

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7030607号

(P7030607)

(45)発行日 令和4年3月7日(2022.3.7)

(24)登録日 令和4年2月25日(2022.2.25)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 S 17/26 (2020.01)

G 0 1 S 17/26

G 0 1 S 17/89 (2020.01)

G 0 1 S 17/89

G 0 1 C 3/06 (2006.01)

G 0 1 C 3/06

1 2 0 Q

G 0 2 B 7/40 (2021.01)

G 0 1 C 3/06

1 4 0

G 0 2 B 7/40

請求項の数 16 (全44頁)

(21)出願番号 特願2018-87513(P2018-87513)
(22)出願日 平成30年4月27日(2018.4.27)
(65)公開番号 特開2019-191119(P2019-191119
A)
(43)公開日 令和1年10月31日(2019.10.31)
審査請求日 令和3年3月22日(2021.3.22)

(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 100121131
弁理士 西川 孝
(74)代理人 100082131
弁理士 稲本 義雄
(72)発明者 青竹 峻太郎
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
(72)発明者 増野 智経
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
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 測距処理装置、測距モジュール、測距処理方法、およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について2つつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算部と、

前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算部と、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部を切り替えて用いる条件判断部と

を備える測距処理装置。

【請求項2】

第1の位相の照射光の前記反射光が受光される第1の検出期間において、前記第1のタップと前記第2のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第1のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第1の検出信号と、前記第2のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第2の検出信号とが検出され、

第2の位相の照射光の前記反射光が受光される第2の検出期間において、前記第1のタップと前記第2のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第1のタップに振り分け

られて蓄積した電荷に応じた第 3 の検出信号と、前記第 2 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 4 の検出信号とが検出される

第 3 の位相の照射光の前記反射光が受光される第 3 の検出期間において、前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第 1 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 5 の検出信号と、前記第 2 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 6 の検出信号とが検出され、

第 4 の位相の照射光の前記反射光が受光される第 4 の検出期間において、前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第 1 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 7 の検出信号と、前記第 2 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 8 の検出信号とが検出される

10

請求項 1 に記載の測距処理装置。

【請求項 3】

前記第 1 の測距演算部は、前記第 1 の検出信号と前記第 2 の検出信号との差分、前記第 3 の検出信号と前記第 4 の検出信号との差分、前記第 5 の検出信号と前記第 6 の検出信号との差分、および前記第 7 の検出信号と前記第 8 の検出信号との差分を用いて、前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレによる影響をキャンセルさせて前記デプスを求める

請求項 2 に記載の測距処理装置。

【請求項 4】

前記第 2 の測距演算部は、

20

前記第 1 乃至第 4 の検出信号を用いて前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレを補正する補正パラメータを算出し、前記第 1 乃至第 4 の検出信号と前記補正パラメータに基づいて前記デプスを求めることと、

前記第 5 乃至第 8 の検出信号を用いて前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレを補正する補正パラメータを算出し、前記第 5 乃至第 8 の検出信号と前記補正パラメータに基づいて前記デプスを求めることと

を交互に行う

請求項 2 に記載の測距処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 の測距演算部または前記第 2 の測距演算部により求められた前記デプスを格納する測距結果格納部と、

30

前記測距結果格納部に格納された 1 フレーム前の前記デプスと、現在のフレームの前記デプスとを合成して出力する結果合成部と

をさらに備える請求項 1 に記載の測距処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 の測距演算部および前記第 2 の測距演算部は、前記デプスとともに、前記デプスに対する信頼度を求め、

前記測距結果格納部には、前記デプスとともに前記信頼度が格納され、

前記結果合成部は、前記信頼度に応じた重み付け加算を行うことにより、1 フレーム前の前記デプスと、現在のフレームの前記デプスとを合成する

40

請求項 5 に記載の測距処理装置。

【請求項 7】

前記結果合成部は、前記第 1 の測距演算部により前記所定数の前記検出信号を全て用いて求められた 1 フレーム前の前記デプスと、前記第 1 の測距演算部により前記所定数の前記検出信号を全て用いて求められた現在のフレームの前記デプスとを合成する

請求項 5 に記載の測距処理装置。

【請求項 8】

前記結果合成部は、前記第 2 の測距演算部により前記前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号を用いて求められたデプスと、前記第 2 の測距演算部により前記後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号を用いて求められたデプスとのうちの、一

50

方を1フレーム前とし、他方を現在のフレームとして、前記デプスの合成を行う
請求項5に記載の測距処理装置。

【請求項9】

前記条件判断部は、前記反射光を受光する受光部の画素ごとに条件判断を行って、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部により前記デプスを求める演算を前記画素ごとに切り替える

請求項1に記載の測距処理装置。

【請求項10】

前記条件判断部は、

前記第1の位相の照射光および前記第2の位相の照射光に基づく4つの前記検出信号と、
前記第3の位相の照射光および前記第4の位相の照射光に基づく4つの前記検出信号とを
比較することで検知される前記物体の動きに基づいて前記条件判断を行い、
前記物体に動きがあることが検知された場合には、前記第2の測距演算部により前記デプ
スを求める演算を行い

前記物体に動きがないことが検知された場合には、前記第1の測距演算部により前記デプ
スを求める演算を行う

請求項2に記載の測距処理装置。

【請求項11】

前記条件判断部は、

前記第1の位相の照射光および前記第2の位相の照射光に基づく4つの前記検出信号から
求められる明るさと、前記第3の位相の照射光および前記第4の位相の照射光に基づく4
つの前記検出信号から求められる明るさに基づいて前記条件判断を行い、

前記明るさに応じて、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部を切り替える

請求項2に記載の測距処理装置。

【請求項12】

前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部は、前記デプスとともに、前記デプス
に対する信頼度を求め、

前記条件判断部は、1フレーム前に求められた前記信頼度に基づいて前記条件判断を行い
、前記信頼度に応じて、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部を切り替える

請求項2に記載の測距処理装置。

【請求項13】

前記第1の検出期間、前記第2の検出期間、前記第3の検出期間、前記第4の検出期間が
略等間隔に設定される

請求項2に記載の測距処理装置。

【請求項14】

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射する発光部と、

前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に
応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の位相の照射光につい
て2つつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を出力する受光部と、

前記所定数の2倍の前記検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求め
る演算を行う第1の測距演算部と、

前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検
出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記
物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算部と、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演
算部を切り替えて用いる条件判断部と

を備える測距モジュール。

【請求項15】

測距処理を行う測距処理装置が、

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光するこ

10

20

30

40

50

とにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第 1 のタップと第 2 のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について 2 つずつ検出される前記所定数の 2 倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 1 の測距演算処理を行うことと、

前記所定数の 2 倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 2 の測距演算処理を行うことと、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第 1 の測距演算処理および前記第 2 の測距演算処理を切り替えて用いることと

を含む測距処理方法。

10

【請求項 16】

測距処理を行う測距処理装置のコンピュータに、

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第 1 のタップと第 2 のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について 2 つずつ検出される前記所定数の 2 倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 1 の測距演算処理を行うことと、

前記所定数の 2 倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 2 の測距演算処理を行うことと、

20

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第 1 の測距演算処理および前記第 2 の測距演算処理を切り替えて用いることと

を含む測距処理を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、測距処理装置、測距モジュール、測距処理方法、およびプログラムに関し、特に、より高性能化を図ることができるようにした測距処理装置、測距モジュール、測距処理方法、およびプログラムに関する。

【背景技術】

30

【0002】

近年、半導体技術の進歩により、物体までの距離を測定する測距モジュールの小型化が進んでいる。これにより、例えば、通信機能を備えた小型の情報処理装置である、いわゆるスマートフォンなどのモバイル端末に測距モジュールを搭載することが実現されている。

【0003】

一般的に、測距モジュールにおける測距方法としては、Indirect TOF (Time of Flight) 方式およびStructured Light方式の 2 種類がある。Indirect ToF方式では、光を物体に向かって照射して物体の表面で反射してくる光を検出し、その光の飛行時間を測定した測定値に基づいて物体までの距離が算出される。Structured Light方式では、パターン光を物体に向かって照射し、物体の表面におけるパターンの歪みを撮像した画像に基づいて物体までの距離が算出される。

40

【0004】

例えば、特許文献 1 には、ToF方式で測距する測距システムにおいて、検出期間内における物体の移動を判定することにより、距離を正確に測定する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2017 - 150893 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 6 】

ところで、上述したように、測距モジュールをモバイル端末で利用する際には、フレームレートや消費電力、データ転送帯域などの性能を向上させることが求められる。

【 0 0 0 7 】

本開示は、このような状況に鑑みてなされたものであり、より高性能化を図ることができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本開示の一側面の測距処理装置は、所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について2つずつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算部と、前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算部と、前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部を切り替えて用いる条件判断部とを備える。

10

【 0 0 0 9 】

本開示の一側面の測距モジュールは、所定数の位相の異なる照射光を物体に照射する発光部と、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の位相の照射光について2つずつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を出力する受光部と、前記所定数の2倍の前記検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算部と、前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算部と、前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算部および前記第2の測距演算部を切り替えて用いる条件判断部とを備える。

20

【 0 0 1 0 】

本開示の一側面の測距処理方法は、測距処理を行う測距処理装置が、所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について2つずつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算処理を行うことと、前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算処理を行うことと、前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算処理および前記第2の測距演算処理を切り替えて用いることとを含む。

30

【 0 0 1 1 】

本開示の一側面のプログラムは、測距処理を行う測距処理装置のコンピュータに、所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について2つずつ検出される前記所定数の2倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算処理を行うことと、前記所定数の2倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算処理を行うことと、前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第1の測距演算処理および前記第2の測距演算処理を切り替えて用いることとを含む測距処理を実行させる。

40

50

【 0 0 1 2 】

本開示の一側面においては、所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、物体までの距離に応じて第1のタップと第2のタップとに振り分けられ、所定数の照射光について2つずつ検出される所定数の2倍の検出信号を全て用いて、物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第1の測距演算処理が行われ、所定数の2倍の検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく所定数の検出信号と、後段半分の照射光に基づく所定数の検出信号とを交互に用いて、物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第2の測距演算処理が行われ、検出信号に基づいた条件判断を行い、第1の測距演算処理および第2の測距演算処理が切り替えられて用いられる。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 3 】

本開示の一側面によれば、より高性能化を図ることができる。

【 0 0 1 4 】

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。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 本技術を適用した測距モジュールの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

20

【 図 2 】 画素回路における電荷の振り分けを説明する図である。

【 図 3 】 90°ごとに位相が遅れた4通りの照射光の一例を示す図である。

【 図 4 】 90°ごとに位相が遅れた4通りの照射光による4つの検出期間を利用した測距について説明する図である。

【 図 5 】 位相遅れ0°の照射光による検出期間での検出信号の一例を示す図である。

【 図 6 】 位相遅れ90°の照射光による検出期間での検出信号の一例を示す図である。

【 図 7 】 位相遅れ180°の照射光による検出期間での検出信号の一例を示す図である。

【 図 8 】 位相遅れ270°の照射光による検出期間での検出信号の一例を示す図である。

【 図 9 】 検出信号 A 0 乃至 A 2 7 0 および検出信号 B 0 乃至 B 2 7 0 の関係を説明する図である。

30

【 図 1 0 】 補正演算について説明する図である。

【 図 1 1 】 2つの検出期間を利用した測距について説明する図である。

【 図 1 2 】 測距演算処理部の第1の構成例を示すブロック図である。

【 図 1 3 】 測距演算処理の第1の処理例を説明するフローチャートである。

【 図 1 4 】 測距演算処理部の第2の構成例を示すブロック図である。

【 図 1 5 】 測距結果を合成することによるフレームレートの向上について説明する図である。

【 図 1 6 】 測距結果を合成することによる消費電力の低下について説明する図である。

【 図 1 7 】 測距演算処理の第2の処理例を説明するフローチャートである。

【 図 1 8 】 1枚のデプスマップを出力するための発光および受光のタイミングの一例を示す図である。

40

【 図 1 9 】 発光パターンのバリエーションを示す図である。

【 図 2 0 】 発光パターンのバリエーションを示す図である。

【 図 2 1 】 発光パターンのバリエーションを示す図である。

【 図 2 2 】 測距演算処理部の第3の構成例を示すブロック図である。

【 図 2 3 】 動き検知に基づいた測距結果の合成について説明する図である。

【 図 2 4 】 測距演算処理の第3の処理例を説明するフローチャートである。

【 図 2 5 】 測距モジュールを搭載した電子機器の構成例を示すブロック図である。

【 図 2 6 】 本技術を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

50

【図 2 7】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 2 8】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】

【0016】

以下、本技術を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0017】

<測距モジュールの構成例>

図 1 は、本技術を適用した測距モジュールの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【0018】

図 1 に示すように、測距モジュール 11 は、発光部 12、発光制御部 13、受光部 14、および測距演算処理部 15 を備えて構成される。例えば、測距モジュール 11 は、物体に対して光を照射し、その光（照射光）が物体で反射した光（反射光）を受光して、物体までの距離を表すデプスを測定する。

【0019】

発光部 12 は、発光制御部 13 による制御に従って、発光制御部 13 から供給される発光制御信号に応じたタイミングで変調しながら発光し、物体に対して照射光を照射する。

【0020】

発光制御部 13 は、所定の周波数（例えば、20MHz など）の発光制御信号を発光部 12 に供給し、発光部 12 の発光を制御する。また、発光部 12 における発光のタイミングに合わせて受光部 14 を駆動させるために、発光制御部 13 は、受光部 14 にも発光制御信号を供給する。

【0021】

受光部 14 は、複数の画素がアレイ状に配置されたセンサ面で、物体からの反射光を受光する。そして、受光部 14 は、それぞれの画素が受光した反射光の受光量に応じた検出信号で構成される画像データを、測距演算処理部 15 に供給する。

【0022】

測距演算処理部 15 は、受光部 14 から供給される画像データに基づいて、測距モジュール 11 から物体までのデプスを求める演算を行う。そして、測距演算処理部 15 は、物体までのデプスが画素ごとに表されたデプスマップと、それぞれのデプスに対する信頼度が画素ごとに表された信頼度マップとを生成して、図示しない後段の制御ユニット（例えば、図 25 のアプリケーション処理部 121 やオペレーションシステム処理部 122 など）へ出力する。なお、測距演算処理部 15 の詳細な構成については、図 12 を参照して後述する。

【0023】

また、受光部 14 には、複数の画素回路 21 がアレイ状に配置された画素アレイ部 22 が設けられており、画素アレイ部 22 の周辺領域に駆動制御回路 23 が配置されている。画素アレイ部 22 は、反射光を受光するセンサ面である。駆動制御回路 23 は、例えば、発光制御部 13 から供給される発光制御信号などに基づいて、画素回路 21 の駆動を制御するための制御信号（例えば、後述する振り分け信号 DIMIX や、選択信号 ADDRESS DECODE、リセット信号 RST など）を出力する。

【0024】

画素回路 21 は、1 つのフォトダイオード 31 で発生した電荷がタップ 32 A およびタップ 32 B に振り分けられるように構成されている。そして、フォトダイオード 31 で発生した電荷のうち、タップ 32 A に振り分けられた電荷が信号線 33 A から読み出されて検出信号 A として用いられ、タップ 32 B に振り分けられた電荷が信号線 33 B から読み出されて検出信号 B として用いられる。

【0025】

タップ 32 A は、転送トランジスタ 41 A、F D（Floating Diffusion）部 42 A、選択

10

20

30

40

50

トランジスタ 4 3 A、およびリセットトランジスタ 4 4 A により構成される。同様に、タップ 3 2 B は、転送トランジスタ 4 1 B、F D 部 4 2 B、選択トランジスタ 4 3 B、およびリセットトランジスタ 4 4 B により構成される。

【 0 0 2 6 】

図 2 を参照して、画素回路 2 1 における電荷の振り分けについて説明する。

【 0 0 2 7 】

図 2 に示すように、照射時間 T で照射のオン / オフを繰り返すように変調 (1 周期 = $2 T$) された照射光が発光部 1 2 から出力され、物体までの距離に応じた遅延時間 T_{RT} だけ遅れて、フォトダイオード 3 1 において反射光が受光される。また、振り分け信号 DIMIX_A は、転送トランジスタ 4 1 A のオン / オフを制御し、振り分け信号 DIMIX_B は、転送トランジスタ 4 1 B のオン / オフを制御する。図示するように、振り分け信号 DIMIX_A が、照射光と同一の位相である一方で、振り分け信号 DIMIX_B は、振り分け信号 DIMIX_A を反転した位相となっている。

