(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年9月19日(19.09.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/176752 A1

(51) 国際特許分類:
G01C 3/06 (2006.01) *G01S 17/10* (2006.01)
G01S 7/487 (2006.01) *H01L 31/10* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/009228

(22) 国際出願日： 2019年3月8日(08.03.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2018-048003 2018年3月15日(15.03.2018) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 堀野 昌伸 (**HORINO, Masanobu**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 松井 優貴(**MATSUI, Yuki**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 中室 健(**NAKAMURO, Ken**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 仲田 佐幸(**NAKADA, Sayuki**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

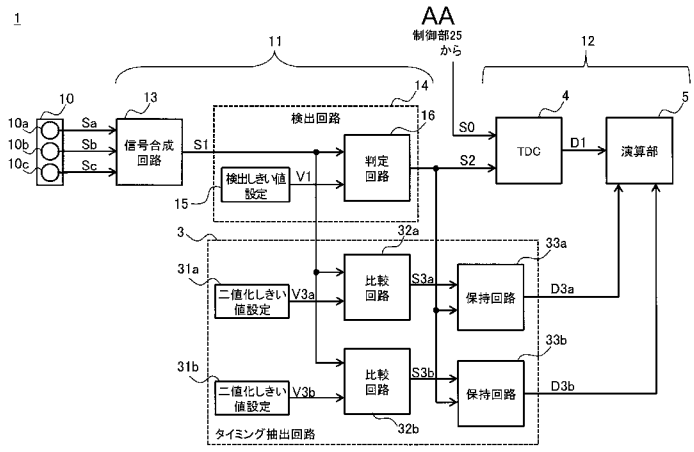
(74) 代理人: 山尾 憲人, 外 (**YAMAO, Norihito** et al.); 〒5300017 大阪府大阪市北区角田町８番１号梅田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) **Title:** LIGHT DETECTION DEVICE, LIGHT DETECTION METHOD AND OPTICAL DISTANCE SENSOR

(54) 発明の名称： 光検出装置、光検出方法および光学式測距センサ

[図3]



3...Timing extraction circuit
5...Computation unit
13...Signal synthesis circuit
14...Detection circuit
15...Detection threshold value setting
16...Determination circuit
31a, 31b...Binarization threshold value setting
32a, 32b...Comparison circuit
33a, 33b...Holding circuit
AA...From control unit 25

(57) **Abstract:** This light detection device (1) detects incident light in accordance with a detection start timing. The light detection device is provided with multiple light receiving elements (10a-10c), a signal synthesis circuit (13), a detection circuit (14), a time measurement circuit (4), and a timing extraction circuit (3). The multiple light receiving elements receive light and generate output signals that indicate the light receiving result. The signal synthesis circuit sums the output signals from the light receiving elements to generate a composite signal. The detection circuit detects the timing at which the composite signal becomes greater than or equal to a first threshold value (V1), and generates a detection signal. On the basis of the detection signal, the time measurement circuit measures the measurement interval between the detection start timing and the detected timing. During a prescribed interval based on the detected timing, the timing extraction circuit extracts timing information (D3) that indicates a timing at which the composite signal increases.

WO 2019/176752 A1

［続葉有］

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：光検出装置（１）は、検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する。光検出装置は、複数の受光素子（１０ａ～１０ｃ）と、信号合成回路（１３）と、検出回路（１４）と、時間計測回路（４）と、タイミング抽出回路（３）とを備える。複数の受光素子は、光を受光して、受光結果を示す出力信号をそれぞれ生成する。信号合成回路は、各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号を生成する。検出回路は、合成信号が第１しきい値（Ｖ１）以上になるタイミングを検出して、検出信号を生成する。時間計測回路は、検出信号に基づいて、検出開始タイミングと検出されたタイミングとの間の測定期間を計測する。タイミング抽出回路は、検出されたタイミングを基準とする所定期間において、合成信号が増加するタイミングを示すタイミング情報（Ｄ３）を抽出する。

明　細　書

発明の名称 ： 光検出装置、光検出方法および光学式測距センサ

技術分野

[0001] 本開示は、光検出装置および光検出方法、並びに光検出装置を備えた光学式測距センサに関する。

背景技術

[0002] 光の飛行時間（ＴＯＦ）を利用する光学式測距センサが知られている。光学式測距センサは、光を物体に照射し、物体で反射した光を検出することで、物体までを往復する光の飛行時間に対応する距離を測定する。光学式測距センサでは、ＳＰＡＤ（単一光子アバランシェフォトダイオード）を光検出に用いる技術が提案されている（例えば特許文献１，２）。

[0003] 特許文献１は、光学測距装置において複数のＳＰＡＤを備えた光検出器を開示している。特許文献１の光検出器は、複数のＳＰＡＤから出力される矩形パルスを加算し、加算した出力値と所定の基準値とを比較して、比較結果に応じてトリガ信号を出力している。

[0004] 特許文献２は、受光部において複数のＳＰＡＤを備えた測距装置を開示している。特許文献２の測距装置は、複数のＳＰＡＤから出力される電気パルスの合計を示す合計信号が所定のしきい値を超え、且つ合計信号の立ち上がりの傾きが所定の傾斜しきい値を超える場合に、測定パルスが検出されたと判定している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第５６４４２９４号公報

特許文献2：米国特許第２０１５／０１７７３６９号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献１等の従来技術では、複数のＳＰＡＤで同時に検出される光子の

合計数を知る目的から、複数のＳＰＡＤによる１回の光検出当たりに１つのタイミングが検出対象になっている。光子に対するＳＰＡＤの反応は確率的なことから、例えば統計処理を用いて精度良く光検出を行うためには、複数のＳＰＡＤを同時に受光させる際に複数のタイミングを得ることが望ましい。

[0007] 本開示の目的は、光学式測距センサにおける光検出を精度良く行い易くすることができる光検出装置、光検出方法および光学式測距センサを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示に係る光検出装置は、検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する。光検出装置は、複数の受光素子と、信号合成回路と、検出回路と、時間計測回路と、タイミング抽出回路とを備える。複数の受光素子は、光を受光して、受光結果を示す出力信号をそれぞれ生成する。信号合成回路は、各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号を生成する。検出回路は、合成信号が第１しきい値以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号を生成する。時間計測回路は、検出信号に基づいて、検出開始タイミングと検出されたタイミングとの間の測定期間を計測する。タイミング抽出回路は、検出されたタイミングを基準とする所定期間において、合成信号が増加するタイミングを示すタイミング情報を抽出する。

[0009] 本開示に係る光検出方法は、光検出装置が検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する方法を提供する。

[0010] 本開示に係る光学式測距センサは、光を投光する投光部と、光検出装置とを備える。光検出装置の時間計測回路は、前記投光部が光を投光するタイミングを前記検出開始タイミングに用いて、前記測定期間を計測する。

発明の効果

[0011] 本開示に係る光検出装置、光検出方法および光学式測距センサによると、光学式測距センサにおける光検出を精度良く行い易くすることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本開示に係る光検出装置の適用例を説明するための図

[図2]実施形態１に係る光学式測距センサの構成を示すブロック図

[図3]実施形態１に係る光検出装置の構成を示すブロック図

[図4]光検出装置における保持回路の構成例を示す回路図

[図5]光検出装置における合成信号の合成方法を説明するためのタイミングチャート

[図6]実施形態１に係る光検出装置の動作を例示するタイミングチャート

[図7]実施形態２に係る光検出装置の構成を示すブロック図

[図8]実施形態２に係る光検出装置の動作を例示するタイミングチャート

[図9]実施形態３に係る光検出装置の構成を示すブロック図

[図10]光検出装置における統合回路の構成例を示す回路図

[図11]実施形態３に係る光検出装置の動作を例示するタイミングチャート

[図12]光検出装置における検出しきい値設定回路の変形例を示す回路図

発明を実施するための形態

[0013] 以下、添付の図面を参照して本開示に係る光検出装置、光検出方法及び光学式測距センサの実施の形態を説明する。なお、以下の各実施形態において、同様の構成要素については同一の符号を付している。

[0014] （適用例）

本開示に係る光検出装置が適用可能な一例について、図１を用いて説明する。図１は、本開示に係る光検出装置１の適用例を説明するための図である。

[0015] 本開示に係る光検出装置１は、ＴＯＦ型の光学式測距センサ２に適用される。光学式測距センサ２は、例えば図１に示すように、パルス光を外部に投光する投光部２０を備える。光検出装置１は、光学式測距センサ２において外部から光を受光する受光部を構成する。

[0016] 本開示に係る光学式測距センサ２は、例えば工業自動化の用途の光電センサ等に適用可能である。光学式測距センサ２は、光検出装置１を用いて投光

部２０から投光したパルス光の反射光を検出することにより、光の飛行時間に基づいて、光を反射した物体までの距離を測定する。光学式測距センサ２によると、物体が特定の位置に在るか否かの検知等を行える。

[0017] 本適用例では、光学式測距センサ２における光検出の高感度化等の観点から、光検出装置１においてＳＰＡＤを受光素子として用いる。ＳＰＡＤは、１光子の入射にも反応し得る程の高感度であるが、当該反応が確率的であることによる検出ばらつきが生じ得る。本適用例では、ＳＰＡＤの検出ばらつきを抑制する観点から、光検出装置１において複数のＳＰＡＤで同時に１回の光検出を行う際に複数のタイミングを取得して、高精度の光検出を実現し易くする。

[0018] （構成例）

以下、光検出装置１及び光学式測距センサ２の構成例としての実施形態を説明する。

[0019] （実施形態１）

実施形態１では、受光したＳＰＡＤの個数が検出しきい値以上となる付近の局所的なタイミングを検出する光検出装置１及び光学式測距センサ２について説明する。

[0020] １．構成

実施形態１に係る光学式測距センサ２及び光検出装置１の構成を以下に説明する。

[0021] １－１．光学式測距センサの構成

本実施形態に係る光学式測距センサ２の構成について、図２を参照して説明する。図２は、光学式測距センサ２の構成を示すブロック図である。

[0022] 光学式測距センサ２は、例えば図２に示すように、投光部２０と、制御部２５と、光検出装置１とを備える。投光部２０は、例えば、光源２１と、光源駆動部２２とを備える。

[0023] 投光部２０において、光源２１は、例えばＬＤ（半導体レーザ）又はＬＥＤを含む。光源２１は、例えば赤外光などの光を発光する。光源駆動部２２

は、光源２１の発光を駆動する回路である。光源駆動部２２は、制御部２５によって制御されるタイミングにおいて、光源２１にパルス状の光、即ちパルス光を照射させる。パルス光は、例えば数ナノ秒～数十ナノ秒などのパルス幅を有する。

[0024] 制御部２５は、例えばＣＰＵ、ＲＡＭ及びＲＯＭ等を含み、各構成要素の制御を行う。例えば、制御部２５は、光学式測距センサ２の全体動作を制御するように、種々の制御信号を生成する。

[0025] 光検出装置１は、例えば図２に示すように、ＳＰＡＤアレイ１０と、信号処理部１１と、測距部１２とを備える。光検出装置１は、例えばＳＰＡＤアレイ１０又は信号処理部１１において、ＳＰＡＤが入射する光に反応して発生させる電気信号を増幅する増幅器、及びＳＰＡＤの駆動回路などを含む。

[0026] ＳＰＡＤアレイ１０は、複数のＳＰＡＤをアレイ状に配置して構成される。ＳＰＡＤアレイ１０の各ＳＰＡＤは、ＡＰＤ（アバランシェフォトダイオード）をガイガーモードで動作させることにより実現される。

