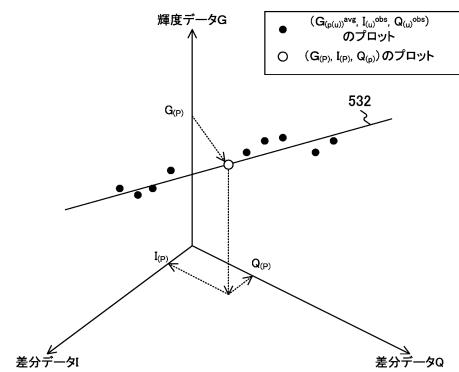
【図 20】



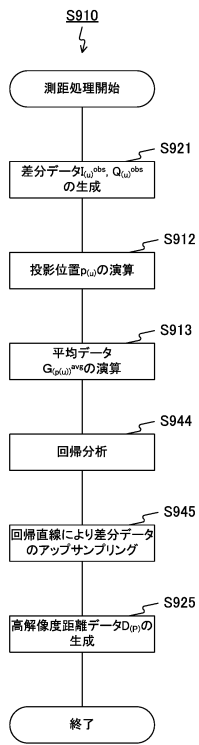
【図 21】



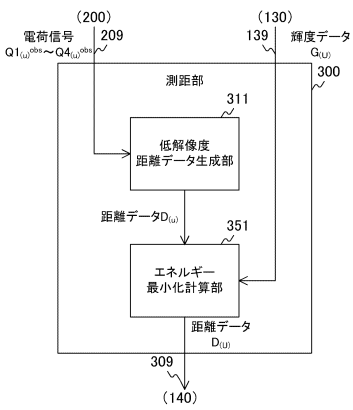
【図 22】



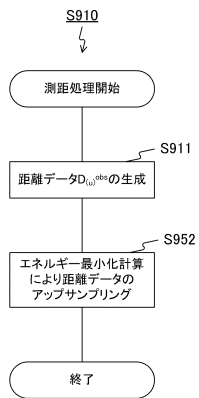
【図 23】



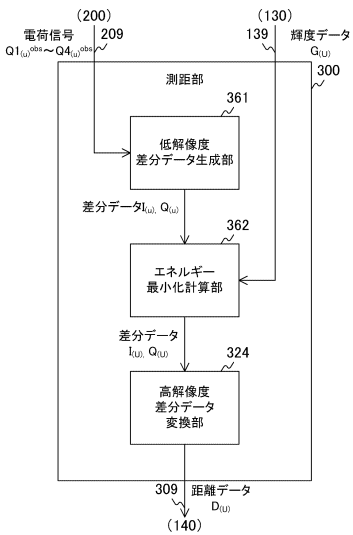
【図 24】



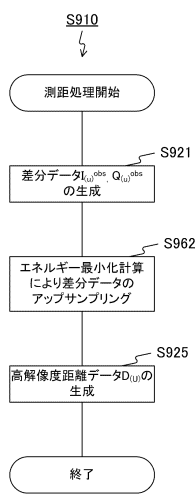
【図 25】



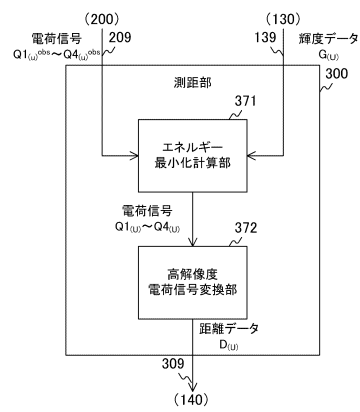
【図 26】



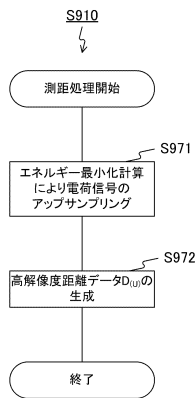
【図 27】



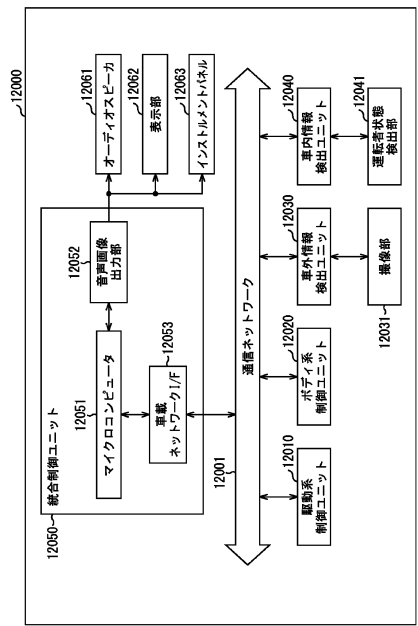
【図 28】



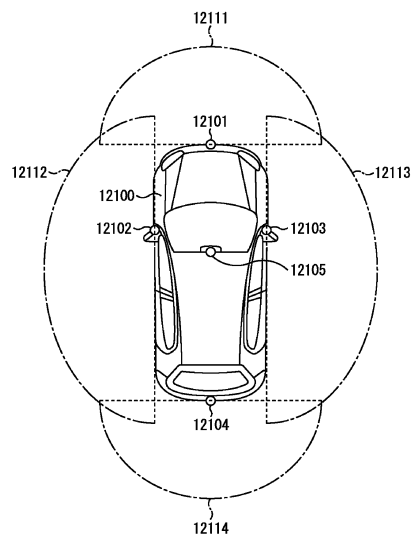
【図 29】



【図 30】



【図 31】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0169848(US, A1)

特開2014-150521(JP, A)

米国特許出願公開第2008/0267494(US, A1)

特表2016-510396(JP, A)

欧州特許出願公開第2466901(EP, A2)

特開2015-175752(JP, A)

特開2017-150893(JP, A)

松尾清史、外1名, “第2編 応用技術 第5章 三次元センシング向けセンサの開発 第1節 色情報とレンジデータのフュージョンによる高分解能三次元レンジセンサの開発”, 三次元画像センシングの新展開, 株式会社エヌ・ティー・エス, 2015年 5月29日, 初版, p.187-194, ISBN978-4-86043-428-1

FERSTL, David, et al., "Image Guided Depth Upsampling using Anisotropic Total Generalized Variation", Computer Vision (ICCV), 2013 IEEE International Conference on, 2013年12月 8日, p.993-1000

長谷川昂宏、外4名, “IR反射強度画像を用いたガイドフィルタによる距離画像の高品質化”, SSI 2015 第21回 画像センシングシンポジウム ダイジェスト集, 画像センシング技術研究会, 2015年 6月12日, p.IS1-19-1~IS1-19-6

YANG, Qingxiong, et al., "Spatial-Depth Super Resolution for Range Images", Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR '07. IEEE Conference on, 2007年 6月22日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51

G01S 17/00 - 17/95

H04N 5/222 - 5/257