10

【 0 0 2 8 】

従って、フォトダイオード 3 1 が反射光を受光することにより発生する電荷は、振り分け信号 DIMIX_A に従って転送トランジスタ 4 1 A がオンとなっている間では F D 部 4 2 A に転送され、振り分け信号 DIMIX_B に従って転送トランジスタ 4 1 B のオンとなっている間では F D 部 4 2 B に転送される。これにより、照射時間 T の照射光の照射が周期的に行われる所定の期間において、転送トランジスタ 4 1 A を介して転送された電荷は F D 部 4 2 A に順次蓄積され、転送トランジスタ 4 1 B を介して転送された電荷は F D 部 4 2 B に順次蓄積される。

20

【 0 0 2 9 】

そして、電荷を蓄積する期間の終了後、選択信号 ADDRESS_DECODE_A に従って選択トランジスタ 4 3 A がオンとなると、F D 部 4 2 A に蓄積されている電荷が信号線 3 3 A を介して読み出され、その電荷量に応じた検出信号 A が受光部 1 4 から出力される。同様に、選択信号 ADDRESS_DECODE_B に従って選択トランジスタ 4 3 B がオンとなると、F D 部 4 2 B に蓄積されている電荷が信号線 3 3 B を介して読み出され、その電荷量に応じた検出信号 B が受光部 1 4 から出力される。また、F D 部 4 2 A に蓄積されている電荷は、リセット信号 RST_A に従ってリセットトランジスタ 4 4 A がオンになると排出され、F D 部 4 2 B に蓄積されている電荷は、リセット信号 RST_B に従ってリセットトランジスタ 4 4 B がオンになると排出される。

30

【 0 0 3 0 】

このように、画素回路 2 1 は、フォトダイオード 3 1 が受光した反射光により発生する電荷を、遅延時間 T_{RT} に応じてタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に振り分けて、検出信号 A および検出信号 B を出力することができる。そして、遅延時間 T_{RT} は、発光部 1 2 で発光した光が物体まで飛行し、物体で反射した後に受光部 1 4 まで飛行する時間に応じたもの、即ち、物体までの距離に応じたものである。従って、測距モジュール 1 1 は、検出信号 A および検出信号 B に基づき、遅延時間 T_{RT} に従って物体までの距離 (デプス) を求めることができる。

【 0 0 3 1 】

ところで、測距モジュール 1 1 では、個々の画素回路 2 1 が有するフォトダイオード 3 1 などの各素子の特性のズレによって、画素回路 2 1 ごとに異なる影響が検出信号 A および検出信号 B に与えられることになる。従って、一般的に、位相の異なる照射光が用いられ、複数回、それぞれの位相の照射光による反射光から検出される検出信号 A および検出信号 B に基づいて、個々の特性のズレによる影響を打ち消すような演算が行われる。

40

【 0 0 3 2 】

ここで、図 3 乃至図 9 を参照して、従来、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B との特性のズレによる影響を打ち消すために必要としている検出信号について説明する。

【 0 0 3 3 】

例えば、図 3 に示すように、 90° ごとに位相が遅れた 4 通りの照射光が用いられる。即

50

ち、位相遅れ 0° の照射光を基準として、位相遅れ 90° の照射光、位相遅れ 180° の照射光、および、位相遅れ 270° の照射光を用いて、それぞれ検出信号 A および検出信号 B を検出する期間 (quad) が 4 回設けられる。

【 0 0 3 4 】

即ち、図 4 に示すように、例えば、位相遅れ 0° の照射光による反射光を検出する検出期間 Q 0、位相遅れ 90° の照射光による反射光を検出する検出期間 Q 1、位相遅れ 180° の照射光による反射光を検出する検出期間 Q 2、および、位相遅れ 270° の照射光による反射光を検出する検出期間 Q 3 が連続的に設けられる。また、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 では、電荷をリセットするリセット期間、電荷を蓄積するインテグレーション期間、電荷を読み出すリードアウト期間がそれぞれ設けられている。

10

【 0 0 3 5 】

そして、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 からなる検出期間と、その後の待機期間 (dead time / idle time) とにより、1 枚のデプスマップを出力するための 1 デプスフレームが構成される。このような 1 デプスフレームが繰り返され、フレーム番号 t のデプスフレーム、フレーム番号 t + 1 のデプスフレーム、フレーム番号 t + 2 のデプスフレームのように、所定のフレームレートで連続的にデプスフレームが出力される。

【 0 0 3 6 】

図 5 には、検出期間 Q 0 における照射光、反射光、振り分け信号 DIMIX_A および DIMIX_B、並びに、検出信号 A および B の一例が示されている。図 5 に示すように、遅延時間 T_{RT} に応じた電荷量でタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に電荷が振り分けられ、インテグレーション期間において電荷がそれぞれ蓄積される。その後、リードアウト期間において、それぞれインテグレーション期間で蓄積された電荷量の電荷が読み出されて、検出期間 Q 0 における検出信号 A 0 および検出信号 B 0 が出力される。

20

【 0 0 3 7 】

図 6 には、検出期間 Q 1 における照射光、反射光、振り分け信号 DIMIX_A および DIMIX_B、並びに、検出信号 A および B の一例が示されている。図 6 に示すように、遅延時間 T_{RT} に応じた電荷量でタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に電荷が振り分けられ、インテグレーション期間において電荷がそれぞれ蓄積される。その後、リードアウト期間において、それぞれインテグレーション期間で蓄積された電荷量の電荷が読み出されて、検出期間 Q 1 における検出信号 A 9 0 および検出信号 B 9 0 が出力される。

30

【 0 0 3 8 】

図 7 には、検出期間 Q 2 における照射光、反射光、振り分け信号 DIMIX_A および DIMIX_B、並びに、検出信号 A および B の一例が示されている。図 7 に示すように、遅延時間 T_{RT} に応じた電荷量でタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に電荷が振り分けられ、インテグレーション期間において電荷がそれぞれ蓄積される。その後、リードアウト期間において、それぞれインテグレーション期間で蓄積された電荷量の電荷が読み出されて、検出期間 Q 2 における検出信号 A 1 8 0 および検出信号 B 1 8 0 が出力される。

【 0 0 3 9 】

図 8 には、検出期間 Q 3 における照射光、反射光、振り分け信号 DIMIX_A および DIMIX_B、並びに、検出信号 A および B の一例が示されている。図 8 に示すように、遅延時間 T_{RT} に応じた電荷量でタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に電荷が振り分けられ、インテグレーション期間において電荷がそれぞれ蓄積される。その後、リードアウト期間において、それぞれインテグレーション期間で蓄積された電荷量の電荷が読み出されて、検出期間 Q 3 における検出信号 A 2 7 0 および検出信号 B 2 7 0 が出力される。

40

【 0 0 4 0 】

このように、検出期間 Q 0 では位相遅れ 0° の照射光を用いて検出信号 A 0 および検出信号 B 0 が検出され、検出期間 Q 1 では位相遅れ 90° の照射光を用いて検出信号 A 9 0 および検出信号 B 9 0 が検出される。同様に、検出期間 Q 2 では位相遅れ 180° の照射光

50

を用いて検出信号 A 1 8 0 および検出信号 B 1 8 0 が検出され、検出期間 Q 3 では位相遅れ 2 7 0 ° の照射光を用いて検出信号 A 2 7 0 および検出信号 B 2 7 0 が検出される。

【 0 0 4 1 】

ここで、図 9 には、位相遅れを横軸とし、信号の強度 (Intensity) を縦軸としたときの、検出信号 A 0 乃至 A 2 7 0 および検出信号 B 0 乃至 B 2 7 0 の関係が示されている。

【 0 0 4 2 】

そして、検出信号 A 0 および検出信号 B 0 の関係、検出信号 A 9 0 および検出信号 B 9 0 の関係、検出信号 A 1 8 0 および検出信号 B 1 8 0 の関係、並びに、検出信号 A 2 7 0 および検出信号 B 2 7 0 の関係は、次の式 (1) に示すようにモデル化される。

【 0 0 4 3 】

【 数 1 】

$$\left\{ \begin{array}{l} A0-B0=Offset-Gain \times \cos(\theta) \\ A180-B180=Offset-Gain \times \cos(\theta+\pi) \\ A90-B90=Offset-Gain \times \cos(\theta+1/2\pi) \\ A270-B270=Offset-Gain \times \cos(\theta+3/2\pi) \end{array} \right. \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

【 0 0 4 4 】

このようなモデル化を行って、この式 (1) からオフセット Offset、ゲイン Gain、および角度 を求めることで、例えば、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B との特性のズレによる影響をキャンセルした測距を行うことができる。即ち、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B とにおけるオフセット Offset およびゲイン Gain の違いを打ち消すために、4 回の検出期間 Q 0 乃至 Q 3 で検出される 8 つの検出信号 (検出信号 A 0 乃至 A 2 7 0 および検出信号 B 0 乃至 B 2 7 0) が必要とされる。

【 0 0 4 5 】

このように、従来、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B との特性のズレによる影響をキャンセルした測距を行うために、検出信号 A 0 乃至 A 2 7 0 および検出信号 B 0 乃至 B 2 7 0 を検出する必要があった。

【 0 0 4 6 】

これに対し、測距モジュール 1 1 では、タップ 3 2 A のオフセットおよびゲインと、タップ 3 2 B のオフセットおよびゲインとを求め、それらのズレを補償する。これにより、測距モジュール 1 1 は、2 回の検出期間 Q 0 および Q 1 (または検出期間 Q 2 および Q 3) それぞれで検出信号 A と検出信号 B とを検出するだけで、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B との特性のズレによる影響をキャンセルした測距を行うことができる。

【 0 0 4 7 】

例えば、タップ 3 2 A のオフセット Offset_A およびゲイン Gain_A、並びに、タップ 3 2 B のオフセット Offset_B およびゲイン Gain_B には、次の式 (2) に示すような関係がある。

【 0 0 4 8 】

【 数 2 】

10

20

30

40

50

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Gain_A}(\text{A0}-\text{Offset_A}) = \text{Gain_B}(\text{B180}-\text{Offset_B}) \\ \text{Gain_A}(\text{A90}-\text{Offset_A}) = \text{Gain_B}(\text{B270}-\text{Offset_B}) \\ \text{Gain_A}(\text{A180}-\text{Offset_A}) = \text{Gain_B}(\text{B0}-\text{Offset_B}) \\ \text{Gain_A}(\text{A270}-\text{Offset_A}) = \text{Gain_B}(\text{B90}-\text{Offset_B}) \end{array} \right. \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 9 】

10

ここで、オフセットOffset_AおよびOffset_Bについては、画素回路2 1ごとに固定の値となり、事前に求めることができる。一方、ゲインGain_AおよびGain_Bについては、画素回路2 1の構造によっては光の入射角に従って変動することがあるため、デプスフレームごとに算出する必要がある。

【 0 0 5 0 】

即ち、測距モジュール1 1では、事前に、または、測距を行う初期の処理で、検出信号A 0乃至A 2 7 0および検出信号B 0乃至B 2 7 0を検出し、次の式(3)に示す連立方程式を解くことで、オフセットOffset_AおよびOffset_Bが求められる。

【 0 0 5 1 】

【 数 3 】

20

$$\left\{ \begin{array}{l} (\text{A180}-\text{Offset_A}) = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B0}-\text{Offset_B}) \\ \quad \quad \quad = \frac{\text{A90}-\text{A0}}{\text{B0}-\text{B90}} (\text{B0}-\text{Offset_B}) \\ (\text{A270}-\text{Offset_A}) = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B90}-\text{Offset_B}) \\ \quad \quad \quad = \frac{\text{A90}-\text{A0}}{\text{B0}-\text{B90}} (\text{B90}-\text{Offset_B}) \end{array} \right. \quad \dots (3)$$

30

【 0 0 5 2 】

そして、測距モジュール1 1では、オフセットOffset_AおよびOffset_Bがオフセットパラメータとして格納される。

【 0 0 5 3 】

その後、測距モジュール1 1では、検出信号A 0、検出信号B 0、検出信号A 9 0、および検出信号B 9 0が検出されたタイミングで、次の式(4)に示すようなゲインパラメータ(Gain_A / Gain_B)が求められる。

【 0 0 5 4 】

40

【 数 4 】

$$\frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} = \frac{\text{A90}-\text{A0}}{\text{B0}-\text{B90}} \quad \dots (4)$$

【 0 0 5 5 】

また、測距モジュール1 1では、検出信号A 1 8 0およびA 2 7 0並びに検出信号B 1 8 0およびB 2 7 0が検出されたタイミングで、次の式(5)に示すようなゲインパラメータ(Gain_A / Gain_B)が求められる。

【 0 0 5 6 】

50

【数 5】

$$\frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} = \frac{\text{A180} - \text{A270}}{\text{B270} - \text{B180}} \quad \dots (5)$$

【0057】

従って、測距モジュール 11 では、検出信号 A0、検出信号 B0、検出信号 A90、および検出信号 B90 が検出されたタイミングで、次の式 (6) に従って、オフセットパラメータ (Offset_A, Offset_B) およびゲインパラメータ (Gain_A / Gain_B) を用いた補正を施すことができる。

10

【0058】

【数 6】

$$\begin{cases} \text{A}'180 = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B0} - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \\ \text{A}'270 = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B90} - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \end{cases} \quad \dots (6)$$

OR

20

$$\begin{cases} \text{B}'180 = \frac{\text{Gain_B}}{\text{Gain_A}} (\text{A0} - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \\ \text{B}'270 = \frac{\text{Gain_B}}{\text{Gain_A}} (\text{A90} - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \end{cases}$$

【0059】

30

これにより、測距モジュール 11 では、検出信号 A を基準とする場合には、補正検出信号 A'180 および A'270 が求められ、検出信号 B を基準とする場合には、補正検出信号 B'180 および B'270 が求められる。

【0060】

即ち、図 10 に示すように、検出信号 B0 に対する補正により補正検出信号 A'180 が求められるとともに、検出信号 B90 に対する補正により補正検出信号 A'270 が求められる。または、検出信号 A0 に対する補正により補正検出信号 B'180 が求められるとともに、検出信号 A90 に対する補正により補正検出信号 B'270 が求められる。

【0061】

従って、測距モジュール 11 は、検出信号 A0、検出信号 A90、補正検出信号 A'180、および補正検出信号 A'270 を用い、タップ 32A とタップ 32B との特性のズレによる影響をキャンセルして、デプスと信頼度とを求めることができる。または、測距モジュール 11 は、検出信号 B0、検出信号 B90、補正検出信号 B'180、および補正検出信号 B'270 を用い、タップ 32A とタップ 32B との特性のズレによる影響をキャンセルして、デプスと信頼度とを求めることができる。

40

【0062】

同様に、測距モジュール 11 では、検出信号 A180、検出信号 B270、検出信号 A180、および検出信号 B270 が検出されたタイミングで、次の式 (7) に従って、オフセットパラメータ (Offset_A, Offset_B) およびゲインパラメータ (Gain_A / Gain_B) を用いた補正を施すことができる。

50

【 0 0 6 3 】

【 数 7 】

$$\left\{ \begin{array}{l} A'0 = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B180} - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \\ A'90 = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (\text{B270} - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \end{array} \right. \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

OR

$$\left\{ \begin{array}{l} B'0 = \frac{\text{Gain_B}}{\text{Gain_A}} (\text{A180} - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \\ B'90 = \frac{\text{Gain_B}}{\text{Gain_A}} (\text{A270} - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \end{array} \right.$$

【 0 0 6 4 】

これにより、測距モジュール 11 では、検出信号 A を基準とする場合には、補正検出信号 A'0 および A'90 が求められ、検出信号 B を基準とする場合には、補正検出信号 B'0 および B'90 が求められる。

【 0 0 6 5 】

従って、測距モジュール 11 は、補正検出信号 A'0、補正検出信号 A'90、検出信号 A180、および検出信号 A270 を用い、タップ 32A とタップ 32B との特性のズレによる影響をキャンセルして、デプスと信頼度とを求めることができる。または、測距モジュール 11 は、補正検出信号 B'0、補正検出信号 B'90、検出信号 B180、および検出信号 B270 を用い、タップ 32A とタップ 32B との特性のズレによる影響をキャンセルして、デプスと信頼度とを求めることができる。