[0027] 信号処理部１１は、ＳＰＡＤアレイ１０から出力される出力信号に基づいて、光検出装置１の検出対象とする光が到達するタイミングを検出するための信号処理を行う。測距部１２は、信号処理部１１の信号処理結果に基づいて、光の飛行時間に応じた距離を示す距離値を算出する。光検出装置１の構成の詳細について、以下説明する。

[0028] １－２．光検出装置の構成

実施形態１に係る光検出装置１の構成例について、図３，４を参照して説明する。図３は、本施形態に係る光検出装置１の構成を示すブロック図である。

[0029] 本実施形態の光検出装置１は、図３に示すように、ＳＰＡＤアレイ１０を構成する複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃと、信号処理部１１を構成する信号合成回路１３、検出回路１４及びタイミング抽出回路３とを備える。また、光検出装置１は、例えば測距部１２を構成するＴＤＣ（時間／デジタル変換器）４及び演算部５を備える。

[0030] ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃは、光検出装置１において入射する光子に確率的に反応する受光素子の一例である。以下では、ＳＰＡＤアレイ１０におけるＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃの個数が３個の例を説明する。

[0031] 各々のＳＰＡＤ１０ａ，１０ｂ，１０ｃは、それぞれ光を受光して、受光結果を示す出力信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃを生成する。例えば、光検出装置１には、ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃ毎の出力信号Ｓａ～Ｓｃの信号波形を矩形パルス状に整形する波形整形回路が適宜、組み込まれてもよい。ＳＰＡＤアレイ１０からの各出力信号Ｓａ～Ｓｃは、信号処理部１１の信号合成回路１３に入力される。

[0032] 信号合成回路１３は、入力された複数の出力信号Ｓａ～Ｓｃを合計して合成信号Ｓ１を生成する。信号合成回路１３は、生成した合成信号Ｓ１を検出回路１４及びタイミング抽出回路３に出力する。信号合成回路１３は、公知の技術を適用して構成可能である（例えば特許文献１参照）。

[0033] 検出回路１４は、信号合成回路１３からの合成信号Ｓ１に基づいて、光検出装置１の検出対象の光が得られたタイミングを検出して、検出結果を示す検出信号Ｓ２を生成する。検出回路１４は、例えば図３に示すように、検出しきい値設定回路１５と、判定回路１６とを備える。

[0034] 検出しきい値設定回路１５は、所定の検出しきい値Ｖ１を判定回路１６に設定する。検出しきい値Ｖ１は、複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０における同時検出のタイミングを判定する基準を示す。検出しきい値Ｖ１は、本実施形態における第１しきい値の一例である。

[0035] 判定回路１６は、例えば比較器及びロジック回路等を含む。判定回路１６は、合成信号Ｓ１と検出しきい値Ｖ１とを比較判定して、判定結果に応じて検出信号Ｓ２を生成する。本実施形態の判定回路１６は、合成信号Ｓ１が検出しきい値Ｖ１以上に到ったかの判定結果を示す検出信号Ｓ２を生成する。検出信号Ｓ２は、ＴＤＣ４とタイミング抽出回路３とに入力される。

[0036] 本実施形態のタイミング抽出回路３は、例えば図３に示すように、１つ以上の二値化しきい値設定回路３１ａ，３１ｂ（総称を「二値化しきい値設定

回路３１」と称する）と、１つ以上の比較回路３２ａ，３２ｂ（「比較回路３２」と総称する）と、１つ以上の保持回路３３ａ，３３ｂ（「保持回路３３」と総称する）とを備える。以下では、タイミング抽出回路３が二値化しきい値設定回路３１と比較回路３２と保持回路３３との組を２組、備える例を説明する。

[0037] 二値化しきい値設定回路３１の第１の二値化しきい値設定回路３１ａは、例えば検出しきい値Ｖ１よりも小さい第１の二値化しきい値Ｖ３ａを第１の比較回路３２ａに設定する。また、第２の二値化しきい値設定回路３１ｂは、例えば第１の二値化しきい値Ｖ３ａよりも大きくて且つ検出しきい値Ｖ１よりも小さい第２の二値化しきい値Ｖ３ｂを第２の比較回路３２ｂに設定する。

[0038] 各二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂは、例えば検出しきい値Ｖ１により検出されるタイミング近傍でＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃの反応が変化したタイミングを判定する基準を示す。各々の二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂ（「二値化しきい値Ｖ３」と総称する）は、それぞれ本実施形態における第２しきい値の一例である。

[0039] タイミング抽出回路３の比較回路３２には、信号合成回路１３からの合成信号Ｓ１が入力される。第１の比較回路３２ａは、合成信号Ｓ１と第１の二値化しきい値Ｖ３ａとを比較して、例えば合成信号Ｓ１が第１の二値化しきい値Ｖ３ａ以上であるか否かを示す第１の二値信号Ｓ３ａを生成する。第１の比較回路３２ａは、生成した第１の二値信号Ｓ３ａを第１の保持回路３３ａに出力する。

[0040] 第１の二値信号Ｓ３ａと同様に、第２の比較回路３２ｂは、合成信号Ｓ１と第２の二値化しきい値Ｖ３ｂとの比較結果に応じて第２の二値信号Ｓ３ｂを生成して、第２の保持回路３３ｂに出力する。以下、第１及び第２の二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂを「二値信号Ｓ３」と総称する。

[0041] タイミング抽出回路３の保持回路３３には、検出回路１４による検出信号Ｓ２が入力される。第１及第２の保持回路３３ａ，３３ｂは、それぞれ検出

信号Ｓ２を基準とする所定の保持期間分の各二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂの信号状態を示す第１及び第２のタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂ（「タイミング情報Ｄ３」と総称する）を保持する。保持期間は、例えば数ナノ秒～数十ナノ秒である。保持回路３３の構成例を図４に示す。

[0042] 図４の構成例において、保持回路３３は、複数の記憶素子３４と、互いに直列接続された複数の遅延素子３５とを備える。各記憶素子３４は、入力端子において１つの遅延素子３５に接続し、「０」又は「１」の二値を保持する。各遅延素子３５は、共通の遅延期間（例えば数十ピコ秒～数百ピコ秒）を有することが望ましい。

[0043] 図４の例の保持回路３３において、比較回路３２からの二値信号Ｓ３は、遅延素子３５の直列回路に入力される。検出回路１４からの検出信号Ｓ２は、各記憶素子３４の制御端子に入力される。各記憶素子３４は、検出信号Ｓ２が示すタイミングに応じて、対応する遅延素子３５に出力される二値信号Ｓ３を取り込んで保持する。これにより、保持回路３３は、検出信号Ｓ２が示すタイミングを終端とする保持期間において、遅延期間毎の二値信号Ｓ３の信号状態を示すタイミング情報Ｄ３を保持することができる。

[0044] 図３に戻り、ＴＤＣ４には、制御部２５から、検出開始タイミング信号Ｓ０が入力される。検出開始タイミング信号Ｓ０は、ＴＤＣ４の動作を開始させるタイミングを示す制御信号の一例である。

[0045] ＴＤＣ４は、時間情報をデジタル値で生成（時間／デジタル変換）して、時間を計測する時間計測回路の一例である。ＴＤＣ４は、検出開始タイミング信号Ｓ０と検出信号Ｓ２とに基づいて、検出開始タイミング信号Ｓ０が示すタイミングから、検出信号Ｓ２が示すタイミングまでの測定期間を計測し、計測結果の測定期間を示す時間情報Ｄ１を生成する。

[0046] 演算部５は、例えばソフトウェアとの協働により種々の演算処理を実行するＣＰＵ、並びにＲＡＭ及びＲＯＭ等を含む。演算部５は、ＴＤＣ４と共に測距部１２として動作する。演算部５は、ＴＤＣ４から時間情報Ｄ１を取得すると共にタイミング抽出回路３の各保持回路３３ａ，３３ｂから各々のタ

イミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを取得する。演算部５は、取得した時間情報Ｄ１及びタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂに基づいて、光の飛行時間に応じた距離を算出するための演算処理を実行する。当該演算処理には、例えば各種の統計処理等も含まれる。

[0047] なお、演算部５を構成するＣＰＵ等のハードウェア資源は、光学式測距センサ２の制御部２５と共通であってもよいし、別体であってもよい。また、演算部５及び制御部２５等は、ＡＳＩＣやＦＰＧＡ等の各種ハードウェア回路で構成されてもよい。

[0048] ２．動作

以上のように構成される光学式測距センサ２及び光検出装置１の動作について、以下説明する。

[0049] 光学式測距センサ２において、制御部２５（図２）は、投光部２０の光源駆動部２２を制御して、例えば所定の時間間隔毎にパルス光を光源２１に投光させる。投光されたパルス光は、光学式測距センサ２による測距の対象となる物体において反射されると、反射光として光学式測距センサ２に入射し得る。

[0050] 制御部２５は、投光部２０の制御時に、投光させるタイミングを示すように検出開始タイミング信号Ｓ０を生成して、測距部１２のＴＤＣ４（図３）に出力する。

[0051] 光学式測距センサ２の光検出装置１は、投光部２０の投光に同期して、投光されたタイミングから所定の受光期間中に、パルス光の反射光を検出するための光検出を行う。受光期間は、例えばパルス光の時間間隔よりも短い期間に設定され、測距対象とする距離の上限値に応じた光の飛行時間の観点から設定されてもよい（例えば距離の上限値３０ｍに対して受光期間２００ｎｓなど）。

[0052] 光検出装置１の光検出においては、ＳＰＡＤアレイ１０が光を受光し、信号処理部１１が受光結果の信号に信号処理を行って、反射光が到達したタイミングを示す検出信号Ｓ２を生成する。測距部１２は、検出信号Ｓ２に基づ

いて、投光されたパルス光が物体で反射して受光されるまでにかかる飛行時間を、ＴＤＣ４において測定期間として計測する。測距部１２は、例えば計測された測定期間の半分に光速を乗算して、距離値を算出することが可能である。

[0053] 以上の光学式測距センサ２においては、光検出装置１にＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃを用いることにより、光検出を高感度化して、測距精度を良くすることができる。しかし、ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃによる光子の検出は確率的であることから、１回の投光に対して複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃに同時に光子の検出をさせた際に、確率的な検出ばらつきを生じることが考えられる。

[0054] そこで、本実施形態の光検出装置１は、検出回路１４の検出しきい値Ｖ１とタイミング抽出回路３の各二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂとを用いた比較判定によって１回の検出開始タイミングに対して複数のタイミングを取得し、測距部１２において統計処理を行う。以下、本実施形態の光検出装置１の動作の詳細を説明する。

[0055] ２－１．光検出装置の動作

本実施形態に係る光検出装置１の動作の詳細を、図５，６を用いて説明する。

[0056] 図５は、光検出装置１における合成信号Ｓ１の合成方法を説明するためのタイミングチャートである。図６は、光検出装置１の動作を例示するタイミングチャートを示す。

[0057] 本実施形態の光検出装置１（図３）において、各ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃは、それぞれの確率的な動作において光を受光して、出力信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃを生成する。各出力信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの信号波形を図５（ａ），（ｂ），（ｃ）に例示する。

[0058] 図５（ａ）～（ｃ）の例において、各出力信号Ｓａ～Ｓｃは、所定のパルス幅を有する矩形パルスＰ１である。各々のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃが入射する光子に確率的に反応することにより、各出力信号Ｓａ～Ｓｃにおいて矩