【 0 0 6 6 】

このように、測距モジュール 11 では、オフセットパラメータ (Offset_A, Offset_B) を事前に求め、ゲインパラメータ (Gain_A / Gain_B) をデプスフレームごとに求めることにより、タップ 32A とタップ 32B との特性のズレによる影響をキャンセルした測距が行われる。

【 0 0 6 7 】

例えば、図 11 に示すように、測距モジュール 11 は、2 回の検出期間 Q0 および Q1 において、4 つの検出信号 (検出信号 A0、検出信号 B0、検出信号 A90、および検出信号 B90) を検出して、フレーム番号 t のデプスフレームを出力する。続けて、測距モジュール 11 は、2 回の検出期間 Q2 および Q3 において、4 つの検出信号 (検出信号 A180、検出信号 B180、検出信号 A270、および検出信号 B270) を検出して、フレーム番号 t+1 のデプスフレームを出力する。

【 0 0 6 8 】

従って、図 4 を参照して上述したような 4 回の検出期間 Q0 乃至 Q3 により 1 デプスフレームが出力されるような測距方法と比較して、測距モジュール 11 は、1 デプスフレームを出力するのに必要となる時間を半分に短縮することができる。即ち、測距モジュール 11 は、従来よりもフレームレートを 2 倍とすることができる。

【 0 0 6 9 】

< 測距演算処理部の構成例 >

図 12 は、測距演算処理部 15 の第 1 の構成例を示すブロック図である。

【 0 0 7 0 】

測距演算処理部 15 は、受光部 14 から画像データとして供給される検出信号 A (t) および検出信号 B (t) を用いて、フレーム番号 t のデプスマップを構成するデプス d (t) と、フレーム番号 t の信頼度マップを構成する信頼度 c (t) を出力する。

【 0 0 7 1 】

まず、測距演算処理部 15 は、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 0 (t) 、検出信号 B 0 (t) 、検出信号 A 9 0 (t) 、および検出信号 B 9 0 (t)) が供給されると、フレーム番号 t のデプスフレームのデプス d (t) および信頼度 c (t) を出力する。続けて、測距演算処理部 15 は、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 B 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 A 2 7 0 (t + 1) 、および検出信号 B 2 7 0 (t + 1)) が供給されると、フレーム番号 t + 1 のデプスフレームを構成するデプス d (t + 1) および信頼度 c (t + 1) を出力する。

【 0 0 7 2 】

図 1 2 に示すように、測距演算処理部 15 は、補正パラメータ算出部 5 1 および測距部 5 2 を備えて構成される。補正パラメータ算出部 5 1 は、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 およびズレ補正パラメータ格納部 6 2 を有しており、オフセットパラメータおよびオフセットパラメータを算出する。測距部 5 2 は、補正演算部 7 1 および測距演算部 7 2 を有しており、オフセットパラメータおよびオフセットパラメータに基づいて検出信号を補正し、デプスを求める。

【 0 0 7 3 】

ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、例えば、測距開始時の数フレームにおいて、次の式 (8) を、オフセット Offset_A および Offset_B について解く。

【 0 0 7 4 】

【数 8】

$$\begin{cases} (A180(t) - \text{Offset_A}) = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (B0(t) - \text{Offset_B}) & \dots (8) \\ (A270(t) - \text{Offset_A}) = \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (B90(t) - \text{Offset_B}) \end{cases}$$

【 0 0 7 5 】

これにより、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、オフセット Offset_A および Offset_B を求めて、ズレ補正パラメータ格納部 6 2 に格納する。なお、オフセット Offset_A および Offset_B については、例えば、測距モジュール 1 1 の検査時などにおいて事前に求めておき、測距モジュール 1 1 の出荷時にはズレ補正パラメータ格納部 6 2 に格納されているようにしてもよい。

【 0 0 7 6 】

そして、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 0 (t) 、検出信号 B 0 (t) 、検出信号 A 9 0 (t) 、および検出信号 B 9 0 (t)) が供給されると、次の式 (9) を計算する。これにより、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、ゲインパラメータ (Gain_A / Gain_B (t)) を求めて、測距部 5 2 の補正演算部 7 1 に供給する。

【 0 0 7 7 】

【数 9】

$$\frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (t) = \frac{A90(t) - A0(t)}{B0(t) - B90(t)} \dots (9)$$

【 0 0 7 8 】

続けて、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号（検出信号 A 1 8 0 (t + 1)、検出信号 B 1 8 0 (t + 1)、検出信号 A 2 7 0 (t + 1)、および検出信号 B 2 7 0 (t + 1)）が供給されると、次の式（ 1 0 ）を計算する。これにより、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、ゲインパラメータ（Gain_A / Gain_B (t + 1)）を求めて、測距部 5 2 の補正演算部 7 1 に供給する。

【 0 0 7 9 】

【数 1 0】

$$\frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}}(t+1) = \frac{A180(t+1) - A270(t+1)}{B270(t+1) - B180(t+1)} \quad \dots (10)$$

10

【 0 0 8 0 】

ズレ補正パラメータ格納部 6 2 は、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 により計算されたオフセットパラメータ（Offset_A, Offset_B）を格納し、測距部 5 2 の補正演算部 7 1 に供給する。なお、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 は、画素回路 2 1 ごとにゲインパラメータおよびオフセットパラメータを求め、ズレ補正パラメータ格納部 6 2 は、画素回路 2 1 ごとにオフセットパラメータを保持する。

【 0 0 8 1 】

20

補正演算部 7 1 には、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号（検出信号 A 0 (t)、検出信号 B 0 (t)、検出信号 A 9 0 (t)、および検出信号 B 9 0 (t)）が供給されるタイミングで、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 からゲインパラメータ（Gain_A / Gain_B (t)）が供給される。従って、このタイミングで、補正演算部 7 1 は、次の式（ 1 1 ）に示す演算を行うことで、補正検出信号 A ' 1 8 0 (t) および A ' 2 7 0 (t)、または、補正検出信号 B ' 1 8 0 (t) および B ' 2 7 0 (t) を求めることができる。

【 0 0 8 2 】

【数 1 1】

$$\begin{cases} A'180(t) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}}(t) \right\} (B0(t) - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \\ A'270(t) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}}(t) \right\} (B90(t) - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \end{cases} \quad \dots (11)$$

30

OR

$$\begin{cases} B'180(t) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}}(t) \right\} (A0(t) - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \\ B'270(t) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}}(t) \right\} (A90(t) - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \end{cases}$$

40

【 0 0 8 3 】

これにより、補正演算部 7 1 は、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号が供給されるタイミングで、補正検出信号 A ' 1 8 0 (t) および A ' 2 7 0 (t)、または、補正検出信号 B ' 1 8 0 (t) および B ' 2 7 0 (t) を測距演算部 7 2 に供

50

給する。

【 0 0 8 4 】

続けて、補正演算部 7 1 には、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 B 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 A 2 7 0 (t + 1) 、および検出信号 B 2 7 0 (t + 1)) が供給されるタイミングで、ズレ補正パラメータ計算部 6 1 からゲインパラメータ (Gain_A / Gain_B (t + 1)) が供給される。従って、このタイミングで、補正演算部 7 1 は、次の式 (1 2) に示す演算を行うことで、補正検出信号 A ' 0 (t + 1) および A ' 9 0 (t + 1) 、または、補正検出信号 B ' 0 (t + 1) および B ' 9 0 (t + 1) を求めることができる。

【 0 0 8 5 】

【 数 1 2 】

$$\begin{cases} A'0(t+1) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (t+1) \right\} (B180(t+1) - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \\ A'90(t+1) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (t+1) \right\} (B270(t+1) - \text{Offset_B}) + \text{Offset_A} \end{cases}$$

OR

$$\begin{cases} B'0(t+1) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (t+1) \right\} (A180(t+1) - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \\ B'90(t+1) = \left\{ \frac{\text{Gain_A}}{\text{Gain_B}} (t+1) \right\} (A270(t+1) - \text{Offset_A}) + \text{Offset_B} \end{cases}$$

・ ・ ・ (12)

【 0 0 8 6 】

これにより、補正演算部 7 1 は、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号が供給されるタイミングで、補正検出信号 A ' 0 (t + 1) および A ' 9 0 (t + 1) 、または、補正検出信号 B ' 0 (t + 1) および B ' 9 0 (t + 1) を測距演算部 7 2 に供給する。

【 0 0 8 7 】

測距演算部 7 2 には、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 0 (t) 、検出信号 B 0 (t) 、検出信号 A 9 0 (t) 、および検出信号 B 9 0 (t)) が供給されるタイミングで、補正演算部 7 1 から補正検出信号 A ' 1 8 0 (t) および A ' 2 7 0 (t) 、または、補正検出信号 B ' 1 8 0 (t) および B ' 2 7 0 (t) が 40 供給される。そして、測距演算部 7 2 は、次の式 (1 3) に示す演算を行うことで、フレーム番号 t のデプスフレームのデプス d (t) および信頼度 c (t) を求めることができる。

【 0 0 8 8 】

【 数 1 3 】

10

20

30

40

50

$$\begin{cases} d(t) = \frac{c}{4\pi f} \tan^{-1} \left(\frac{D1(t) - D3(t)}{D0(t) - D2(t)} \right) \\ c(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \end{cases} \quad \dots (13)$$

$$\begin{aligned} Q(t) &= D1(t) - D3(t) \\ I(t) &= D0(t) - D2(t) \end{aligned}$$

10

【 0 0 8 9 】

但し、測距演算部 7 2 は、この式 (1 3) において、 $D0(t) = A0(t)$ 、 $D2(t) = A'180(t)$ 、 $D1(t) = A90(t)$ 、 $D3(t) = A'270(t)$ 、および、 $D2(t) = B'180(t)$ 、 $D0(t) = B0(t)$ 、 $D1(t) = B'270(t)$ 、 $D3(t) = B90(t)$ のうちの、どちらか一方を用いることができる。または、測距演算部 7 2 は、この式 (1 3) において、 $D0(t) = A0(t)$ 、 $D2(t) = A'180(t)$ 、 $D1(t) = A90(t)$ 、 $D3(t) = A'270(t)$ と、 $D2(t) = B'180(t)$ 、 $D0(t) = B0(t)$ 、 $D1(t) = B'270(t)$ 、 $D3(t) = B90(t)$ との平均を用いてもよい。

【 0 0 9 0 】

続いて、測距演算部 7 2 には、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号 (検出信号 A 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 B 1 8 0 (t + 1) 、検出信号 A 2 7 0 (t + 1) 、および検出信号 B 2 7 0 (t + 1)) が供給されるタイミングで、補正演算部 7 1 から補正検出信号 A ' 0 (t + 1) および A ' 9 0 (t + 1) 、または、補正検出信号 B ' 0 (t + 1) および B ' 9 0 (t + 1) が供給される。そして、測距演算部 7 2 は、次の式 (1 4) に示す演算を行うことで、フレーム番号 t + 1 のデプスフレームのデプス d (t + 1) および信頼度 c (t + 1) を求めることができる。

20

【 0 0 9 1 】

【 数 1 4 】

$$\begin{cases} d(t+1) = \frac{c}{4\pi f} \tan^{-1} \left(\frac{D1(t+1) - D3(t+1)}{D0(t+1) - D2(t+1)} \right) \\ c(t+1) = \sqrt{I(t+1)^2 + Q(t+1)^2} \end{cases} \quad \dots (14)$$

$$\begin{aligned} Q(t+1) &= D1(t+1) - D3(t+1) \\ I(t+1) &= D0(t+1) - D2(t+1) \end{aligned}$$

30

【 0 0 9 2 】

但し、測距演算部 7 2 は、この式 (1 4) において、 $D2(t+1) = A180(t+1)$ 、 $D0(t+1) = A'0(t+1)$ 、 $D3(t+1) = A270(t+1)$ 、 $D1(t+1) = A'90(t+1)$ 、および、 $D0(t+1) = B'0(t+1)$ 、 $D2(t+1) = B180(t+1)$ 、 $D1(t+1) = B'90(t+1)$ 、 $D3(t+1) = B270(t+1)$ のうちの、どちらか一方を用いることができる。または、測距演算部 7 2 は、この式 (1 4) において、 $D0(t+1) = A0(t+1)$ 、 $D2(t+1) = A'180(t+1)$ 、 $D1(t+1) = A90(t+1)$ 、 $D3(t+1) = A'270(t+1)$ と、 $D2(t+1) = B'180(t+1)$ 、 $D0(t+1) = B0(t+1)$ 、 $D1(t+1) = B'270(t+1)$ 、 $D3(t+1) = B90(t+1)$ との平均を用いてもよい。

40

【 0 0 9 3 】

以上のように構成される測距演算処理部 1 5 は、位相遅れ 0 ° および 9 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号からデプスを求めること、または、位相遅れ 1 8 0 ° および 2 7 0 ° の照射光で検出される 4 つの検出信号からデプスを求めることができる。従って、例えば、従来のように 8 つの検出信号からデプスを求める場合と比較して、フレームレート

50

を2倍に向上させることができる。

【0094】

また、測距演算処理部15は、フレームレートを向上させないときには、2回の照射光の発光で済むため、従来のように4回の照射光の発光を行う場合と比較して、消費電力を低下させることができる。さらに、測距演算処理部15は、1デプスフレームを出力するのに検出することが必要な検出信号を、従来の1/2にすることができるので、データ転送帯域の削減を図ることができる。

【0095】

従って、測距演算処理部15を備える測距モジュール11は、従来よりも高性能化を図ることができる。

10

【0096】

<測距演算処理の第1の処理例>

図13は、測距演算処理部15において実行される測距演算処理の第1の処理例を説明するフローチャートである。

【0097】

例えば、図示しない上位の制御ユニットにより測距演算処理を実行するように制御されると処理が開始される。ステップS11において、測距演算処理部15は、位相遅れの異なる2つの照射光それぞれで、2つの検出信号を取得する。即ち、測距演算処理部15は、例えば、位相遅れ0°の照射光で検出される2つの検出信号A0および検出信号B0と、位相遅れ90°の照射光を用いて検出される2つの検出信号A90および検出信号B90とを取得する。または、測距演算処理部15は、例えば、位相遅れ180°の照射光で検出される2つの検出信号A180および検出信号B180と、位相遅れ270°の照射光を用いて検出される2つの検出信号A270および検出信号B270とを取得する。

20

【0098】

ステップS12において、ズレ補正パラメータ計算部61は、オフセットパラメータ(Offset_A, Offset_B)がズレ補正パラメータ格納部62に格納済みであるか否かを判定する。

【0099】

ステップS12において、ズレ補正パラメータ計算部61が、オフセットパラメータ(Offset_A, Offset_B)がズレ補正パラメータ格納部62に格納済みでないと判定した場合、処理はステップS13に進む。

30

【0100】

ステップS13において、ズレ補正パラメータ計算部61は、オフセットパラメータ(Offset_A, Offset_B)の計算に必要な、位相遅れの異なる4つの照射光それぞれで、2つの検出信号が取得されているか否かを判定する。例えば、ズレ補正パラメータ計算部61は、検出信号A0乃至A270および検出信号B0乃至B270の8つの検出信号を取得している場合、位相遅れの異なる4つの照射光それぞれで、2つの検出信号が取得されていると判定する。

【0101】

ステップS13において、ズレ補正パラメータ計算部61が、位相遅れの異なる4つの照射光それぞれで、2つの検出信号が取得されていないと判定した場合、処理はステップS11に戻る。例えば、この場合、検出信号A0およびA90並びに検出信号B0およびB90が取得された状態であり、ズレ補正パラメータ計算部61は、次のステップS11で、検出信号A180およびA270並びに検出信号B180およびB270を取得する。

40

【0102】

一方、ステップS13において、ズレ補正パラメータ計算部61が、位相遅れの異なる4つの照射光それぞれで、2つの検出信号が取得されていると判定した場合、処理はステップS14に進む。

【0103】

ステップS14において、ズレ補正パラメータ計算部61は、上述した式(3)に示す連

50

立方程式を解くことで、オフセットOffset_AおよびOffset_Bを算出する。

【0104】

そして、ズレ補正パラメータ計算部61は、オフセットOffset_AおよびOffset_Bをズレ補正パラメータ格納部62に格納した後、処理はステップS15に進む。一方、ステップS12において、ズレ補正パラメータ計算部61が、オフセットパラメータ(Offset_A, Offset_B)がズレ補正パラメータ格納部62に格納済みであると判定した場合、処理はステップS15に進む。

【0105】

ステップS15において、ズレ補正パラメータ計算部61は、上述した式(4)または式(5)に従ってゲインパラメータ(Gain_A / Gain_B)を算出する。そして、ズレ補正パラメータ計算部61は、算出したゲインパラメータ(Gain_A / Gain_B)を補正演算部71に供給し、ズレ補正パラメータ格納部62は、格納しているオフセットパラメータ(Offset_A, Offset_B)を補正演算部71に供給する。

10

【0106】

ステップS16において、補正演算部71は、ステップS11で取得された4つの検出信号に対する補正演算を行って、4つの補正検出信号を取得し、測距演算部72に供給する。

【0107】

例えば、補正演算部71は、ステップS11で検出信号A0およびA90並びに検出信号B0およびB90が取得されている場合、上述した式(6)に従った補正演算を行って、補正検出信号A'180およびA'270、または、補正検出信号B'180およびB'27020を取得する。また、補正演算部71は、ステップS11で検出信号A180およびA270並びに検出信号B180およびB270が取得されている場合、上述した式(7)に従った補正演算を行って、補正検出信号A'0およびA'90、または、補正検出信号B'0およびB'90を取得する。

【0108】

ステップS17において、測距演算部72は、ステップS11で取得された4つの検出信号と、ステップS16の補正演算により取得された4つの補正検出信号とを用いて、デプスおよび信頼度を算出する。

【0109】

例えば、ステップS11で検出信号A0およびA90並びに検出信号B0およびB90が取得され、ステップS16で補正検出信号A'180およびA'270、または、補正検出信号B'180およびB'270が取得されているとする。このとき、測距演算部72は、上述した式(13)に示す演算を行うことで、デプスおよび信頼度を算出する。また、ステップS11で検出信号A180およびA270並びに検出信号B180およびB270が取得され、ステップS16で補正検出信号A'0およびA'90、または、補正検出信号B'0およびB'90が取得されているとする。このとき、測距演算部72は、上述した式(14)に示す演算を行うことで、デプスおよび信頼度を算出する。

30

【0110】

ステップS18において、測距演算処理部15は、例えば、例えば、図示しない上位の制御ユニットによる測距演算処理についての制御に従って、測距を継続するか否かを判定する。

40

【0111】

ステップS18において、測距演算処理部15が、測距を継続すると判定した場合、処理はステップS11に戻り、以下、同様の処理が繰り返される。一方、ステップS18において、測距演算処理部15が、測距を継続しないと判定した場合、測距演算処理は終了される。

【0112】

以上のように、測距演算処理部15は、検出信号A0およびA90並びに検出信号B0およびB90を取得して、または、検出信号A180およびA270並びに検出信号B180およびB270を取得して、デプスおよび信頼度を算出することができる。従って、測

50

測距演算処理部 15 は、デプスおよび信頼度の算出に必要な検出信号の検出に要する時間を短くすることができ、例えば、ロバスト性を高めることができる。

【0113】

<測距演算処理部の第2の構成例>

図14は、測距演算処理部15の第2の構成例を示すブロック図である。なお、図14に示す測距演算処理部15Aについて、図12の測距演算処理部15と共通する構成については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0114】

即ち、測距演算処理部15Aは、補正パラメータ算出部51および測距部52Aを備えて構成され、補正パラメータ算出部51は、図12の測距演算処理部15と同様に、ズレ補正パラメータ計算部61およびズレ補正パラメータ格納部62を有している。

10

【0115】

測距部52Aは、図12の測距演算処理部15と同様に、補正演算部71および測距演算部72を有する一方で、測距結果格納部73および結果合成部74を有している点で、図12の測距演算処理部15と異なる構成となっている。

【0116】

また、測距部52Aは、上述したように測距演算部72により求められたデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ が、測距結果として測距結果格納部73および結果合成部74に供給されるように構成される。そして、測距部52Aは、測距結果格納部73から結果合成部74に1フレーム前の測距結果、即ち、デプス $d(t-1)$ および信頼度 $c(t-1)$ が供給されるように構成される。

20

【0117】

測距結果格納部73は、測距演算部72から供給されるデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ を、1フレーム分だけ格納することができ、1フレーム前のデプス $d(t-1)$ および信頼度 $c(t-1)$ を結果合成部74に供給する。

【0118】

結果合成部74は、測距演算部72から供給されるデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ と、測距結果格納部73から供給されるデプス $d(t-1)$ および信頼度 $c(t-1)$ を合成し、その合成結果として求められるデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ を出力する。

【0119】

ここで、測距演算部72から測距結果格納部73および結果合成部74に供給されるデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ をデプス $d'(t)$ および信頼度 $c'(t)$ として、結果合成部74による合成結果をデプス $d(t)$ および信頼度 $c(t)$ とする。この場合、結果合成部74は、信頼度 $c'(t)$ に基づく重み g を用いて、次の式(15)に示すような重み付け演算により測距結果を合成することができる。

30

【0120】

【数15】

$$\begin{cases} d(t) = g \times d'(t) + (1-g) \times d'(t-1) \\ c(t) = g \times c'(t) + (1-g) \times c'(t-1) \end{cases} \quad \dots (15)$$

40

$$g = \frac{c'(t)}{c'(t) + c'(t-1)}$$

【0121】

このように、測距演算処理部15Aでは、現在のフレームの測距結果と1フレーム前の測距結果との合成(以下、スライドウィンドウとも称する)を行うことにより、SN(Signal Noise)比を向上させて、合成結果を低ノイズ化させることができる。

【0122】

50

例えば、スライドウィンドウを行わない場合と検出期間 Q_0 乃至 Q_3 が等しい場合、4回の検出期間 Q_0 乃至 Q_3 で検出される8つの検出信号を用いた測距結果と比較して、2回の検出期間 Q_0 乃至 Q_1 で検出される4つの検出信号を用いた測距結果は、 SN 比が低下することになる。そこで、測距演算処理部15Aでは、スライドウィンドウを行うことで、1フレーム前も含めた8つの検出信号を用いた測距結果を行うことになるので、 SN 比の低下を抑制することができる。

【0123】

また、測距演算処理部15Aでは、1デプスフレームにおける検出期間を短縮しても、スライドウィンドウを行うことで、1デプスフレームで検出信号の取得に必要なパワーあたりの SN 比 ($\text{frame} \times \text{SNR} / \text{power}$) の向上を図ることができる。

10

【0124】

従って、測距演算処理部15Aは、スライドウィンドウを行うことにより低ノイズ化を図ることができるため、図15に示すように、図4と比較して検出期間 Q_0 乃至 Q_3 を半分の時間にすることができる。即ち、測距演算処理部15Aは、検出信号AおよびBの取得速度を2倍に向上させて、フレームレートを2倍にすることができる。

【0125】

ここで、例えば、スライドウィンドウが行われない場合、1デプスフレームについて検出信号の取得に必要なパワーを変更せず、かつ、フレームレートを2倍にする条件では、検出期間 Q_0 乃至 Q_3 が短縮される分だけ SN 比が低下することになる。これに対し、測距演算処理部15Aでは、1デプスフレームで検出信号の取得に必要なパワーを変えずに、フレームレートを2倍にしても、スライドウィンドウを行うことによって、 SN 比が低下することを回避することができる。

20

【0126】

または、図16に示すように、図4と同一の時間の検出期間 Q_0 乃至 Q_3 としてフレームレートを変更せず、かつ、 SN 比を変更させない条件では、1デプスフレームで検出信号の取得に必要なパワーを低下させることができる。即ち、測距演算処理部15Aは、スライドウィンドウを行うことによって、低消費電力化を図ることができる。

【0127】

なお、測距演算処理部15Aでは、結果合成部74が、信頼度に基づいた重み付け演算を行って測距結果を合成する処理を行う他、例えば、単純平均により測距結果を合成してもよいし、信頼度以外の基準に基づく重み付けにより測距結果を合成してもよい。

30

【0128】

さらに、例えば、結果合成部74により測距結果を合成する処理を、図4を参照して上述したような4回の検出期間 Q_0 乃至 Q_3 により1デプスフレームが出力されるような構成に適用してもよい。即ち、2回の検出期間 Q_0 および Q_1 により検出される4つの検出信号、または、2回の検出期間 Q_2 および Q_3 により検出される4つの検出信号に基づいて、1デプスフレームが出力されるような構成に適用するのには限定されることはない。さらに、例えば、4回の検出期間 Q_0 乃至 Q_3 のうちの1回が行われるごとに、取得済みの3つの検出信号と、新たに取得されたフレームの1つの検出信号とを合成するようにスライドウィンドウを行ってもよい。

40

【0129】

< 測距演算処理の第2の処理例 >

図17は、測距演算処理部15Aにおいて実行される測距演算処理の第2の処理例を説明するフローチャートである。

【0130】

ステップS21乃至S27において、図13のステップS11乃至S17と同様の処理が行われる。

【0131】

そして、ステップS27では、算出されたデプスおよび信頼度が測距結果格納部73および結果合成部74に供給され、ステップS28において、結果合成部74は、測距結果格

50

納部 7 3 に測距結果が格納されているか否かが判定される。

【 0 1 3 2 】

ステップ S 2 8 において、結果合成部 7 4 が、測距結果格納部 7 3 に測距結果が格納されていないと判定した場合、処理はステップ S 2 1 に戻る。即ち、この場合、測距結果格納部 7 3 には 1 フレーム前のデプスおよび信頼度が格納されておらず、結果合成部 7 4 は、測距結果を合成する処理を行わない。

【 0 1 3 3 】

一方、ステップ S 2 8 において、結果合成部 7 4 が、測距結果格納部 7 3 に測距結果が格納されていると判定した場合、処理はステップ S 2 9 に進む。

【 0 1 3 4 】

ステップ S 2 9 において、結果合成部 7 4 は、1 フレーム前のデプスおよび信頼度を測距結果格納部 7 3 から読み出す。そして、結果合成部 7 4 は、ステップ S 2 7 で供給されたデプスおよび信頼度と、測距結果格納部 7 3 から読み出した 1 フレーム前のデプスおよび信頼度とを、信頼度に基づいた重み付け演算することにより測定結果を合成した合成測距結果を出力する。

【 0 1 3 5 】

その後、ステップ S 3 0 において、図 1 3 のステップ S 1 8 と同様の処理が行われ、測距を継続しないと判定された場合、測距演算処理は終了される。

【 0 1 3 6 】

以上のように、測距演算処理部 1 5 A は、信頼度に基づいた重み付け演算により測定結果を合成することで、測定結果の S N 比の低減を図ることができ、より正確な測距を行うことができる。また、測距演算処理部 1 5 A は、フレームレートの向上（図 1 5 参照）、または、消費電力の低減（図 1 6 参照）を図ることができる。

【 0 1 3 7 】

< 発光部および受光部の動作 >

図 1 8 乃至図 2 1 を参照して、発光部 1 2 および受光部 1 4 の動作について説明する。

【 0 1 3 8 】

図 1 8 には、1 枚のデプスマップを出力するための発光および受光のタイミングの一例が示されている。

【 0 1 3 9 】

例えば、測距モジュール 1 1 は、デプスマップを出力する 1 フレームを 1 サブフレームと設定することができ、1 サブフレームが、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 に 4 分割される。また、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 それぞれのインテグレーション期間において、発光部 1 2 は、変調信号に従ったタイミングで照射光を発光し、その反射光を受光部 1 4 が受光する。図 1 を参照して説明したように、振り分け信号 DIMIX_A および DIMIX_B に従って、1 つのフォトダイオード 3 1 で発生した電荷がタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に振り分けられ、インテグレーション期間において受光した光量に応じた電荷が蓄積される。

【 0 1 4 0 】

ここで、上述の図 4 に示した例では、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 の後に、1 デプスフレーム分の待機期間が設けられている。これに対し、図 1 8 に示す例では、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 それぞれの後に 4 分割された待機期間が設けられる。

【 0 1 4 1 】

このように、検出期間 Q 0、検出期間 Q 1、検出期間 Q 2、および検出期間 Q 3 ごとに待機期間を設けることで、それぞれのインテグレーション期間の間隔を均等にすることができる。

【 0 1 4 2 】

即ち、図 1 9 に示すように、位相遅れ 0 ° の照射光の発光タイミング、位相遅れ 9 0 ° の照射光の発光タイミング、位相遅れ 1 8 0 ° の照射光の発光タイミング、および位相遅れ

10

20

30

40

50

270°の照射光の発光タイミングが、等間隔に設定される。このように、互いに等間隔となる発光タイミングを採用することで、例えば、測距演算処理部15Aのようにスライドウィンドウを行う際に、それらの間隔が異なることによる悪影響を抑制することができる。

【0143】

また、図20に示すような発光タイミングを採用してもよい。上述したように、測距演算処理部15は、4つの検出信号A0、検出信号B0、検出信号A90、および検出信号B90から1デプスフレームを取得し、4つの検出信号A180、検出信号B180、検出信号A270、および検出信号B270から1デプスフレームを取得する。

【0144】

従って、図20に示すように、ある1デプスフレームを取得するための位相遅れ0°の照射光の発光タイミングと位相遅れ90°の照射光の発光タイミングとが近接するとともに、次の1デプスフレームを取得するための位相遅れ180°の照射光の発光タイミングと位相遅れ270°の照射光の発光タイミングとが近接することが好ましい。例えば、1デプスフレームを取得するための発光タイミングを近接させることで、物体が動いている場合、その動きにより、発光タイミングが離れていることに与えられる影響を抑制することができる。

【0145】

また、測距演算処理部15Aのようにスライドウィンドウを行う際に、ある1デプスフレームを取得するための発光タイミングと、次の1デプスフレームを取得するための発光タイミングとが等間隔となることで、それらの間隔が異なることによる悪影響を抑制することができる。

【0146】

また、図21に示すような発光タイミングを採用してもよい。即ち、測距演算処理部15は、オフセットOffset_AおよびOffset_Bが事前に求められていれば、位相遅れ0°の照射光と、位相遅れ90°の照射光とだけを用いてデプスフレームを取得することができる。

【0147】

なお、発光部12の発光タイミングは、図18乃至図21に示す例に限定されることなく、その他の様々な発光タイミングを採用することができる。

【0148】

<測距演算処理部の第3の構成例>

図22は、測距演算処理部15の第3の構成例を示すブロック図である。

【0149】

図22に示す測距演算処理部15Bは、検出信号格納部81、動き検知部82、4位相測距演算部83、2位相測距演算部84、測距結果格納部85、および結果合成部86を備えて構成される。

【0150】

また、測距演算処理部15Bには、図12を参照して説明したのと同様に、位相遅れ0°および90°の照射光で検出される4つの検出信号が供給されるとともに、位相遅れ180°および270°の照射光で検出される4つの検出信号が供給される。つまり、測距演算処理部15Bには、検出信号A0(t)、検出信号B0(t)、検出信号A90(t)、および検出信号B90(t)が供給され、続けて、検出信号A180(t+1)、検出信号B180(t+1)、検出信号A270(t+1)、および検出信号B270(t+1)が供給される。

【0151】

検出信号格納部81は、4つの検出信号を格納することができ、4つの検出信号が供給されるたびに、格納していた1つ前の4つの検出信号を動き検知部82に供給する。

【0152】

即ち、検出信号格納部81は、検出信号A0(t)、検出信号B0(t)、検出信号A90(t)、および検出信号B90(t)が供給されるタイミングでは、検出信号A180

10

20

30

40

50

($t - 1$)、検出信号 $B180(t - 1)$ 、検出信号 $A270(t - 1)$ 、および検出信号 $B270(t - 1)$ を格納しており、それらを動き検知部 82 に供給する。また、検出信号格納部 81 は、検出信号 $A180(t + 1)$ 、検出信号 $B180(t + 1)$ 、検出信号 $A270(t + 1)$ 、および検出信号 $B270(t + 1)$ が供給されるタイミングでは、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ を格納しており、それらを動き検知部 82 に供給する。

【0153】

動き検知部 82 は、受光部 14 の画素ごとに被写体の動きを検知し、所定の閾値 t_h に基づいて、動被写体が映されているか否かの判断を行う。

【0154】

即ち、動き検知部 82 は、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ が供給されるタイミングでは、次の式 (16) に示す判定条件に従った判断を行う。

【0155】

【数16】

$$\begin{cases} |A0(t) + A180(t-1) - \{A90(t) + A270(t-1)\}| < t_h \\ |B0(t) + B180(t-1) - \{B90(t) + B270(t-1)\}| < t_h \end{cases} \quad \dots (16)$$