形パルスＰ１が発生する。

[0059] 図５（ａ）～（ｃ）の例では、１つ目のＳＰＡＤ１０ａの出力信号Ｓａが時刻ｔ１に立ち上がる一方（図５（ａ））、２つ目のＳＰＡＤ１０ｂの出力信号Ｓｂは時刻ｔ１よりも後の時刻ｔ３に立ち上がっている（図５（ｂ））。また、３つ目のＳＰＡＤ１０ａの出力信号Ｓａは、時刻ｔ１と時刻ｔ３間の時刻ｔ２に立ち上がっている（図５（ｃ））。

[0060] 信号合成回路１３は、各ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃからの出力信号Ｓａ～Ｓｃを合計して、合成信号Ｓ１を生成する。図５（ａ）～（ｃ）の出力信号Ｓａ～Ｓｃに基づく合成信号Ｓ１を図５（ｄ）に例示する。

[0061] 図５（ｄ）に例示する合成信号Ｓ１は、同時刻の３つの出力信号Ｓａ～Ｓｃ（図５（ａ）～（ｃ））を合計したものである。例えば、時刻ｔ１から時刻ｔ２まで、合成信号Ｓ１は、図５（ａ）の出力信号Ｓａに応じて合計は１である。

[0062] また、図５（ｄ）の例の合成信号Ｓ１は、時刻ｔ２において、２つの矩形パルスＰ１（図５（ａ），（ｃ））の合計によって「１」から「２」に増大している。合成信号Ｓ１は、さらに、時刻ｔ３において、３つの矩形パルスＰ１（図５（ａ）～（ｃ））の合計によって「３」に増大している。このように、合成信号Ｓ１の信号レベルは、受光したＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃの個数に応じて変化する。

[0063] 以上のように合成される合成信号Ｓ１と各種しきい値Ｖ１，Ｖ３ａ，Ｖ３ｂとの関係を図６（ａ）に例示する。以下では、図６（ａ）～（ｄ）に示すように、投光部２０が時刻ｔ０に投光し、光検出装置１が時刻ｔ０から受光期間Ｔ１中に光検出を行う例を説明する。この場合、ＴＤＣ４には、制御部２５から時刻ｔ０を示す検出開始タイミング信号Ｓ０が入力される。

[0064] 図６（ａ）の例の合成信号Ｓ１は、時刻ｔ０後に増大して、時刻ｔ１１に第１の二値化しきい値Ｖ３ａに到り、時刻ｔ１２に第２の二値化しきい値Ｖ３ｂに到り、時刻ｔ１３に検出しきい値Ｖ１に到っている。光検出装置１において、合成信号Ｓ１は、検出回路１４とタイミング抽出回路３とに入力さ

れる。

[0065] 検出回路１４は、合成信号Ｓ１と検出しきい値Ｖ１との比較により、検出信号Ｓ２を生成する。同時に、タイミング抽出回路３の各比較回路３２ａ，３２ｂは、それぞれ合成信号Ｓ１と各二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂとを比較して、各々の二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂを生成する。図６（ｂ），（ｃ），（ｄ）に、それぞれ図６（ａ）の例の合成信号Ｓ１に基づく検出信号Ｓ２、第１の二値信号Ｓ３ａ及び第２の二値信号Ｓ３ｂを例示する。

[0066] 時刻ｔ１１において、合成信号Ｓ１が第１の二値化しきい値Ｖ３ａに到ることから、図６（ｃ）に示すように、第１の二値信号Ｓ３ａが「０」から「１」に切り替わる。また、時刻ｔ１２においても同様に、図６（ｄ）に示すように、第２の二値信号Ｓ３ｂが「０」から「１」に切り替わる。各二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂは、各々の保持回路３３ａ，３３ｂに順次、入力される。

[0067] 時刻ｔ１２後の時刻ｔ１３において、合成信号Ｓ１が検出しきい値Ｖ１に到ることから、図６（ｂ）に示すように、検出信号Ｓ２が立ち上がる。すると、ＴＤＣ４は、検出開始タイミング信号Ｓ０が示す時刻ｔ０から、検出信号Ｓ２の立ち上がりの時刻ｔ１３までの期間Ｔ２を測定期間として計測（時間／デジタル変換）する。ＴＤＣ４は、計測した測定期間Ｔ２を示す時間情報Ｄ１を保持する。

[0068] また、時刻ｔ１３において、タイミング抽出回路３の各保持回路３３ａ，３３ｂは、検出信号Ｓ２の立ち上がりに応じて、時刻ｔ１３から保持期間Ｔ３だけ前の時刻ｔ１０以後に入力された二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂのタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを保持する。図６（ｃ），（ｄ）の二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂを保持したタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂをそれぞれ図６（ｅ），（ｆ）に例示する。

[0069] 図６（ｅ），（ｆ）では、図４の記憶素子３４の並び順に対応させて、図中の左側ほど新しい信号状態を示している。図６（ｅ）では、図６（ｃ）の二値信号Ｓ３ａが時刻ｔ１１から終端の時刻ｔ１３まで「１」であることに対応して、図中左側に「１」が記録されている。また、図６（ｆ）では、図

６（ｄ）の二値信号Ｓ３ｂが時刻ｔ１１後の時刻ｔ１２から「１」であることに対応して、図６（ｅ）よりも「１」が記録された区間が短くなっている。

[0070] 図６（ｅ），（ｆ）のタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂによると、終端の時刻ｔ１３に対して相対的に、各二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂ以上となったタイミングｔ１１，ｔ１２を特定することができる。各タイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂは、演算部５に入力される。

[0071] 演算部５は、測定期間Ｔ２を示す時間情報Ｄ１及びタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂに基づいて、測距のための演算を行う。例えば、まず、演算部５は、タイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂによる相対的な時間情報を、検出開始タイミングの時刻ｔ０を基準とする絶対的な時間情報に変換する。具体的に、演算部５は、例えば測定期間Ｔ２と各タイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂにおける「１」の区間の長さに基づいて、図６（ｃ），（ｄ）に示すように、時刻ｔ０から時刻ｔ１１，ｔ１２までの期間Ｔ３１，Ｔ３２を算出する。

[0072] さらに、演算部５は、ＴＤＣ４の測定期間Ｔ２及びタイミング情報Ｄ３から算出される期間Ｔ３１，Ｔ３２に基づいて、所定の統計処理を実行する。例えば、演算部５は、１回の投受光に対する複数の期間Ｔ２，Ｔ３１，Ｔ３２の平均値を演算して、光の飛行時間又は対応する距離値を算出する。

[0073] また、演算部５は、複数回の投受光で得られる時間情報Ｄ１及びタイミング情報Ｄ３をＲＡＭ等に蓄積してヒストグラム等による統計処理を行ってもよく、例えばヒストグラムのピーク位置等に応じて距離値を算出してもよい。時間情報Ｄ１及びタイミング情報Ｄ３を用いることで、ヒストグラムのサンプル数を効率良く増やすことができる。

[0074] 以上の光検出装置１の動作によると、ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃの出力信号Ｓａ～Ｓｃを合成した合成信号Ｓ１に基づいて、複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｂによる同時受光の時刻ｔ１３が検出されると、さらに、時刻ｔ１３直前に合成信号Ｓ１が増大した時刻ｔ１１，ｔ１２を示すタイミング情報Ｄ３１，Ｄ３２を取得できる。これにより、１回の投受光において複数のＳＰＡＤ

１０ａ～１０ｃが反応した複数のタイミングｔ１１，～ｔ１３が得られ、光学式測距センサ２における光検出を精度良く行い易くすることができる。

[0075] ３．まとめ

以上のように、本実施形態に係る光検出装置１は、所定の検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する。光検出装置１は、複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃと、信号合成回路１３と、検出回路１４と、ＴＤＣ４と、タイミング抽出回路３とを備える。複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃは、光を受光して、受光結果を示す出力信号Ｓａ～Ｓｃをそれぞれ生成する。信号合成回路１３は、各ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃからの複数の出力信号Ｓａ～Ｓｃを合計して、合成信号Ｓ１を生成する。検出回路１４は、合成信号Ｓ１が第１しきい値の一例である検出しきい値Ｖ１以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号Ｓ２を生成する。ＴＤＣ４は、検出信号Ｓ２に基づいて、検出開始タイミングと検出されたタイミングとの間の測定期間Ｔ２を計測する。タイミング抽出回路３は、検出されたタイミングを基準とする所定の保持期間Ｔ３において、合成信号Ｓ１が、第２しきい値の一例である二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂ以上か否かを示すタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを抽出する。

[0076] 以上の光検出装置１によると、測定期間Ｔ２に加えてタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを取得することにより、光学式測距センサ２における光検出を精度良く行い易くすることができる。

[0077] 本実施形態において、光検出装置１の受光素子は、入射する光子に確率的に反応するＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃである。各ＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃが確率的に動作しても、タイミング情報Ｄ３を用いて、精度良く光検出を行うことができる。

[0078] また、本実施形態において、光検出装置１は、演算部５をさらに備える。演算部５は、抽出されたタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂと計測された測定期間Ｔ２とに基づいて、検出開始タイミングからタイミング情報が示すタイミングまでの期間Ｔ３１，Ｔ３２を算出する。演算部５は、算出した期間Ｔ３

１，Ｔ３２と測定期間Ｔ２とに基づく統計処理を実行する。統計処理により、高精度の測距を実現することができる。

[0079] また、本実施形態において、タイミング抽出回路３は、比較回路３２と、保持回路３３とを備える。比較回路３２は、二値化しきい値Ｖ３毎に設けられ、合成信号Ｓ２が当該二値化しきい値Ｖ３以上か否かを示す二値信号Ｓ３を生成する。保持回路３３は、比較回路３２毎に設けられ、検出信号Ｓ２が示すタイミングまでの保持期間Ｔ３において、当該比較回路３２からの二値信号Ｓ３に基づくタイミング情報Ｄ３を保持する。これにより、各二値信号Ｓ３に基づくタイミング情報Ｄ３を取得することができる。

[0080] また、本実施形態に係る光学式測距センサ２は、光を投光する投光部２０と、光検出装置１とを備える。光検出装置１のＴＤＣ４は、投光部２０が光を投光するタイミングを検出開始タイミングに用いて、測定期間Ｔ２を計測する。本実施形態の光学式測距センサ２によると、光検出装置１において精度良く光検出を行って、測距精度を良くすることができる。

[0081] また、本実施形態に係る光検出方法は、複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃを備える光検出装置１が所定の検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する方法である。本方法は、複数のＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃにおいて光を受光して、受光結果を示す出力信号Ｓａ～Ｓｃをそれぞれ生成するステップと、複数の出力信号Ｓａ～Ｓｃを合計して、合成信号Ｓ１を生成するステップとを含む。さらに、本方法は、合成信号Ｓ１が所定の第１しきい値以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号Ｓ２を生成するステップと、検出信号Ｓ２に基づいて、検出開始タイミングと検出されたタイミングとの間の測定期間Ｔ２を計測するステップとを含む。さらに、本方法は、検出されたタイミングを基準とする保持期間Ｔ３において、合成信号Ｓ１が、少なくとも１つの第２しきい値以上か否かを示すタイミングを示すタイミング情報Ｄ３を取得するステップを含む。本方法によると、光学式測距センサ２における光検出を精度良く行い易くすることができる。

[0082] 以上の説明では、光検出装置１が備えるＳＡＰＤ１０ａ～１０ｃの個数が

、３個の例を説明した。光検出装置１が備えるＳＡＰＤ１０ａ～１０ｃの個数は、４個以上であってもよいし、２個であってもよい。

[0083] また、以上の説明では、光検出装置１のタイミング抽出回路３が２組の各回路３１，３２，３３を備える例を説明した。光検出装置１のタイミング抽出回路３は、３組以上の各回路３１～３３を備えてもよいし、１組の各回路３１～３３を備えてもよい。また、検出回路とタイミング抽出回路の組は、複数であってもよい。