【0156】

例えば、動き検知部 82 は、式 (16) の判定条件が満たされている場合、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ に基づいて取得されるデプスフレームには動被写体が映されていないと判断する。この場合、動き検知部 82 は、動被写体が映されていないことを示す動被写体検出信号 $M(t) = 0$ を出力し、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ を 4 位相測距演算部 83 に供給する。さらに、この場合、動き検知部 82 は、検出信号格納部 81 から供給される検出信号 $A180(t - 1)$ 、検出信号 $B180(t - 1)$ 、検出信号 $A270(t - 1)$ 、および検出信号 $B270(t - 1)$ を 4 位相測距演算部 83 に供給する。

【0157】

一方、動き検知部 82 は、式 (16) の判定条件を満たされていない場合、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ に基づいて取得されるデプスフレームには動被写体が映されていると判断する。この場合、動き検知部 82 は、動被写体が映されていることを示す動被写体検出信号 $M(t) = 1$ を出力し、検出信号 $A0(t)$ 、検出信号 $B0(t)$ 、検出信号 $A90(t)$ 、および検出信号 $B90(t)$ を 2 位相測距演算部 84 に供給する。

【0158】

同様に、動き検知部 82 は、検出信号 $A180(t + 1)$ 、検出信号 $B180(t + 1)$ 、検出信号 $A270(t + 1)$ 、および検出信号 $B270(t + 1)$ が供給されるタイミングでは、次の式 (17) に示す判定条件に従った判断を行う。

【0159】

【数17】

$$\begin{cases} |A180(t+1) + A0(t) - \{A270(t+1) + A90(t)\}| < t_h \\ |B180(t+1) + B0(t) - \{B270(t+1) + B90(t)\}| < t_h \end{cases} \quad \dots (17)$$

【0160】

例えば、動き検知部 82 は、式 (17) の判定条件が満たされている場合、検出信号 $A1$

10

20

30

40

50

80(t+1)、検出信号B180(t+1)、検出信号A270(t+1)、および検出信号B270(t+1)に基づいて取得されるデプスフレームには動被写体が映されていないと判断する。この場合、動き検知部82は、動被写体が映されていないことを示す動被写体検出信号M(t)=0を出力し、検出信号A180(t+1)、検出信号B180(t+1)、検出信号A270(t+1)、および検出信号B270(t+1)を4位相測距演算部83に供給する。さらに、この場合、動き検知部82は、検出信号格納部81から供給される検出信号A0(t)、検出信号B0(t)、検出信号A90(t)、および検出信号B90(t)を4位相測距演算部83に供給する。

【0161】

一方、動き検知部82は、式(17)の判定条件を満たされていない場合、検出信号A180(t+1)、検出信号B180(t+1)、検出信号A270(t+1)、および検出信号B270(t+1)に基づいて取得されるデプスフレームには動被写体が映されていると判断する。この場合、動き検知部82は、動被写体が映されていることを示す動被写体検出信号M(t)=1を出力し、検出信号A180(t+1)、検出信号B180(t+1)、検出信号A270(t+1)、および検出信号B270(t+1)を2位相測距演算部84に供給する。

【0162】

4位相測距演算部83は、動き検知部82により動被写体が映されていないと判断された場合に、位相遅れ0°の照射光、位相遅れ90°の照射光、位相遅れ180°の照射光、および位相遅れ270°の照射光により検出される8つの検出信号を用いた演算により測距する処理(以下、4位相測距演算処理と称する)を行う。

【0163】

例えば、この場合、動き検知部82から4位相測距演算部83に、検出信号A180(t-1)、検出信号B180(t-1)、検出信号A270(t-1)、検出信号B270(t-1)、検出信号A0(t)、検出信号B0(t)、検出信号A90(t)、および検出信号B90(t)が供給される。

【0164】

従って、4位相測距演算部83は、次の式(18)に従った演算を行うことにより、デプスd(t)および信頼度c(t)を求め、測距結果格納部85および結果合成部86に供給する。

【0165】

【数18】

$$\begin{cases} d(t) = \frac{c}{4\pi f} \tan^{-1} \left(\frac{D1(t) - D3(t)}{D0(t) - D2(t)} \right) \\ c(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \end{cases} \quad \dots (18)$$

$$Q(t) = D1(t) - D3(t)$$

$$I(t) = D0(t) - D2(t)$$

$$D0(t) = A0(t) - B0(t)$$

$$D1(t) = A90(t) - B90(t)$$

$$D2(t) = A180(t-1) - B180(t-1)$$

$$D3(t) = A270(t-1) - B270(t-1)$$

【0166】

同様に、4位相測距演算部83は、検出信号A0(t)、検出信号B0(t)、検出信号A90(t)、検出信号B90(t)、検出信号A180(t+1)、検出信号B180

($t + 1$)、検出信号 A 2 7 0 ($t + 1$)、および検出信号 B 2 7 0 ($t + 1$)を用いて、デプス $d(t + 1)$ および信頼度 $c(t + 1)$ を求めることができる。

【0167】

2 位相測距演算部 8 4 は、図 1 2 の測距演算処理部 1 5 と同一の機能を備えており、図 1 2 に示した補正パラメータ算出部 5 1 および測距部 5 2 を有している。

【0168】

即ち、2 位相測距演算部 8 4 は、動き検知部 8 2 により動被写体が映されていると判断された場合に、位相遅れ 0° の照射光および位相遅れ 90° の照射光により検出される 4 つの検出信号、または、位相遅れ 180° の照射光および位相遅れ 270° の照射光により検出される 4 つの検出信号を用いた演算により測距する処理（以下、2 位相測距演算処理と称する）を行う。そして、2 位相測距演算部 8 4 は、2 位相測距演算処理を行って求めたデプス d および信頼度 c を、測距結果格納部 8 5 および結果合成部 8 6 に供給する。

【0169】

測距結果格納部 8 5 および結果合成部 8 6 は、図 1 4 の測距結果格納部 7 3 および結果合成部 7 4 と同一の機能を備えている。即ち、測距結果格納部 8 5 は、1 フレーム前の測距結果を結果合成部 7 4 に供給し、結果合成部 8 6 は、現在のフレームの測距結果と 1 フレーム前の測距結果との合成することができる。

【0170】

このように構成される測距演算処理部 1 5 B は、図 2 3 に示すように、フレームごとに動き検知の結果に従って、連続する 2 つのデプスフレームを合成して、1 デプスフレームとして出力することができる。

【0171】

例えば、測距演算処理部 1 5 B は、フレーム番号 t のデプスフレームを出力するタイミングで、測距結果が合成される前のフレーム番号 $t - 1$ の測距結果との動き検知の結果、動被写体が映されている場合には、フレーム番号 t の測距結果をそのままデプスフレームとして出力する。一方、測距演算処理部 1 5 B は、フレーム番号 t のデプスフレームを出力するタイミングで、測距結果が合成される前のフレーム番号 $t - 1$ のデプスフレームとの動き検知の結果、動被写体が映されていない場合には、そのフレーム番号 $t - 1$ の測距結果との合成を行った合成測距結果をフレーム番号 t のデプスフレームとして出力する。なお、このようにフレームごとに 4 位相測距演算部 8 3 と 2 位相測距演算部 8 4 との処理を切り替える他、動き検知部 8 2 は、画素ごとに動き検知を行い、4 位相測距演算部 8 3 と 2 位相測距演算部 8 4 との処理の切り替えを画素ごとに行ってもよい。

【0172】

以上のように、測距演算処理部 1 5 B は、動き検知の結果に従って、4 位相測距演算処理と 2 位相測距演算処理とを切り替えることができる。従って、測距演算処理部 1 5 B は、例えば、動被写体が映されている場合には 2 位相測距演算処理を行うことで、より高フレームレートにデプスフレームを求めることで、動被写体に対する測定精度を向上させることができる。これにより、測距演算処理部 1 5 B は、動被写体に対しするロバスト性を向上させることができる。また、測距演算処理部 1 5 B は、動被写体が映されていない場合には 4 位相測距演算処理を行うことで、より低ノイズ化を図ることができる。なお、動き検知部 8 2 は、検出信号から求められる明るさに基づいて条件判断を行ったり、1 フレーム前の信頼度に基づいて条件判断を行ったりして、4 位相測距演算部 8 3 と 2 位相測距演算部 8 4 との処理を切り替えてもよい。

【0173】

< 測距演算処理の第 3 の処理例 >

図 2 4 は、測距演算処理部 1 5 B において実行される測距演算処理の第 3 の処理例を説明するフローチャートである。

【0174】

ステップ S 4 1 において、図 1 3 のステップ S 1 1 と同様の処理が行われ、測距演算処理部 1 5 B は、位相遅れの異なる 2 つの照射光それぞれで、2 つの検出信号を取得する。

【 0 1 7 5 】

ステップ S 4 2 において、動き検知部 8 2 は、検出信号が検出信号格納部 8 1 に格納済みであるか否かを判定する。

【 0 1 7 6 】

ステップ S 4 2 において、動き検知部 8 2 が、検出信号が検出信号格納部 8 1 に格納済みでないとして判定した場合、処理はステップ S 4 1 に戻る。即ち、この場合、検出信号格納部 8 1 には 1 フレーム前の検出信号が格納されておらず、動き検知部 8 2 は、動きを検出する処理を行わない。

【 0 1 7 7 】

一方、ステップ S 4 2 において、動き検知部 8 2 が、検出信号が検出信号格納部 8 1 に格納済みであると判定した場合、処理はステップ S 4 3 に進む。ステップ S 4 3 において、動き検知部 8 2 は、上述した式 (1 6) または式 (1 7) に示す判定条件に従って、動被写体が映されているか否かを判定する。

10

【 0 1 7 8 】

ステップ S 4 3 において、動き検知部 8 2 が、動被写体が映されていないとして判定した場合、処理はステップ S 4 4 に進む。ステップ S 4 4 において、4 位相測距演算部 8 3 は、上述したような 4 位相測距演算処理を行うことによりデプスおよび信頼度を求めて、測距結果として測距結果格納部 8 5 および結果合成部 8 6 に供給し、処理はステップ S 4 6 に進む。

【 0 1 7 9 】

20

一方、ステップ S 4 3 において、動き検知部 8 2 が、動被写体が映されているとして判定した場合、処理はステップ S 4 5 に進む。ステップ S 4 5 において、2 位相測距演算部 8 4 は、上述したような 2 位相測距演算処理を行うことによりデプスおよび信頼度を求めて、測距結果として測距結果格納部 8 5 および結果合成部 8 6 に供給し、処理はステップ S 4 6 に進む。

【 0 1 8 0 】

ステップ S 4 6 乃至 S 4 8 において、図 1 7 のステップ S 2 8 乃至 S 3 0 と同様の処理が行われ、ステップ S 4 8 において、測距を継続しないと判定された場合、測距演算処理は終了される。

【 0 1 8 1 】

30

以上のように、測距演算処理部 1 5 B は、動き検知の結果に従って、4 位相測距演算処理と 2 位相測距演算処理とを切り替えることで、動被写体に対応して適切な測距を行うことができる。

【 0 1 8 2 】

なお、本技術は、Indirect ToF方式の中でもContinuous-Wave方式と称する、物体へ投光する光を振幅変調する方式に適用することができる。また、受光部 1 4 のフォトダイオード 3 1 の構造としては、CAPD (Current Assisted Photonic Demodulator) 構造の深度センサに限定されることはなく、2 つのタップ 3 2 A およびタップ 3 2 B に電荷を振り分ける構造の深度センサに適用することができる。

【 0 1 8 3 】

40

また、測距モジュール 1 1 から物体に照射される照射光は、上述したような 9 0 ° ごとに位相が遅れた 4 通りの照射光以外を用いてよく、それらの照射光に応じて、測距に用いられる検出信号の個数も 4 つ以外の任意の個数とすることができる。また、補正演算に用いるパラメータも、タップ 3 2 A とタップ 3 2 B との特性のズレによる影響をキャンセルすることができれば、オフセットパラメータおよびゲインパラメータ以外を採用してもよい。

【 0 1 8 4 】

< 電子機器の構成例 >

上述したような測距モジュール 1 1 は、例えば、スマートフォンなどの電子機器に搭載することができる。

【 0 1 8 5 】

50

図 2 5 は、電子機器に搭載される撮像装置の構成例を示すブロック図である。

【 0 1 8 6 】

図 2 5 に示すように、電子機器 1 0 1 は、測距モジュール 1 0 2、撮像装置 1 0 3、ディスプレイ 1 0 4、スピーカ 1 0 5、マイクロフォン 1 0 6、通信モジュール 1 0 7、センサユニット 1 0 8、タッチパネル 1 0 9、および制御ユニット 1 1 0 が、バス 1 1 1 を介して接続されて構成される。また、制御ユニット 1 1 0 では、CPU がプログラムを実行することによって、アプリケーション処理部 1 2 1 およびオペレーションシステム処理部 1 2 2 としての機能を備える。

【 0 1 8 7 】

測距モジュール 1 0 2 には、図 1 の測距モジュール 1 1 が適用される。例えば、測距モジュール 1 0 2 は、電子機器 1 0 1 の前面に配置され、電子機器 1 0 1 のユーザを対象とした測距を行うことにより、そのユーザの顔や手、指などの表面形状のデプスを測距結果として出力することができる。

【 0 1 8 8 】

撮像装置 1 0 3 は、電子機器 1 0 1 の前面に配置され、電子機器 1 0 1 のユーザを被写体とした撮像を行うことにより、そのユーザが写された画像を取得する。なお、図示しないが、電子機器 1 0 1 の背面にも撮像装置 1 0 3 が配置された構成としてもよい。

【 0 1 8 9 】

ディスプレイ 1 0 4 は、アプリケーション処理部 1 2 1 およびオペレーションシステム処理部 1 2 2 による処理を行うための操作画面や、撮像装置 1 0 3 が撮像した画像などを表示する。スピーカ 1 0 5 およびマイクロフォン 1 0 6 は、例えば、電子機器 1 0 1 により通話を行う際に、相手側の音声の出力、および、ユーザの音声の収音を行う。

【 0 1 9 0 】

通信モジュール 1 0 7 は、通信ネットワークを介した通信を行う。センサユニット 1 0 8 は、速度や加速度、近接などをセンシングし、タッチパネル 1 0 9 は、ディスプレイ 1 0 4 に表示されている操作画面に対するユーザによるタッチ操作を取得する。

【 0 1 9 1 】

アプリケーション処理部 1 2 1 は、電子機器 1 0 1 によって様々なサービスを提供するための処理を行う。例えば、アプリケーション処理部 1 2 1 は、測距モジュール 1 0 2 から供給されるデプスに基づいて、ユーザの表情をバーチャルに再現したコンピュータグラフィックスによる顔を作成し、ディスプレイ 1 0 4 に表示する処理を行うことができる。また、アプリケーション処理部 1 2 1 は、測距モジュール 1 0 2 から供給されるデプスに基づいて、例えば、任意の立体的な物体の三次元形状データを作成する処理を行うことができる。

【 0 1 9 2 】

オペレーションシステム処理部 1 2 2 は、電子機器 1 0 1 の基本的な機能および動作を実現するための処理を行う。例えば、オペレーションシステム処理部 1 2 2 は、測距モジュール 1 0 2 から供給されるデプスに基づいて、ユーザの顔を認証し、電子機器 1 0 1 のロックを解除する処理を行うことができる。また、オペレーションシステム処理部 1 2 2 は、測距モジュール 1 0 2 から供給されるデプスに基づいて、例えば、ユーザのジェスチャを認識する処理を行い、そのジェスチャに従った各種の操作を入力する処理を行うことができる。

【 0 1 9 3 】

このように構成されている電子機器 1 0 1 では、上述した測距モジュール 1 1 を適用することで、例えば、フレームレートの向上や、消費電力の低減、データ転送帯域の削減を実現することができる。これにより、電子機器 1 0 1 は、より滑らかに動く顔をコンピュータグラフィックスで作成したり、高精度に顔認証を行ったり、バッテリーの消費を抑制したり、データ転送を狭帯域で行うことができる。

【 0 1 9 4 】

< コンピュータの構成例 >

10

20

30

40

50

次に、上述した一連の処理は、ハードウェアにより行うこともできるし、ソフトウェアにより行うこともできる。一連の処理をソフトウェアによって行う場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、汎用のコンピュータ等にインストールされる。

【0195】

図26は、上述した一連の処理を実行するプログラムがインストールされるコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【0196】

コンピュータにおいて、CPU (Central Processing Unit) 201, ROM (Read Only Memory) 202, RAM (Random Access Memory) 203、およびEEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) 204は、バス205により相互に接続されている。バス205には、さらに、入出力インタフェース206が接続されており、入出力インタフェース206が外部に接続される。