[0084]（実施形態２）

実施形態１では、タイミング情報Ｄ３が、検出信号Ｓ２が示すタイミングを終端とする保持期間中のタイミングを示したが、光検出装置が取得するタイミング情報はこれに限らない。実施形態２では、上記のような光検出装置の構成例について、図７，８を参照して説明する。

[0085] 図７は、実施形態２に係る光検出装置１Ａの構成を示すブロック図である。本実施形態に係る光検出装置１Ａにおいては、実施形態１の光検出装置１と同様の構成（図３）に加えて、図７に示すように、検出回路１４Ａが、遅延回路１７をさらに備える。

[0086] 本実施形態の検出回路１４Ａにおいて、遅延回路１７は、判定回路１６から出力される検出信号Ｓ２を所定の遅延期間（例えば数百ピコ秒～数ナノ秒）分、遅延させ、遅延検出信号Ｓ２Ａを生成する。本実施形態では、判定回路１６からの検出信号Ｓ２の代わりに、遅延回路１７からの遅延検出信号Ｓ２Ａが、ＴＤＣ４及びタイミング抽出回路３の各保持回路３３ａ，３３ｂに出力される。

[0087] 図８は、実施形態２に係る光検出装置１Ａの動作を例示するタイミングチャートを示す。図８（ａ）は、合成信号Ｓ１のタイミングチャートの一例である。図８（ｂ）は、図８（ａ）の合成信号Ｓ１に基づく検出信号Ｓ２を示す。図８（ｃ）は、図８（ｂ）の検出信号Ｓ２に基づく遅延検出信号Ｓ２Ａを示す。図８（ｄ），（ｅ）は、それぞれ図８（ａ）の合成信号Ｓ１に基づく第１及び第２の二値化信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂを示す。

[0088] 本構成例では、図８（ａ）に示すように、第１の二値化しきい値Ｖ３ａが、検出しきい値Ｖ１よりも大きい値に設定されている。換言すると、検出しきい値Ｖ１が、複数の二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂの一つよりも小さい値に設定されている。例えば、光検出装置１Ａにおいて受光時の光子数が少ないときであっても検出可能にする観点から、検出しきい値Ｖ１を小さく設定することが有用になり得る。

[0089] 図８（ａ）の例の合成信号Ｓ１は、時刻ｔ０後に増大して、時刻ｔ２１に検出しきい値Ｖ１に到り、その後の時刻ｔ２２に第１の二値化しきい値Ｖ３ａに到っている。このため、図８（ｂ）の検出信号Ｓ２は、図８（ｄ）の二値信号Ｓ３ａが立ち上がる時刻ｔ２２前の時刻ｔ２１に立ち上がっている。一方、遅延検出信号Ｓ２Ａは、図８（ｃ）に示すように、時刻ｔ２１から遅延回路１７の遅延期間Ｔ４分遅延して、時刻ｔ２２後の時刻ｔ２３に立ち上がっている。

[0090] 本実施形態の光検出装置１Ａによると、タイミング抽出回路３の各保持回路３３ａ，３３ｂは、遅延検出信号Ｓ２Ａが示す時刻ｔ２３を終端とする保持期間Ｔ３分のタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを保持する。これにより、合成信号Ｓ１が検出しきい値Ｖ１以上になる時刻ｔ２１後に、さらに二値化しきい値Ｖ３ａ以上になるタイミングを示すタイミング情報Ｄ３ａを取得することができる。

[0091] 以上のように、本実施形態に係る光検出装置１Ａでは、検出回路１４Ａが、検出信号Ｓ２を所定の遅延期間分、遅延させて、遅延検出信号Ｓ２Ａとして保持回路３３に出力する。二値化しきい値Ｖ３の１つは、検出しきい値Ｖ１よりも大きい。これにより、検出信号Ｓ２が示すタイミング後に増大するタイミングを示すタイミング情報Ｄ３を取得できる。検出しきい値Ｖ１よりも大きい二値化しきい値Ｖ３の個数は１つに限らず複数であってもよい。また、二値化しきい値Ｖ３はＶ１より大きいものだけでもよい。

[0092] （実施形態３）

実施形態１では、二値化しきい値Ｖ３毎に保持回路３３ａ，３３ｂを設け

、複数のタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂを保持する光検出装置１の構成例を説明した。本実施形態では、複数の二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂのタイミング情報を統合して保持する光検出装置について、図９～１１を参照して説明する。

[0093] 図９は、実施形態３に係る光検出装置１Ｂの構成を示すブロック図である。本実施形態に係る光検出装置１Ｂは、実施形態１の光検出装置１と同様の構成（図３）において、図９に示すように、タイミング抽出回路３Ａの構成を変更する。本実施形態のタイミング抽出回路３Ａは、実施形態１と同様の構成において、複数の保持回路３３ａ，３３ｂの代わりに、複数の二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂを統合するための統合回路３７と、１つの保持回路３３とを備える。

[0094] 統合回路３７は、各比較回路３２ａ，３２ｂからの複数の二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂに基づいて、各々の比較結果のタイミングを統合的に示す統合信号Ｓ３０を生成する。統合回路３７の構成例を図１０に示す。

[0095] 図１０の構成例において、統合回路３７は、比較回路３２毎に設けられた複数の論理ゲート７１ａ，７１ｂ及び複数の遅延素子７２ａ，７２ｂと、１つのＯＲゲート７０とを備える。各遅延素子７２ａ，７２ｂは、共通の遅延期間を有することが望ましい。

[0096] 第１の論理ゲート７１ａは、第１の二値信号Ｓ３ａと、遅延素子７２ａによる同二値信号Ｓ３ａの遅延結果の反転信号との論理積を演算して、第１の論理信号Ｓ３１ａを生成する。同様に、第２の論理ゲート７１ｂは、第２の二値信号Ｓ３ｂに基づいて第２の論理信号Ｓ３１ｂを生成する。各論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂは、ＯＲゲート７０に入力される。ＯＲゲート７０は、複数の論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂの論理和を演算して、演算結果を示す統合信号Ｓ３０を生成する。

[0097] 図１１は、実施形態３に係る光検出装置１Ｂの動作を例示するタイミングチャートを示す。図１１（ａ）は、合成信号Ｓ１のタイミングチャートの一例である。図１１（ｂ）は、図１１（ａ）の合成信号Ｓ１に基づく検出信号

Ｓ２を示す。図１１（ｃ），（ｄ）は、それぞれ図１１（ａ）の合成信号Ｓ１に基づく第１及び第２の論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂを示す。図１１（ｅ）は、図１１（ｃ），（ｄ）の論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂに基づく統合信号Ｓ３０を示す。図１１（ｆ）は、図１１（ｅ）の統合信号Ｓ３０に基づくタイミング情報Ｄ３を示す。

[0098] 上記の統合回路３７によると、各論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂが図１１（ｃ），（ｄ）に示すように、合成信号Ｓ１が二値化しきい値Ｖ３ａ，Ｖ３ｂ以上になって各二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂが立ち上がるタイミングｔ１１，ｔ１２に応じて、矩形パルスを形成する。各論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂの矩形パルスは、遅延素子７２ａ，７２ｂの遅延期間分のパルス幅を有する。

[0099] 統合回路３７は、各二値信号Ｓ３ａ，Ｓ３ｂに基づいて、例えば図１１（ｃ），（ｄ）の論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂの論理和をとって、統合信号Ｓ３０を生成する。統合信号Ｓ３０によると、図１１（ｅ）に示すように、図１１（ｃ），（ｄ）の論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂの各矩形パルスが含まれる。

[0100] 上記の統合信号Ｓ３０をタイミング情報Ｄ３として保持することにより、図１１（ｆ）に示すように、各論理信号Ｓ３１ａ，Ｓ３１ｂが立ち上がったタイミングｔ１１，ｔ１２に対応して、「１」が記録される。これにより、実施形態１の複数のタイミング情報Ｄ３ａ，Ｄ３ｂと同等の情報量を１つのタイミング情報Ｄ３で取得できる。また、保持回路３３の分の回路面積を削減できる。

[0101] 以上のように、本実施形態に係る光検出装置１Ｂにおいて、タイミング抽出回路３Ａは、複数の比較回路３２と、統合回路３７と、保持回路３３とを備える。比較回路３２は、第２しきい値毎に設けられ、合成信号Ｓ１が当該第２しきい値以上か否かを示す二値信号Ｓ３を生成する。統合回路３７は、各比較回路３２からの複数の二値信号Ｓ３に基づいて、各々の比較結果のタイミングを統合的に示す統合信号Ｓ３０を生成する。保持回路３３は、統合信号Ｓ３０に基づいて、検出信号Ｓ２が示すタイミングまでの保持期間Ｔ３

におけるタイミング情報Ｄ３を保持する。これにより、複数の比較結果を統合したタイミング情報Ｄ３を取得することができる。

[0102]（他の実施形態）

上記の各実施形態では、検出しきい値Ｖ１が一定値の例を説明した。本実施形態の光検出装置においては、検出しきい値Ｖ１が、合成信号Ｓ１の最大値に基づき設定されてもよい。検出しきい値Ｖ１が合成信号Ｓ１の最大値に基づき設定される場合の検出しきい値設定回路１５の変形例について、図１２を用いて説明する。

[0103] 本変形例の検出しきい値設定回路１５は、例えば図１２に示すように、比較器６１と、２つのマルチプレクサ６０，６２とを備える。検出しきい値設定回路１５は、入力された合成信号Ｓ１における最大値を検出しきい値Ｖ１として保持して、保持された検出しきい値Ｖ１を出力する。

[0104] 信号合成回路１３からの合成信号Ｓ１は、検出しきい値設定回路１５において比較器６１とマルチプレクサ６２とに入力される。マルチプレクサ６０は、比較器６１とマルチプレクサ６２とに、初期値を示す初期値信号Ｓｉ又は検出しきい値Ｖ１を出力する。

[0105] 比較器６１は、合成信号Ｓ１と、マルチプレクサ６０から出力される信号とを比較する。比較器６１は、マルチプレクサ６２の制御端子に、比較結果を示す信号を出力する。

[0106] マルチプレクサ６２は、比較器６１の比較結果に従って、合成信号Ｓ１と、マルチプレクサ６０から出力された初期値信号Ｓｉ又は検出しきい値Ｖ１との間で、マルチプレクサ６０の入力端子に出力する信号を切り替える。

[0107] 以上の構成例の検出しきい値設定回路１５によると、合成信号Ｓ１において最大値が更新される毎に、更新された検出しきい値Ｖ１を生成することができる。本変形例の光検出装置１における検出回路１４は、例えば図１２の検出しきい値設定回路１５から出力される検出しきい値Ｖ１と、適宜遅延させた合成信号Ｓ１とを判定回路１６で比較判定して、検出信号Ｓ２を生成する。制御部２５は、例えば投光直前等に、リセット信号Ｓｒを出力して、検

出しきい値Ｖ１を初期値に設定してもよい。

[0108] 上記の各実施形態では、光検出装置１～１Ｂの受光素子がＳＰＡＤ１０ａ～１０ｃである構成例を説明した。本実施形態においては、光検出装置の受光素子は、必ずしもＳＰＡＤに限らない。