10

【0197】

以上のように構成されるコンピュータでは、CPU 201が、例えば、ROM 202およびEEPROM 204に記憶されているプログラムを、バス205を介してRAM 203にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。また、コンピュータ (CPU 201) が実行するプログラムは、ROM 202に予め書き込んでおく他、入出力インタフェース206を介して外部からEEPROM 204にインストールしたり、更新したりすることができる。

【0198】

これにより、CPU 201は、上述したフローチャートにしたがった処理、あるいは上述したブロック図の構成により行われる処理を行う。そして、CPU 201は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力インタフェース206を介して、外部へ出力することができる。

20

【0199】

ここで、本明細書において、コンピュータがプログラムに従って行う処理は、必ずしもフローチャートとして記載された順序に沿って時系列に行われる必要はない。すなわち、コンピュータがプログラムに従って行う処理は、並列的あるいは個別に実行される処理 (例えば、並列処理あるいはオブジェクトによる処理) も含む。

【0200】

また、プログラムは、1のコンピュータ (プロセッサ) により処理されるものであっても良いし、複数のコンピュータによって分散処理されるものであっても良い。さらに、プログラムは、遠方のコンピュータに転送されて実行されるものであっても良い。

30

【0201】

さらに、本明細書において、システムとは、複数の構成要素 (装置、モジュール (部品) 等) の集合を意味し、すべての構成要素が同一筐体中にあるか否かは問わない。したがって、別個の筐体に収納され、ネットワークを介して接続されている複数の装置、及び、1つの筐体の中に複数のモジュールが収納されている1つの装置は、いずれも、システムである。

【0202】

また、例えば、1つの装置 (または処理部) として説明した構成を分割し、複数の装置 (または処理部) として構成するようにしてもよい。逆に、以上において複数の装置 (または処理部) として説明した構成をまとめて1つの装置 (または処理部) として構成されるようにしてもよい。また、各装置 (または各処理部) の構成に上述した以外の構成を付加するようにしてももちろんよい。さらに、システム全体としての構成や動作が実質的に同じであれば、ある装置 (または処理部) の構成の一部を他の装置 (または他の処理部) の構成に含めるようにしてもよい。

40

【0203】

また、例えば、本技術は、1つの機能を、ネットワークを介して複数の装置で分担、共同して処理するクラウドコンピューティングの構成をとることができる。

50

【 0 2 0 4 】

また、例えば、上述したプログラムは、任意の装置において実行することができる。その場合、その装置が、必要な機能（機能ブロック等）を有し、必要な情報を得ることができるようにすればよい。

【 0 2 0 5 】

また、例えば、上述のフローチャートで説明した各ステップは、1つの装置で実行する他、複数の装置で分担して実行することができる。さらに、1つのステップに複数の処理が含まれる場合には、その1つのステップに含まれる複数の処理は、1つの装置で実行する他、複数の装置で分担して実行することができる。換言するに、1つのステップに含まれる複数の処理を、複数のステップの処理として実行することもできる。逆に、複数のステップとして説明した処理を1つのステップとしてまとめて実行することもできる。

10

【 0 2 0 6 】

なお、コンピュータが実行するプログラムは、プログラムを記述するステップの処理が、本明細書で説明する順序に沿って時系列に実行されるようにしても良いし、並列に、あるいは呼び出しが行われたとき等の必要なタイミングで個別に実行されるようにしても良い。つまり、矛盾が生じない限り、各ステップの処理が上述した順序と異なる順序で実行されるようにしてもよい。さらに、このプログラムを記述するステップの処理が、他のプログラムの処理と並列に実行されるようにしても良いし、他のプログラムの処理と組み合わせて実行されるようにしても良い。

【 0 2 0 7 】

なお、本明細書において複数説明した本技術は、矛盾が生じない限り、それぞれ独立に単体で実施することができる。もちろん、任意の複数の本技術を併用して実施することもできる。例えば、いずれかの実施の形態において説明した本技術の一部または全部を、他の実施の形態において説明した本技術の一部または全部と組み合わせて実施することもできる。また、上述した任意の本技術の一部または全部を、上述していない他の技術と併用して実施することもできる。

20

【 0 2 0 8 】

< 移動体への応用例 >

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。

30

【 0 2 0 9 】

図 2 7 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 2 1 0 】

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 2 7 に示した例では、車両制御システム 1 2 0 0 0 は、駆動系制御ユニット 1 2 0 1 0、ボディ系制御ユニット 1 2 0 2 0、車外情報検出ユニット 1 2 0 3 0、車内情報検出ユニット 1 2 0 4 0、及び統合制御ユニット 1 2 0 5 0 を備える。また、統合制御ユニット 1 2 0 5 0 の機能構成として、マイクロコンピュータ 1 2 0 5 1、音声画像出力部 1 2 0 5 2、及び車載ネットワーク I / F (i n t e r f a c e) 1 2 0 5 3 が図示されている。

40

【 0 2 1 1 】

駆動系制御ユニット 1 2 0 1 0 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 1 2 0 1 0 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。

【 0 2 1 2 】

50

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。

【０２１３】

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。

10

【０２１４】

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。

20

【０２１５】

車内情報検出ユニット１２０４０は、車内の情報検出する。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。

【０２１６】

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。

30

【０２１７】

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、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、運転者の操作に抛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。

40

【０２１８】

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。

【０２１９】

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２７の例では、出力装置として、オーディオスピーカ１２０６１、表示部１２

50

062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。

【0220】

図28は、撮像部12031の設置位置の例を示す図である。

【0221】

図28では、車両12100は、撮像部12031として、撮像部12101, 12102, 12103, 12104, 12105を有する。

【0222】

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。撮像部12101及び12105で取得される前方の画像は、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。

【0223】

なお、図28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。

【0224】

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。

【0225】

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。

【0226】

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

10

20

30

40

50

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。

【０２２７】

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。

10

【０２２８】

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、車内情報検出ユニット１２０４０に適用され得る。具体的には、測距モジュール１１による測距を利用することで、より正確に運転者の状態を検出することができる。また、測距モジュール１１による測距を利用して、運転者のジェスチャを認識する処理を行い、そのジェスチャに従った各種の操作を実行するようにしてもよい。

20

【０２２９】

<構成の組み合わせ例>

なお、本技術は以下のような構成も取ることができる。

(１)

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第１のタップと第２のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について２つずつ検出される前記所定数の２倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第１の測距演算部と、

30

前記所定数の２倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第２の測距演算部と、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第１の測距演算部および前記第２の測距演算部を切り替えて用いる条件判断部と

を備える測距処理装置。

(２)

第１の位相の照射光の前記反射光が受光される第１の検出期間において、前記第１のタップと前記第２のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第１のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第１の検出信号と、前記第２のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第２の検出信号とが検出され、

40

第２の位相の照射光の前記反射光が受光される第２の検出期間において、前記第１のタップと前記第２のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第１のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第３の検出信号と、前記第２のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第４の検出信号とが検出される

第３の位相の照射光の前記反射光が受光される第３の検出期間において、前記第１のタップと前記第２のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第１のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第５の検出信号と、前記第２のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第６の検出信号とが検出され、

第４の位相の照射光の前記反射光が受光される第４の検出期間において、前記第１のタッ

50

ブと前記第 2 のタップとに交互に電荷が複数振り分けられ、前記第 1 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 7 の検出信号と、前記第 2 のタップに振り分けられて蓄積した電荷に応じた第 8 の検出信号とが検出される

上記 (1) に記載の測距処理装置。

(3)

前記第 1 の測距演算部は、前記第 1 の検出信号と前記第 2 の検出信号との差分、前記第 3 の検出信号と前記第 4 の検出信号との差分、前記第 5 の検出信号と前記第 6 の検出信号との差分、および前記第 7 の検出信号と前記第 8 の検出信号との差分を用いて、前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレによる影響をキャンセルさせて前記デプスを求める

10

上記 (2) に記載の測距処理装置。

(4)

前記第 2 の測距演算部は、

前記第 1 乃至第 4 の検出信号を用いて前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレを補正する補正パラメータを算出し、前記第 1 乃至第 4 の検出信号と前記補正パラメータに基づいて前記デプスを求めることと、

前記第 5 乃至第 8 の検出信号を用いて前記第 1 のタップと前記第 2 のタップとの特性のズレを補正する補正パラメータを算出し、前記第 5 乃至第 8 の検出信号と前記補正パラメータに基づいて前記デプスを求めることと

を交互に行う

20

上記 (3) に記載の測距処理装置。

(5)

前記第 1 の測距演算部または前記第 2 の測距演算部により求められた前記デプスを格納する測距結果格納部と、

前記測距結果格納部に格納された 1 フレーム前の前記デプスと、現在のフレームの前記デプスとを合成して出力する結果合成部と

をさらに備える上記 (1) から (4) までのいずれかに記載の測距処理装置。

(6)

前記第 1 の測距演算部および前記第 2 の測距演算部は、前記デプスとともに、前記デプスに対する信頼度を求め、

30

前記測距結果格納部には、前記デプスとともに前記信頼度が格納され、

前記結果合成部は、前記信頼度に応じた重み付け加算を行うことにより、1 フレーム前の前記デプスと、現在のフレームの前記デプスとを合成する

上記 (5) に記載の測距処理装置。

(7)

前記結果合成部は、前記第 1 の測距演算部により前記所定数の前記検出信号を全て用いて求められた 1 フレーム前の前記デプスと、前記第 1 の測距演算部により前記所定数の前記検出信号を全て用いて求められた現在のフレームの前記デプスとを合成する

上記 (5) または (6) に記載の測距処理装置。

(8)

40

前記結果合成部は、前記第 2 の測距演算部により前記前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号を用いて求められたデプスと、前記第 2 の測距演算部により前記後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号を用いて求められたデプスとのうちの、一方を 1 フレーム前とし、他方を現在のフレームとして、前記デプスの合成を行う

上記 (5) または (6) に記載の測距処理装置。

(9)

前記条件判断部は、前記反射光を受光する受光部の画素ごとに条件判断を行って、前記第 1 の測距演算部および前記第 2 の測距演算部により前記デプスを求める演算を前記画素ごとに切り替える

上記 (1) から (8) までのいずれかに記載の測距処理装置。

50

(1 0)

前記条件判断部は、

前記第 1 の位相の照射光および前記第 2 の位相の照射光に基づく 4 つの前記検出信号と、
前記第 3 の位相の照射光および前記第 4 の位相の照射光に基づく 4 つの前記検出信号とを
比較することで検知される前記物体の動きに基づいて前記条件判断を行い、

前記物体に動きがあることが検知された場合には、前記第 2 の測距演算部により前記デプ
スを求める演算を行い

前記物体に動きがないことが検知された場合には、前記第 1 の測距演算部により前記デプ
スを求める演算を行う

上記 (2) から (9) までのいずれかに記載の測距処理装置。

10

(1 1)

前記条件判断部は、

前記第 1 の位相の照射光および前記第 2 の位相の照射光に基づく 4 つの前記検出信号から
求められる明るさと、前記第 3 の位相の照射光および前記第 4 の位相の照射光に基づく 4
つの前記検出信号から求められる明るさに基づいて前記条件判断を行い、

前記明るさに応じて、前記第 1 の測距演算部および前記第 2 の測距演算部を切り替える

上記 (2) から (9) までのいずれかに記載の測距処理装置。

(1 2)

前記 4 位相測距演算部および前記 2 位相測距演算部は、前記デプスとともに、前記デプス
に対する信頼度を求め、

20

前記条件判断部は、1 フレーム前に求められた前記信頼度に基づいて前記条件判断を行い
、前記信頼度に応じて、前記 4 位相測距演算部および前記 2 位相測距演算部を切り替える
上記 (2) から (9) までのいずれかに記載の測距処理装置。

(1 3)

前記第 1 の検出期間、前記第 2 の検出期間、前記第 3 の検出期間、前記第 4 の検出期間が
略等間隔に設定される

上記 (2) から (1 2) までのいずれかに記載の測距処理装置。

(1 4)

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射する発光部と、

前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に
応じて第 1 のタップと第 2 のタップとに振り分けられ、前記所定数の位相の照射光につい
て 2 つずつ検出される前記所定数の 2 倍の検出信号を出力する受光部と、

30

前記所定数の 2 倍の前記検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求め
る演算を行う第 1 の測距演算部と、

前記所定数の 2 倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検
出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記
物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 2 の測距演算部と、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第 1 の測距演算部および前記第 2 の測距演
算部を切り替えて用いる条件判断部と

を備える測距モジュール。

40

(1 5)

測距処理を行う測距処理装置が、

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光するこ
とにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第 1 のタップと第 2 のタップとに
振り分けられ、前記所定数の照射光について 2 つずつ検出される前記所定数の 2 倍の検出
信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 1 の測距演算
処理を行うことと、

前記所定数の 2 倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検
出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記
物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 2 の測距演処理を行うことと、

50

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第 1 の測距演算処理および前記第 2 の測距演算処理を切り替えて用いることとを含む測距処理方法。

(1 6)

測距処理を行う測距処理装置のコンピュータに、

所定数の位相の異なる照射光を物体に照射して、前記物体で反射した反射光を受光することにより発生する電荷が、前記物体までの距離に応じて第 1 のタップと第 2 のタップとに振り分けられ、前記所定数の照射光について 2 つずつ検出される前記所定数の 2 倍の検出信号を全て用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 1 の測距演算処理を行うことと、

10

前記所定数の 2 倍の前記検出信号のうち、前段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号と、後段半分の照射光に基づく前記所定数の前記検出信号とを交互に用いて、前記物体までの距離を表すデプスを求める演算を行う第 2 の測距演算処理を行うことと、

前記検出信号に基づいた条件判断を行い、前記第 1 の測距演算処理および前記第 2 の測距演算処理を切り替えて用いることと

を含む測距処理を実行させるためのプログラム。

【 0 2 3 0 】

なお、本実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。また、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、他の効果があってもよい。

20

【符号の説明】

【 0 2 3 1 】

1 1 測距モジュール, 1 2 発光部, 1 3 発光制御部, 1 4 受光部, 1 5 測距演算処理部, 2 1 画素回路, 2 2 画素アレイ部, 2 3 駆動制御回路, 3 1 フォトダイオード, 3 2 A および 3 2 B タップ, 3 3 A および 3 3 B 信号線, 4 1 A および 4 1 B 転送トランジスタ, 4 2 A および 4 2 B F D 部, 4 3 A および 4 3 B 選択トランジスタ, 4 4 A および 4 4 B リセットトランジスタ, 5 1 補正パラメータ算出部, 5 2 測距部, 6 1 ズレ補正パラメータ計算部, 6 2 ズレ補正パラメータ格納部, 7 1 補正演算部, 7 2 測距演算部, 7 3 測距結果格納部, 7 4 結果合成部, 8 1 検出信号格納部, 8 2 動き検知部, 8 3 4 位相測距演算部, 8 4 2 位相測距演算部, 8 5 測距結果格納部, 8 6 結果合成部