[0109] また、上記の各実施形態では、二値化しきい値Ｖ２を用いた二値化によってタイミング情報Ｄ３を抽出する光検出装置１～１Ｂの構成例を説明した。本実施形態の光検出装置は、二値化しきい値Ｖ２を用いずに、保持期間等における合成信号Ｓ１の増加についてのタイミング情報を取得してもよい。

[0110] また、以上の説明では、工業自動化の用途への光学式測距センサ２の適用例を例示したが、本開示に係る光学式測距センサ２及び光検出装置１～１Ｂの用途はこれに限らず、例えば車載用途であってもよい。光学式測距センサ２は、例えばＬｉＤＡＲ或いは距離画像センサ等を構成してもよい。

[0111] （付記）

以上のように、本開示の各種実施形態について説明したが、本開示は上記の内容に限定されるものではなく、技術的思想が実質的に同一の範囲内で種々の変更を行うことができる。以下、本開示に係る各種態様を付記する。

[0112] 本開示に係る第１の態様は、検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する光検出装置（１）である。前記光検出装置１は、複数の受光素子（１０ａ～１０ｃ）と、信号合成回路（１３）と、検出回路（１４）と、時間計測回路（４）と、タイミング抽出回路（３）とを備える。前記複数の受光素子は、光を受光して、受光結果を示す出力信号（Ｓａ～Ｓｃ）をそれぞれ生成する。前記信号合成回路は、各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号（Ｓ１）を生成する。前記検出回路は、前記合成信号が第１しきい値（Ｖ１）以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号（Ｓ２）を生成する。前記時間計測回路は、前記検出信号に基づいて、前記検出開始タイミングと前記検出されたタイミングとの間の測定期間を計測する。前記タイミング抽出回路は、前記検出されたタイミングを基準とする所定期間（Ｔ３）において、前記合成信号が増加するタイミングを

示すタイミング情報（Ｄ３）を抽出する。

[0113] 第２の態様では、第１の態様の光検出装置において、前記受光素子は、アバランシェフォトダイオードをガイガーモードで動作させた単一光子アバランシェフォトダイオード（ＳＰＡＤ）である。

[0114] 第３の態様では、第１又は第２の態様の光検出装置は、演算部（５）をさらに備える。前記演算部は、抽出されたタイミング情報と計測された測定期間とに基づいて、前記検出開始タイミングから前記タイミング情報が示すタイミングまでの期間を算出する。

[0115] 第４の態様では、第３の態様の光検出装置において、前記演算部は、算出した期間と前記測定期間とに基づく統計処理を実行する。

[0116] 第５の態様では、第１～第４のいずれかの態様の光検出装置において、前記タイミング抽出回路は、少なくとも１つの比較回路（３２）と、保持回路（３３）とを備える。前記比較回路は、第２しきい値毎に設けられ、前記合成信号が当該第２しきい値以上か否かを示す二値信号（Ｓ３）を生成する。前記保持回路は、前記比較回路毎に設けられ、前記検出信号が示すタイミングまでの所定期間において、当該比較回路からの二値信号に基づくタイミング情報を保持する。

[0117] 第６の態様では、第１～第４のいずれかの態様の光検出装置において、前記タイミング抽出回路（３Ａ）は、複数の比較回路（３２）と、統合回路（３７）と、保持回路（３３）とを備える。前記比較回路は、第２しきい値毎に設けられ、前記合成信号が当該第２しきい値以上か否かを示す二値信号（Ｓ３）を生成する。前記統合回路は、各比較回路からの複数の二値信号に基づいて、各々の比較結果のタイミングを統合的に示す統合信号（Ｓ３０）を生成する。前記保持回路は、前記統合信号に基づいて、前記検出信号が示すタイミングまでの所定期間における前記タイミング情報（Ｄ３）を保持する。

[0118] 第７の態様では、第５又は第６の態様の光検出装置において、前記検出回路は、前記検出信号を所定の遅延期間分、遅延させて、前記保持回路に出力

する遅延回路（１７）を備える。前記第２しきい値の少なくとも１つは、前記第１しきい値よりも大きい。

[0119] 第８の態様では、第１～第７のいずれかの態様の光検出装置において、前記第１しきい値は、前記合成信号の最大値に基づき設定される。

[0120] 第９の態様は、光を投光する投光部（２０）と、第１～第８のいずれかの態様の光検出装置とを備える。前記光検出装置の時間計測回路は、前記投光部が光を投光するタイミングを前記検出開始タイミングに用いて、前記測定期間を計測する。

[0121] 第１０の態様は、複数の受光素子（１０ａ～１０ｃ）を備える光検出装置（１）が検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する光検出方法である。本方法は、前記複数の受光素子において光を受光して、受光結果を示す出力信号（Ｓａ～Ｓｃ）をそれぞれ生成するステップと、各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号（Ｓ１）を生成するステップとを含む。本方法は、前記合成信号が第１しきい値（Ｖ１）以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号（Ｓ２）を生成するステップと、前記検出信号に基づいて、前記検出開始タイミングと前記検出されたタイミングとの間の測定期間（Ｔ２）を計測するステップとを含む。本方法は、前記検出されたタイミングを基準とする所定期間において、前記合成信号が増加するタイミングを示すタイミング情報を取得するステップを含む。

符号の説明

[0122] １，１Ａ，１Ｂ　光検出装置

１０ａ～１０ｃ　ＳＰＡＤ

１３　信号合成回路

１４，１４Ａ　検出回路

２　光学式測距センサ

２０　投光部

３，３Ａ　タイミング抽出回路

３２　比較回路

３３　保持回路

３７　統合回路

４　ＴＤＣ

５　演算部

請求の範囲

[請求項1] 検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する光検出装置であって、

光を受光して、受光結果を示す出力信号をそれぞれ生成する複数の受光素子と、

各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号を生成する信号合成回路と、

前記合成信号が第１しきい値以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号を生成する検出回路と、

前記検出信号に基づいて、前記検出開始タイミングと前記検出されたタイミングとの間の測定期間を計測する時間計測回路と、

前記検出されたタイミングを基準とする所定期間において、前記合成信号が増加するタイミングを示すタイミング情報を抽出するタイミング抽出回路と

を備える光検出装置。

[請求項2] 前記受光素子は、アバランシェフォトダイオードをガイガーモードで動作させた単一光子アバランシェフォトダイオードである

請求項１に記載の光検出装置。

[請求項3] 抽出されたタイミング情報と計測された測定期間とに基づいて、前記検出開始タイミングから前記タイミング情報が示すタイミングまでの期間を算出する演算部をさらに備える

請求項１又は２に記載の光検出装置。

[請求項4] 前記演算部は、算出した期間と前記測定期間とに基づく統計処理を実行する

請求項３に記載の光検出装置。

[請求項5] 前記タイミング抽出回路は、

第２しきい値毎に設けられ、前記合成信号が当該第２しきい値以上か否かを示す二値信号を生成する少なくとも１つの比較回路と、

前記比較回路毎に設けられ、前記検出信号が示すタイミングまでの所定期間において、当該比較回路からの二値信号に基づくタイミング情報を保持する保持回路とを備える

請求項１～４のいずれか１項に記載の光検出装置。

[請求項6] 前記タイミング抽出回路は、

第２しきい値毎に設けられ、前記合成信号が当該第２しきい値以上か否かを示す二値信号を生成する複数の比較回路と、

各比較回路からの複数の二値信号に基づいて、各々の比較結果のタイミングを統合的に示す統合信号を生成する統合回路と、

前記統合信号に基づいて、前記検出信号が示すタイミングまでの所定期間における前記タイミング情報を保持する保持回路とを備える

請求項１～４のいずれか１項に記載の光検出装置。

[請求項7] 前記検出回路は、前記検出信号を所定の遅延期間分、遅延させて、前記保持回路に出力する遅延回路を備え、

前記第２しきい値の少なくとも１つは、前記第１しきい値よりも大きい

請求項５又は６に記載の光検出装置。

[請求項8] 前記第１しきい値は、前記合成信号の最大値に基づき設定される

請求項１～７のいずれか１項に記載の光検出装置。

[請求項9] 光を投光する投光部と、

請求項１～８のいずれか１項に記載の光検出装置とを備え、

前記光検出装置の時間計測回路は、前記投光部が光を投光するタイミングを前記検出開始タイミングに用いて、前記測定期間を計測する光学式測距センサ。

[請求項10] 複数の受光素子を備える光検出装置が検出開始タイミングに応じて入射する光を検出する光検出方法であって、

前記複数の受光素子において光を受光して、受光結果を示す出力信号をそれぞれ生成するステップと、

各受光素子からの複数の出力信号を合計して、合成信号を生成するステップと、

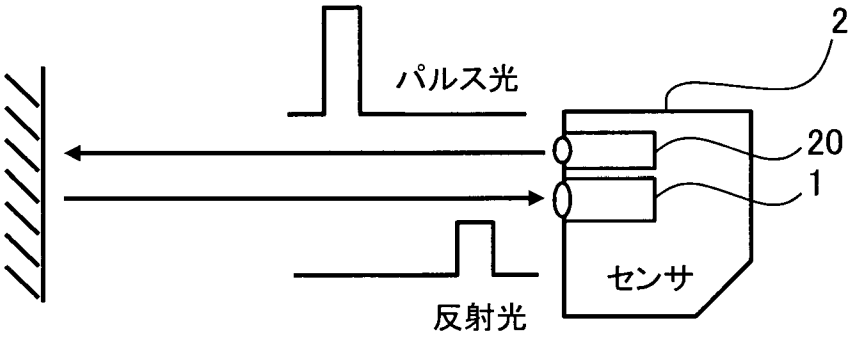
前記合成信号が第１しきい値以上になるタイミングを検出して、検出されたタイミングを示す検出信号を生成するステップと、

前記検出信号に基づいて、前記検出開始タイミングと前記検出されたタイミングとの間の測定期間を計測するステップと、

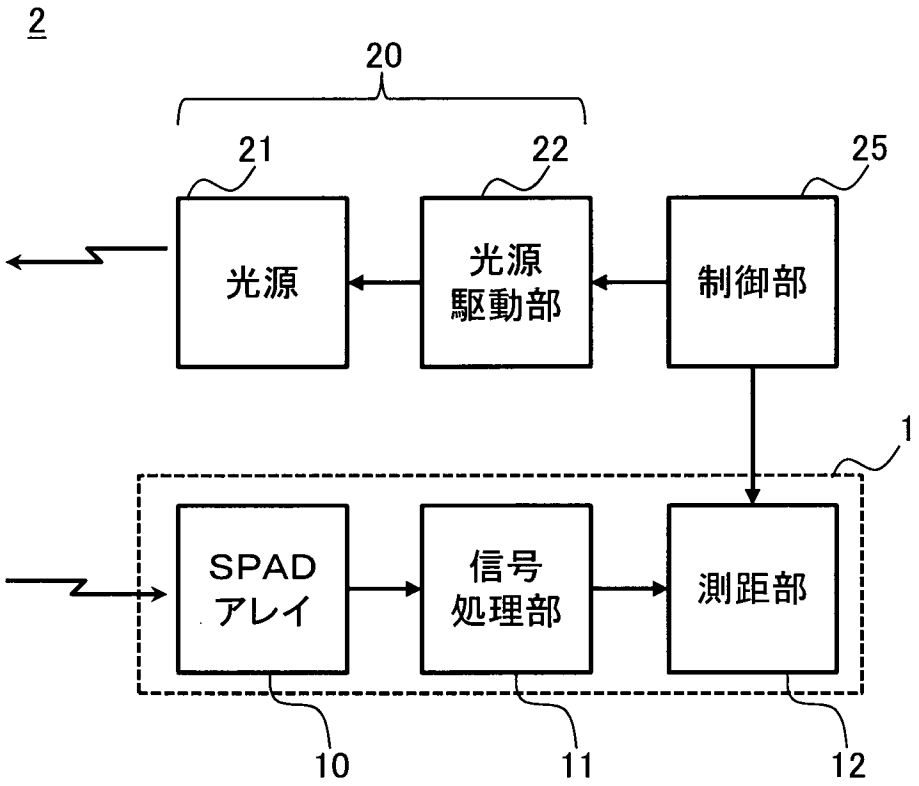
前記検出されたタイミングを基準とする所定期間において、前記合成信号が増加するタイミングを示すタイミング情報を取得するステップと

を含む光検出方法。

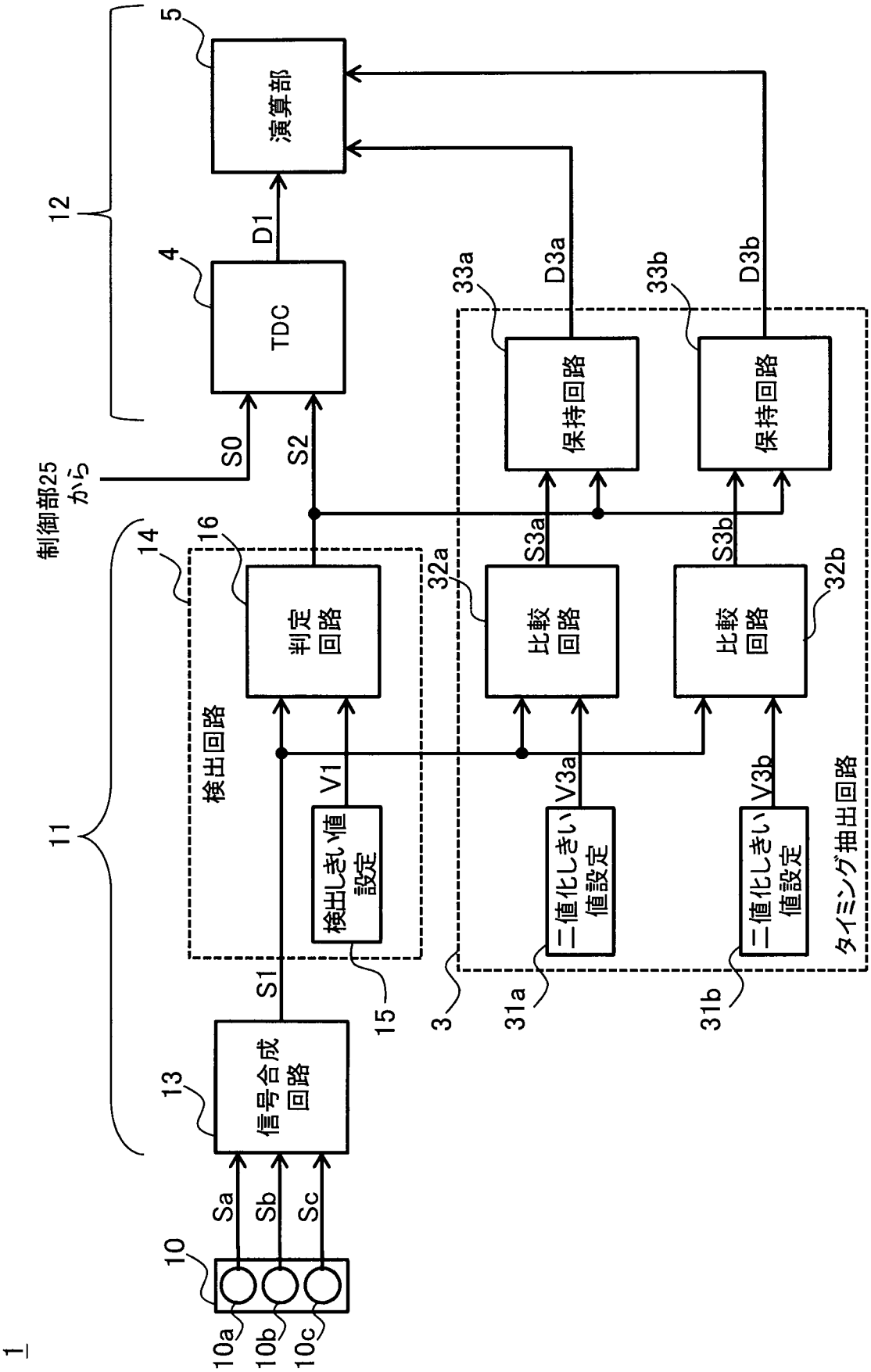
[図1]



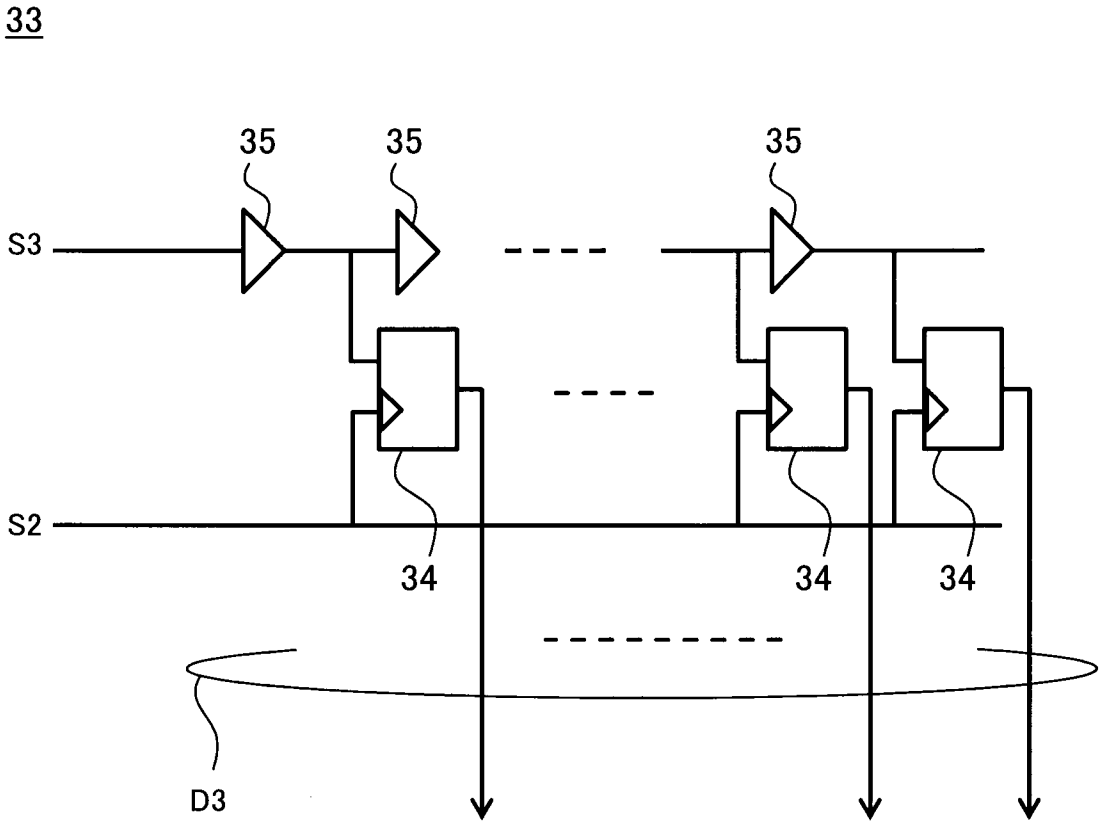
[図2]



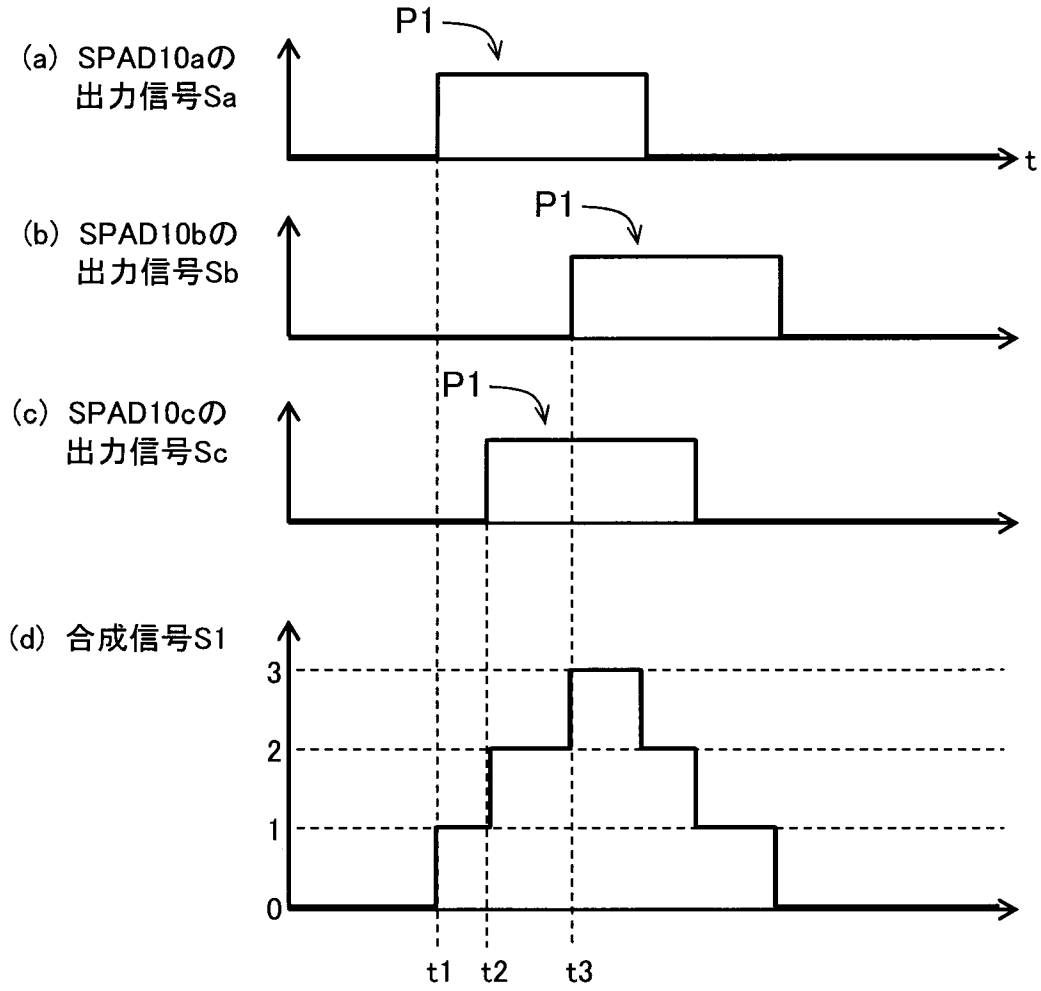
[図3]


1
10
10a
10b
10c
Sa
Sb
Sc
11
13
信号合成回路
S1
12
14
検出回路
16
判定回路
15
検出しきい値設定
V1
制御部25から
S0
S2
4
TDC
D1
5
演算部
3
タイミング抽出回路
32a
比較回路
S3a
31a
二値化しきい値設定
V3a
32b
比較回路
S3b
31b
二値化しきい値設定
V3b
33a
保持回路
D3a
33b
保持回路
D3b