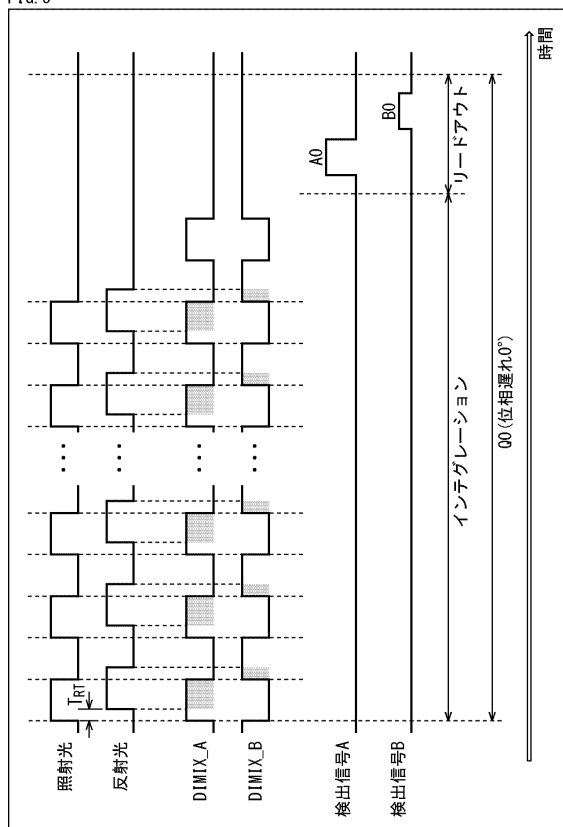
30

40

50

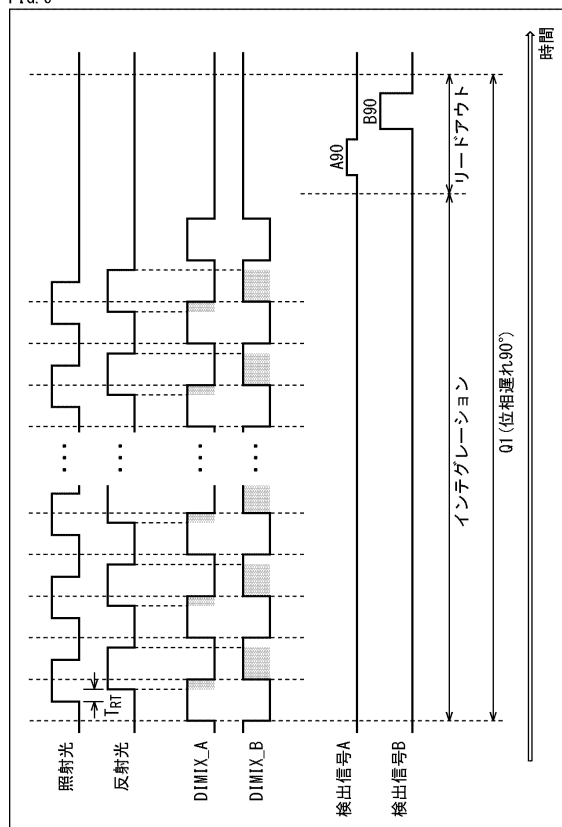
【 図 5 】

FIG. 5



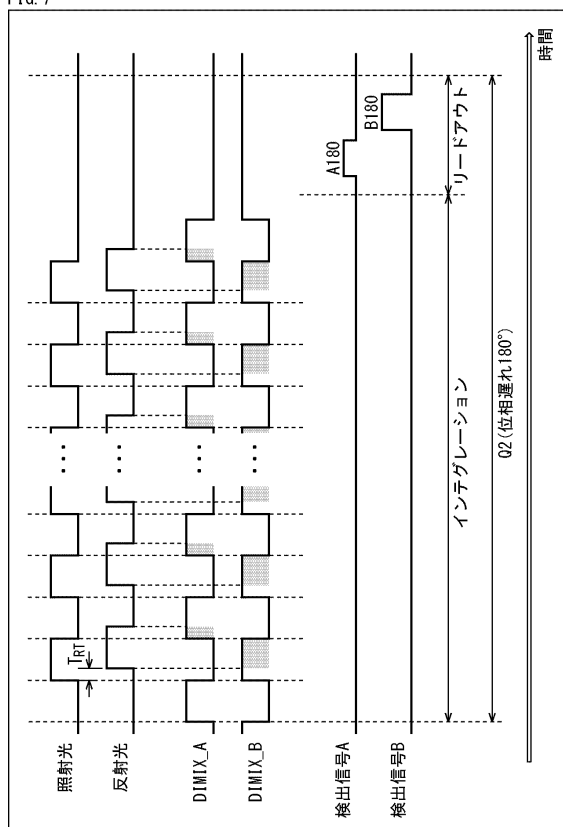
【 図 6 】

FIG. 6



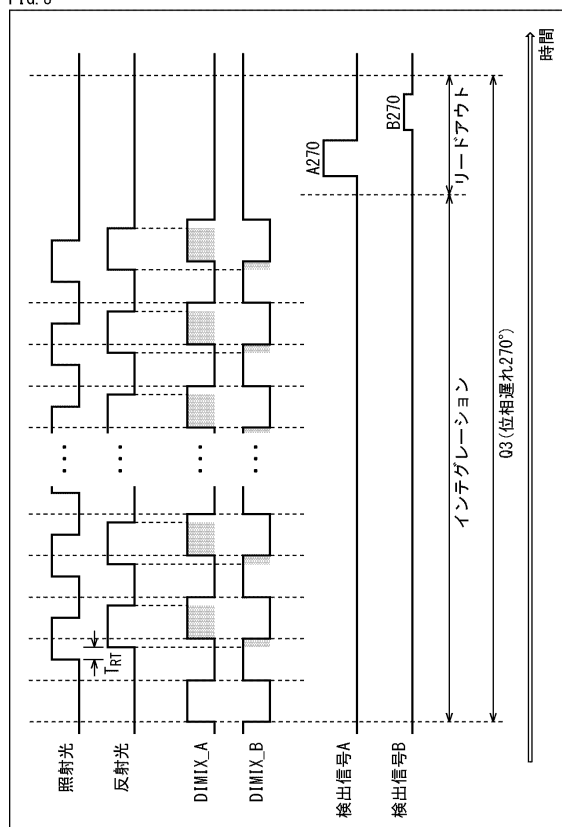
【圖 7】

FIG. 7

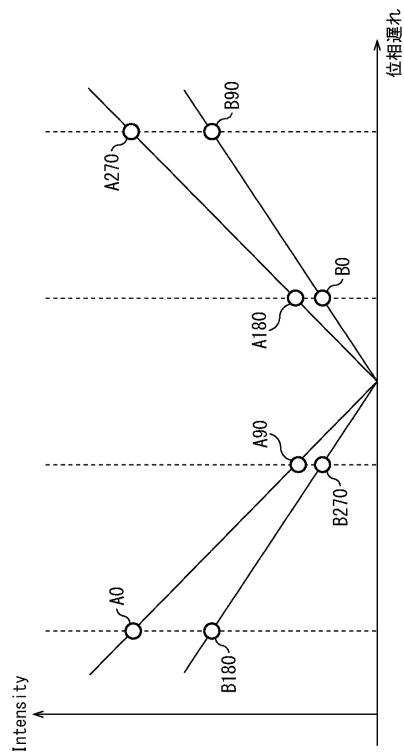


【圖 8】

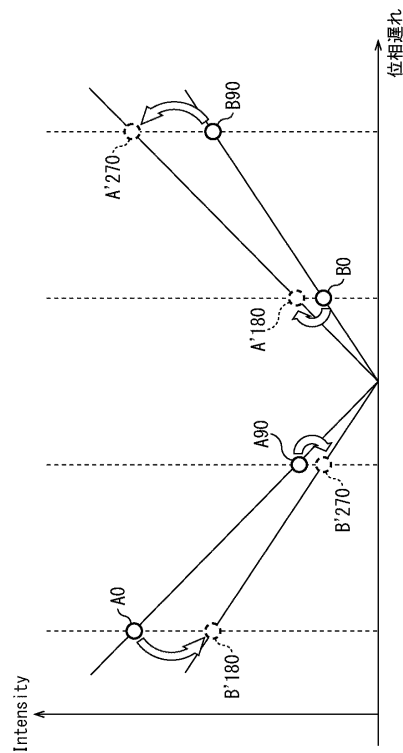
FIG. 8



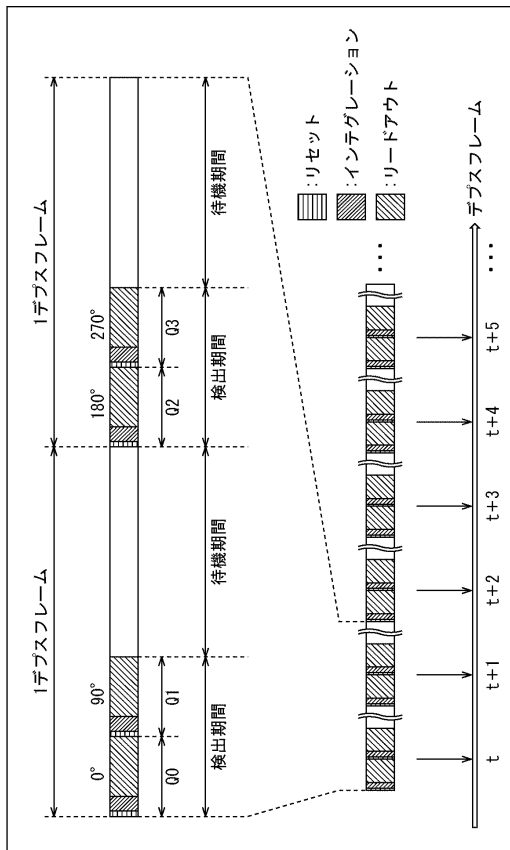
【図 9】
FIG. 9



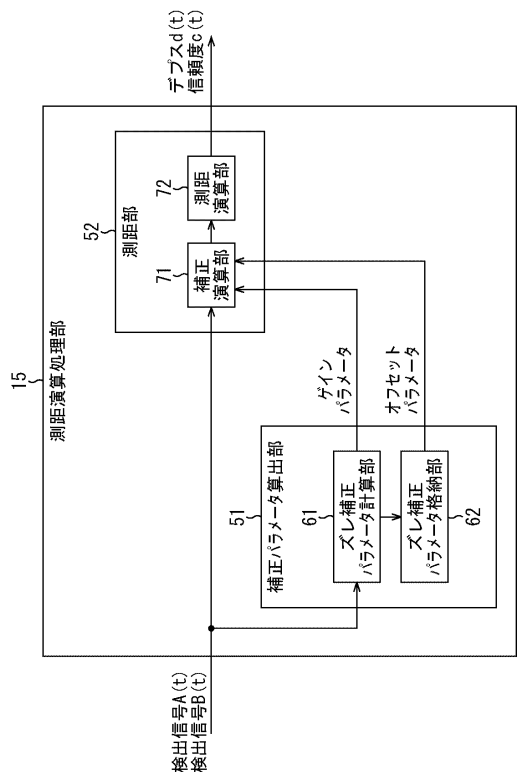
【図 10】
FIG. 10



【図 11】
FIG. 11



【図 12】
FIG. 12



10

20

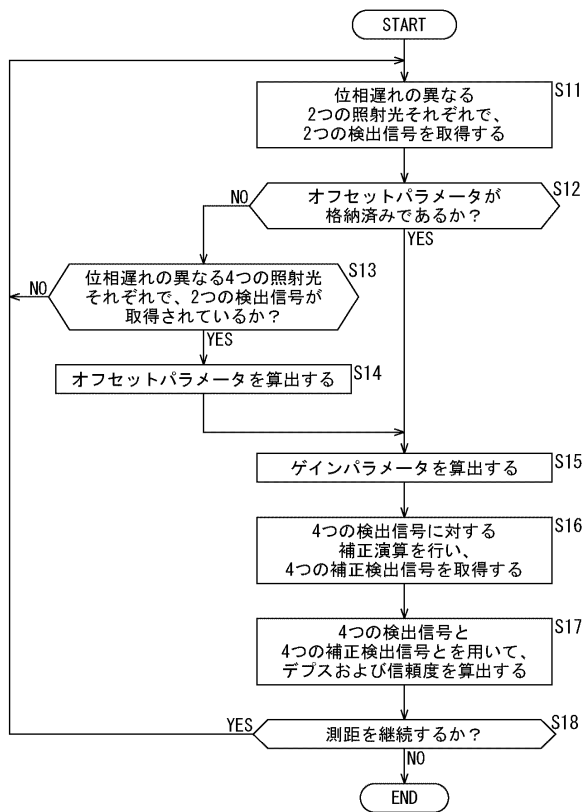
30

40

50

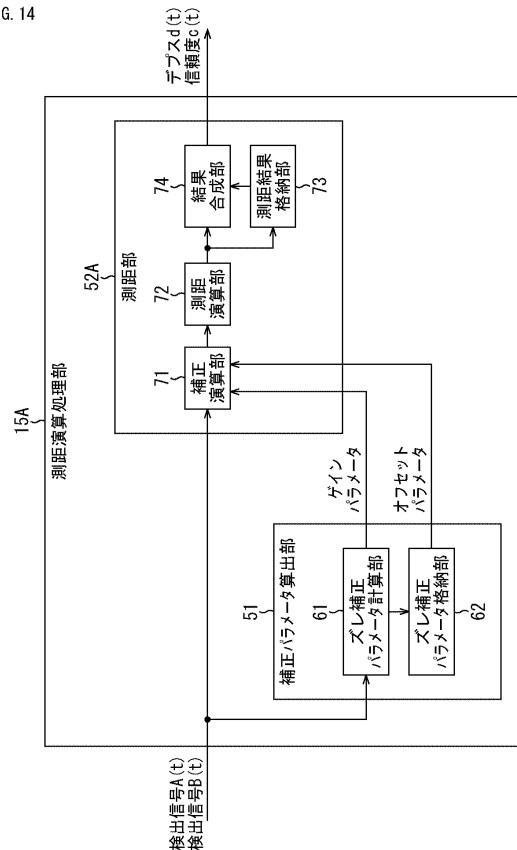
【図 13】

FIG. 13



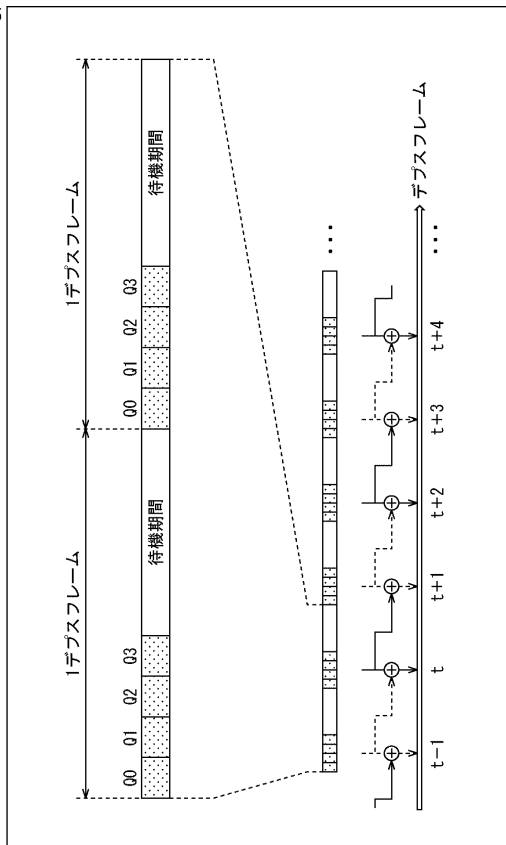
【図 14】

FIG. 14



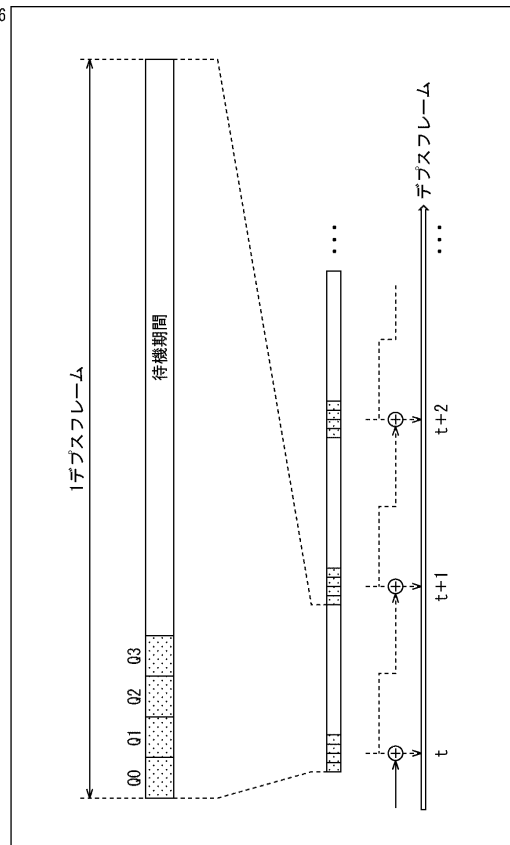
【図 15】

FIG. 15



【図 16】

FIG. 16



10

20

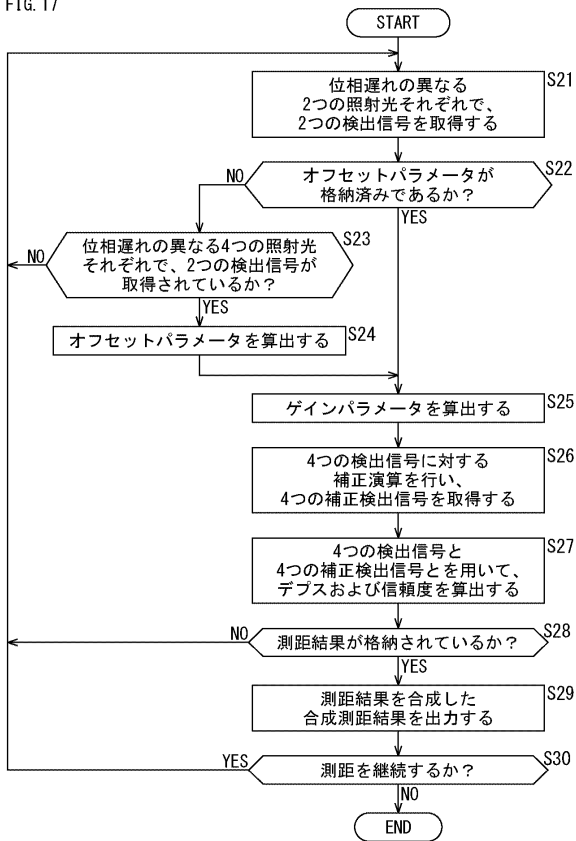
30

40

50

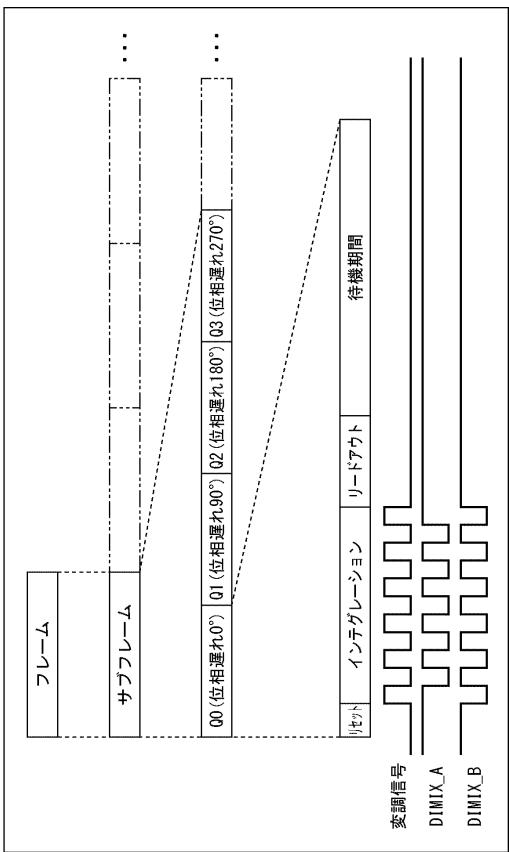
【図 17】

FIG. 17



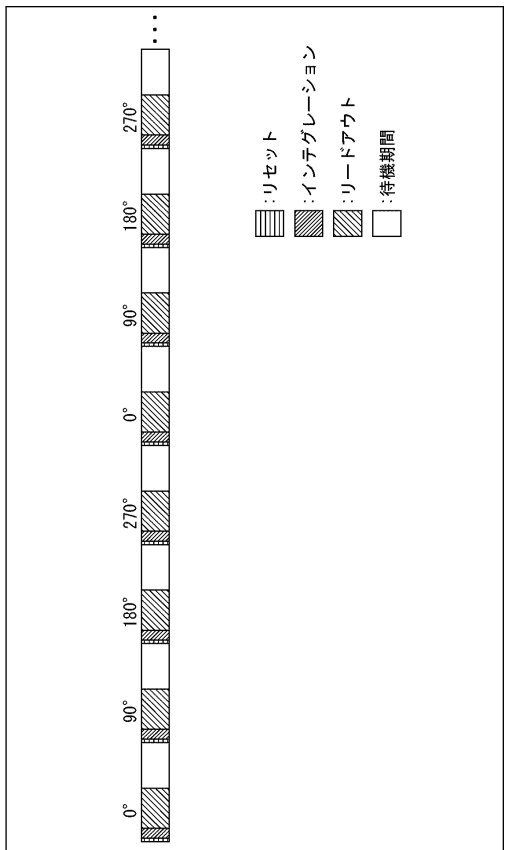
【図 18】

FIG. 18



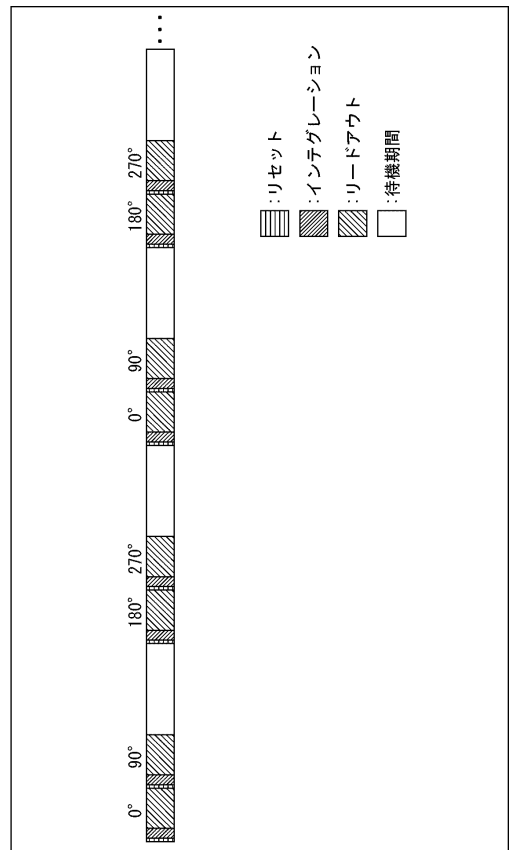
【図 19】

FIG. 19



【図 20】

FIG. 20



10

20