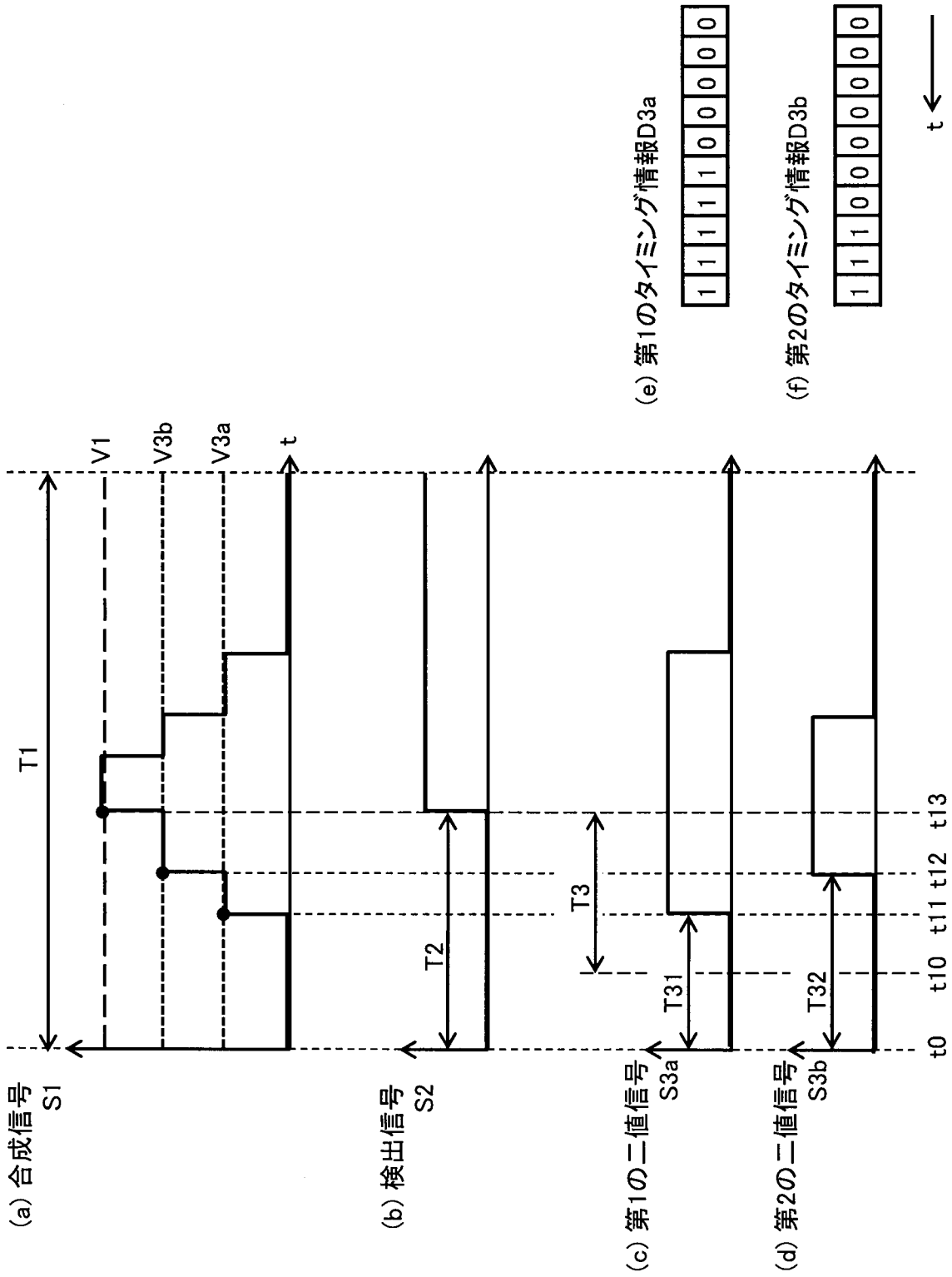
[図4]



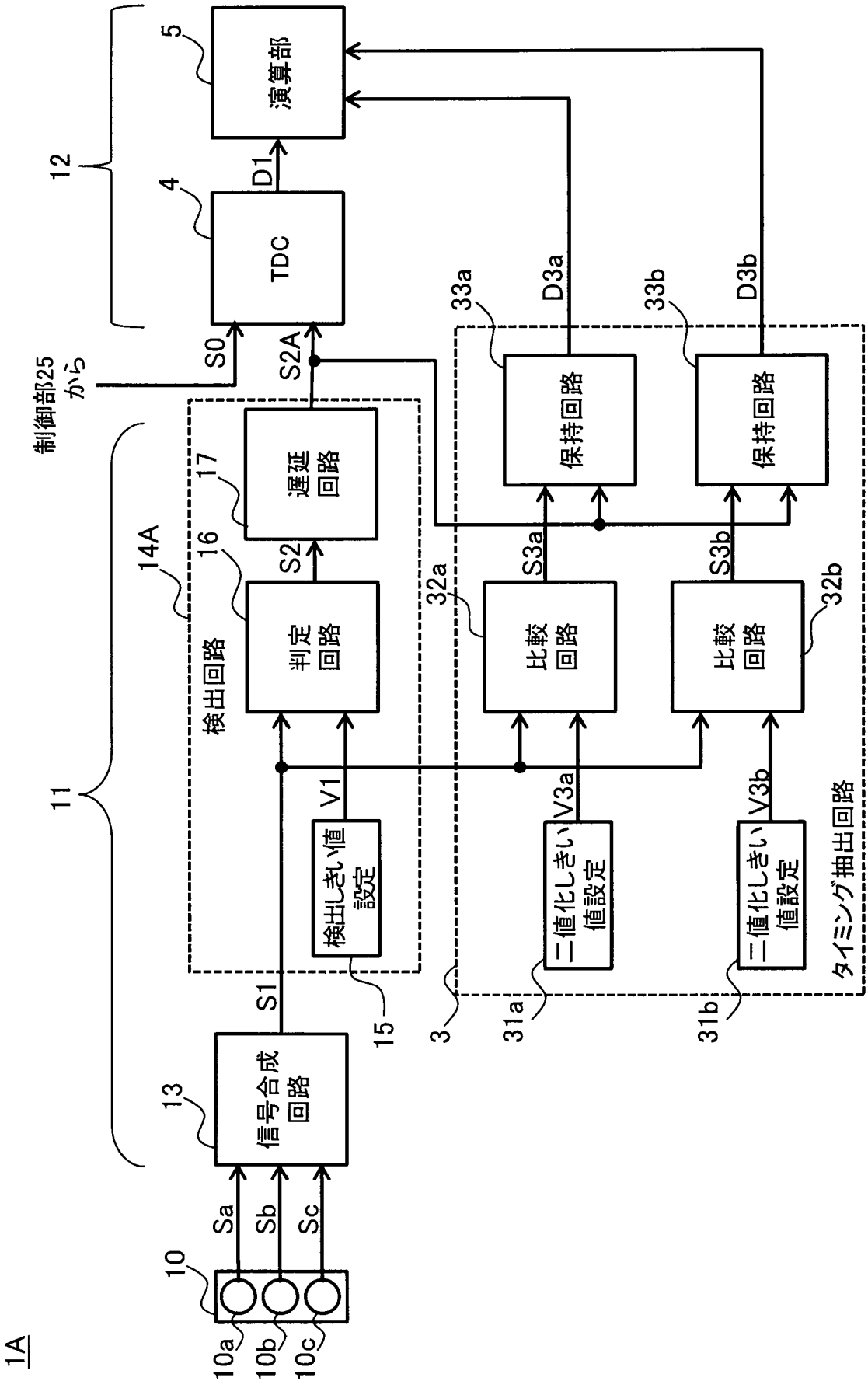
[図5]


(a) SPAD10aの
出力信号Sa
P1
t
(b) SPAD10bの
出力信号Sb
P1
(c) SPAD10cの
出力信号Sc
P1
(d) 合成信号S1
3
2
1
0
t1
t2
t3

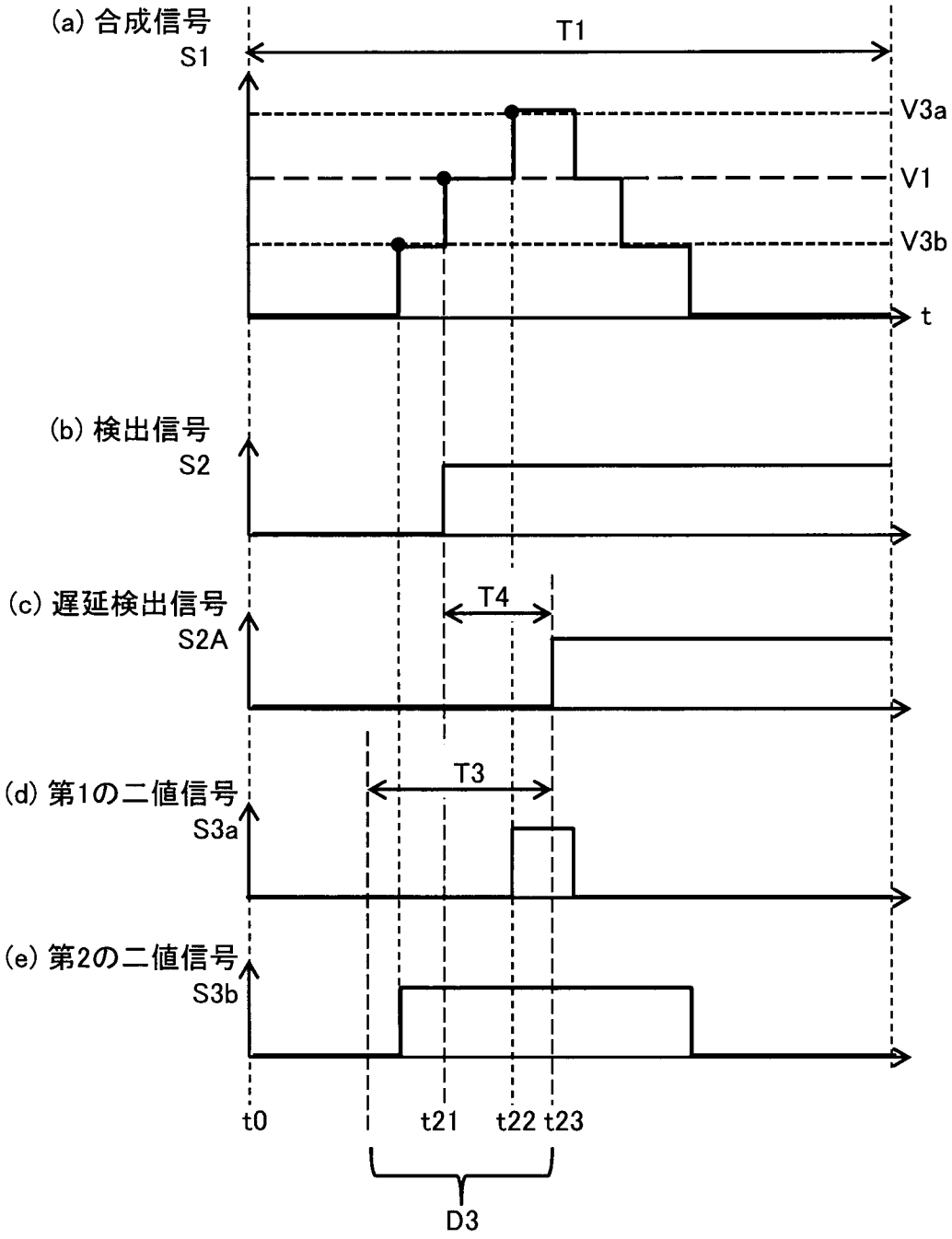
[図6]