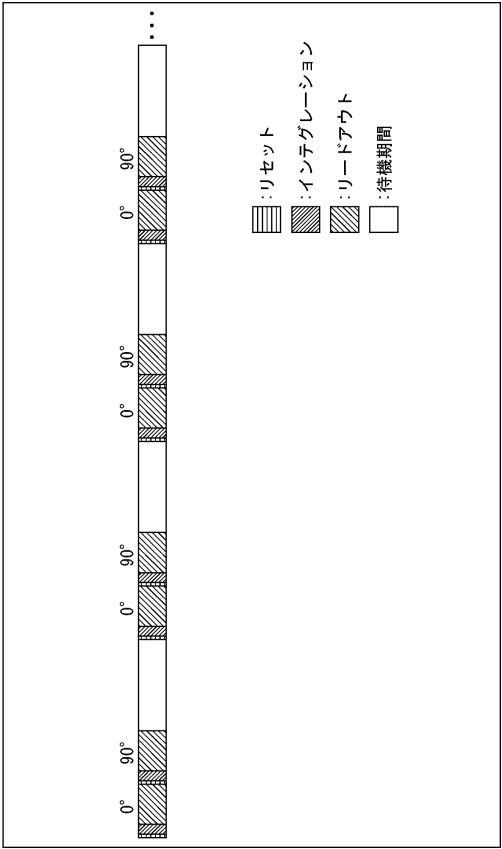
30

40

50

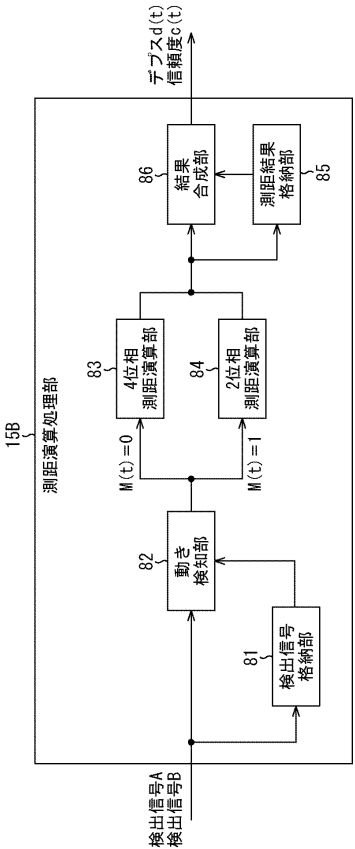
【図 2 1】

FIG. 21



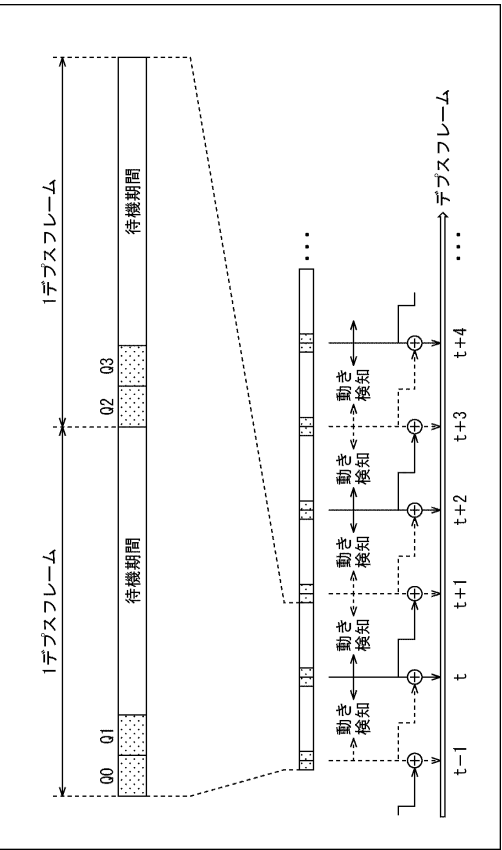
【図 2 2】

FIG. 22



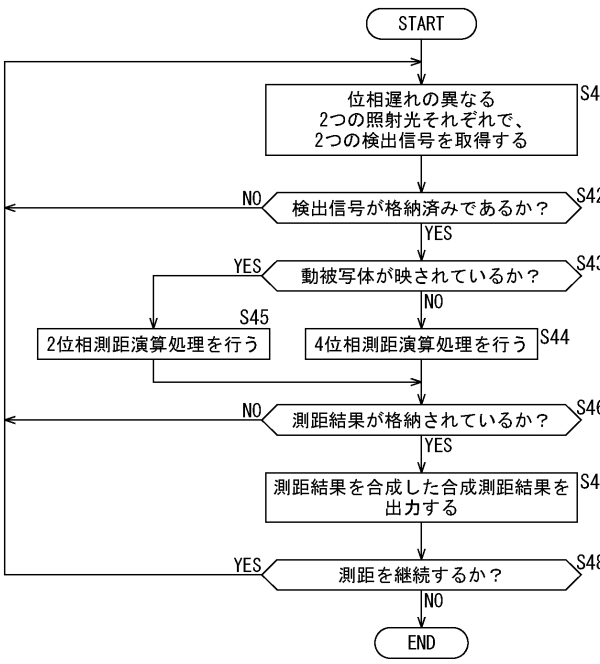
【図 2 3】

FIG. 23



【図 2 4】

FIG. 24



10

20

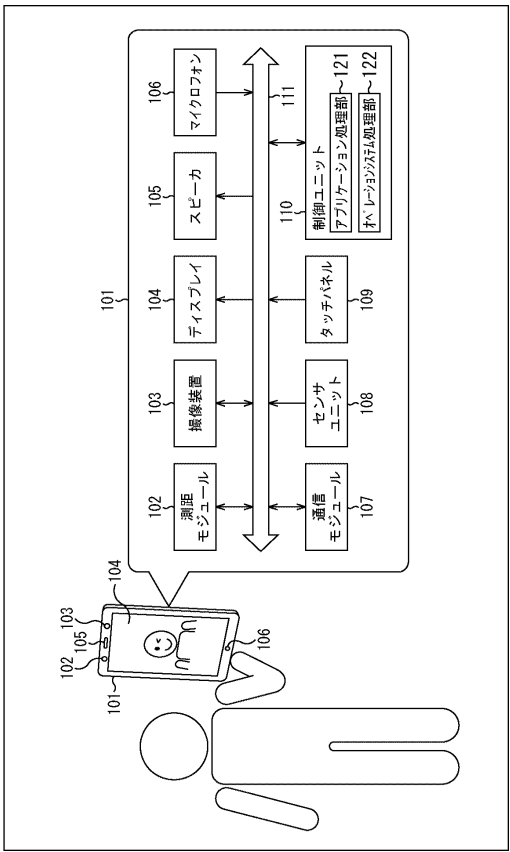
30

40

50

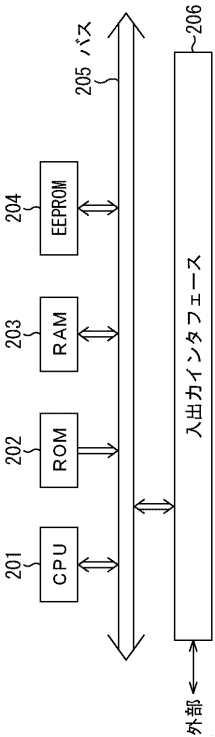
【図 25】

FIG. 25

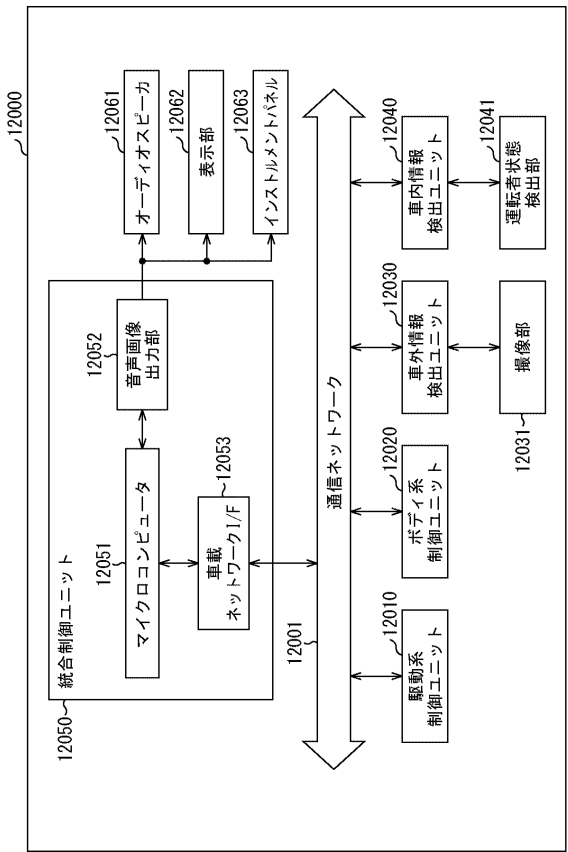


【図 26】

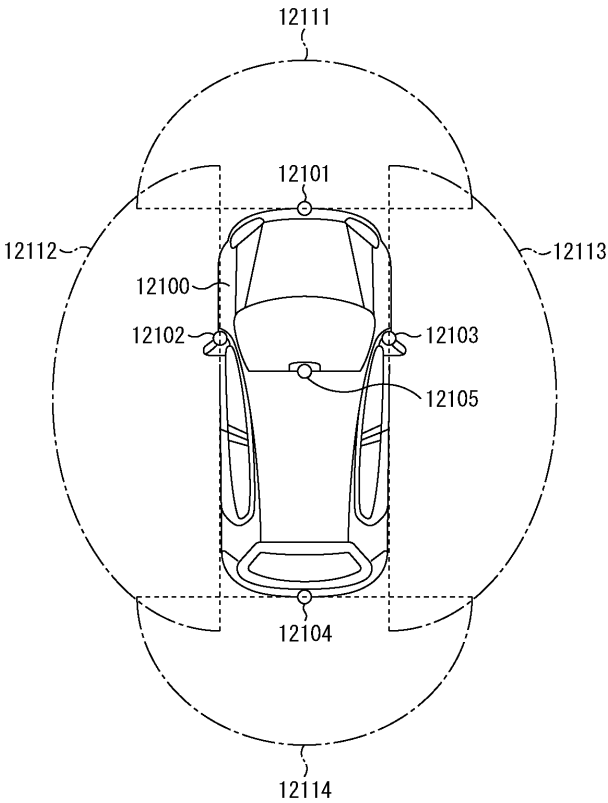
FIG. 26



【図 27】



【図 28】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 株式会社内
(72)発明者 神谷 拓郎
神奈川県厚木市旭町四丁目 1 4 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 藤田 都志行
(56)参考文献 欧州特許出願公開第 0 2 4 7 7 0 4 3 (E P , A 1)
特開 2 0 1 7 - 0 3 2 3 4 2 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 5 0 8 3 2 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 0 6 2 7 0 5 (U S , A 1)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 S 7 / 4 8 - 7 / 5 1
G 0 1 S 1 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5
G 0 1 C 3 / 0 6
G 0 2 B 7 / 4 0