(a) 合成信号 S1
(b) 検出信号 S2
(c) 第1の二値信号 S3a
(d) 第2の二値信号 S3b
(e) 第1のタイミング情報D3a
(f) 第2のタイミング情報D3b
V1
V3b
V3a
t
T1
T2
T3
T31
T32
t0
t10
t11
t12
t13
1 1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 0 0 0 0 0 0

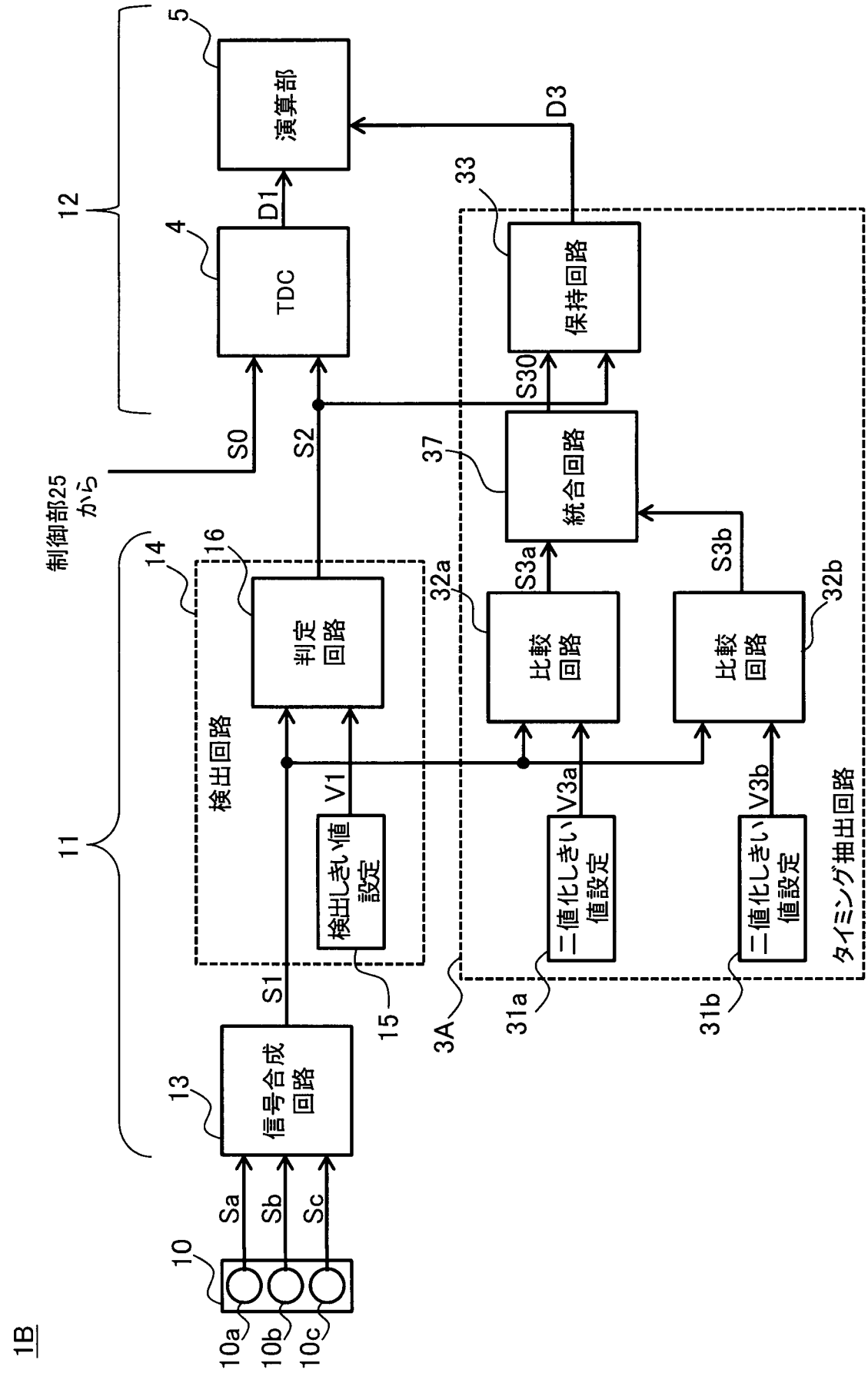
[図7]


1A
10
10a
10b
10c
Sa
Sb
Sc
11
13
信号合成回路
S1
12
14A
検出回路
15
検出しきい値設定
V1
16
判定回路
S2
17
遅延回路
S0
制御部25から
S2A
4
TDC
D1
5
演算部
3
タイミング抽出回路
31a
二値化しきい値設定
V3a
32a
比較回路
S3a
33a
保持回路
D3a
31b
二値化しきい値設定
V3b
32b
比較回路
S3b
33b
保持回路
D3b

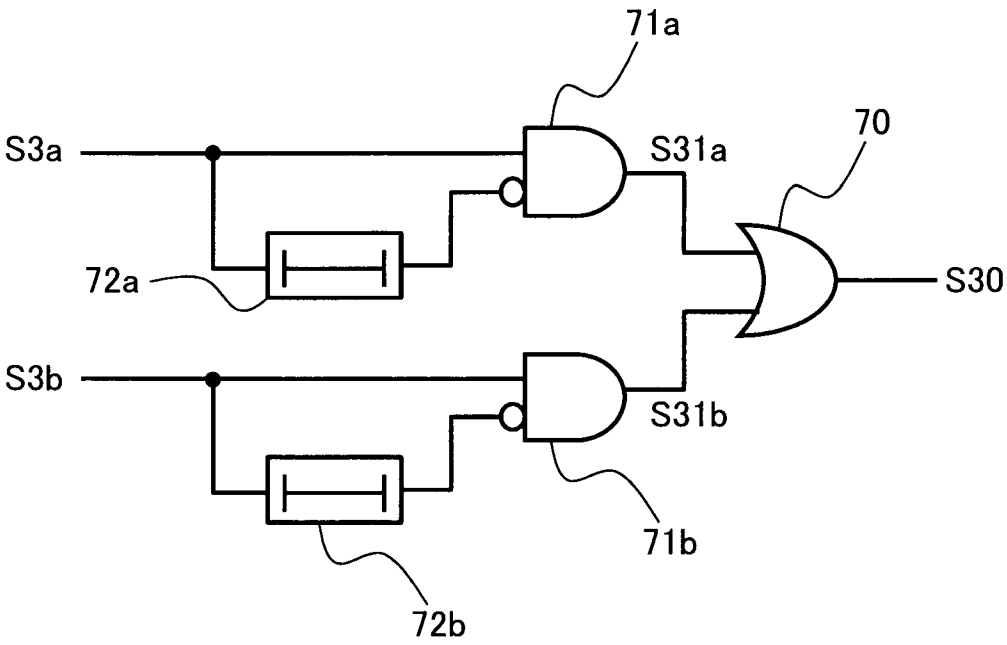
[図8]


(a) 合成信号
S1
T1
V3a
V1
V3b
t
(b) 検出信号
S2
(c) 遅延検出信号
S2A
T4
(d) 第1の二値信号
S3a
T3
(e) 第2の二値信号
S3b
t0
t21
t22
t23
D3

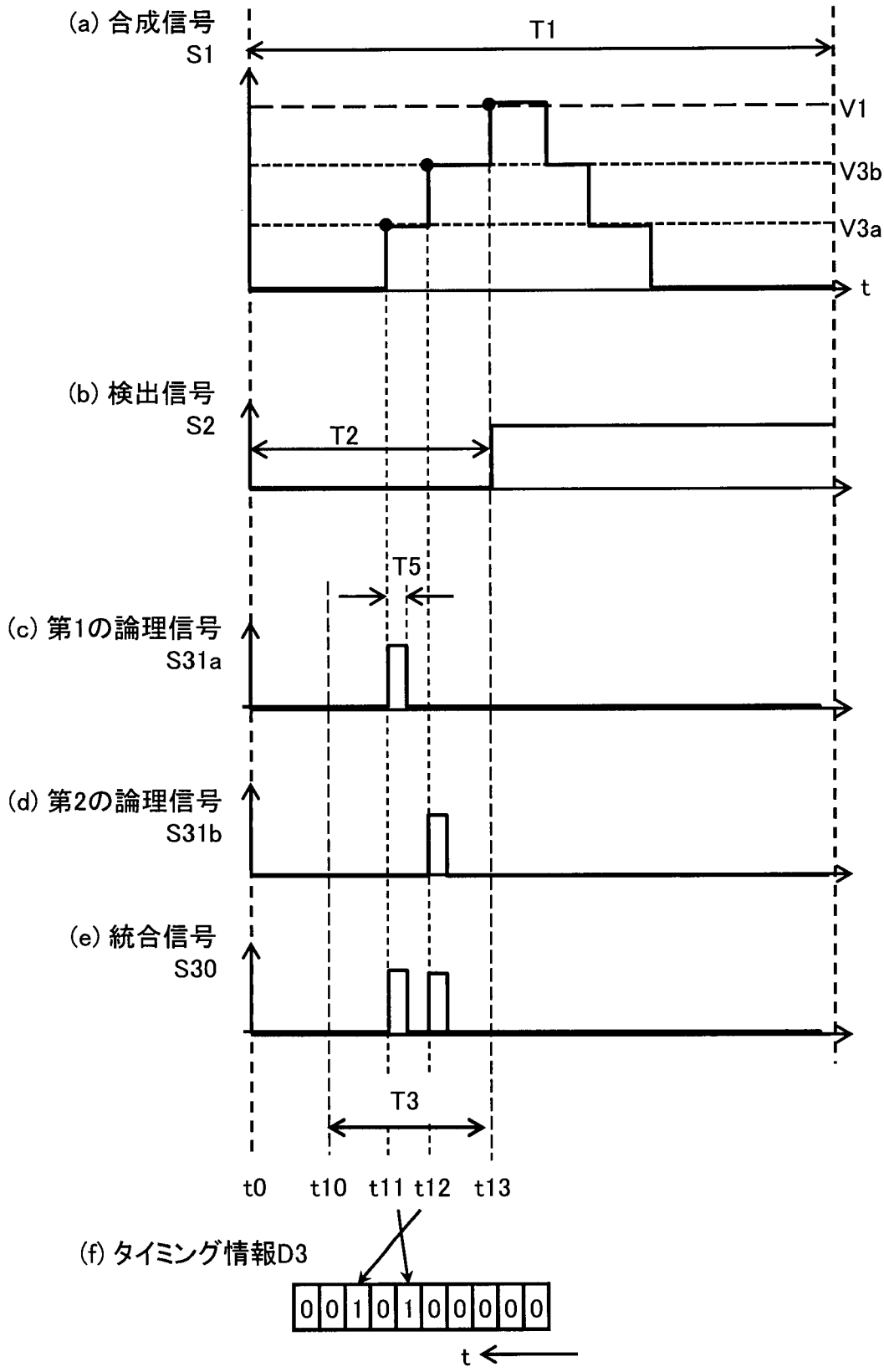
[図9]


1B
10
10a
10b
10c
Sa
Sb
Sc
11
12
13
信号合成回路
14
検出回路
15
検出しきい値設定
V1
16
判定回路
S1
S2
制御部25から
S0
4
TDC
D1
5
演算部
D3
3A
31a
二値化しきい値設定
V3a
31b
二値化しきい値設定
V3b
32a
比較回路
S3a
32b
比較回路
S3b
33
保持回路
S30
37
統合回路
タイミング抽出回路

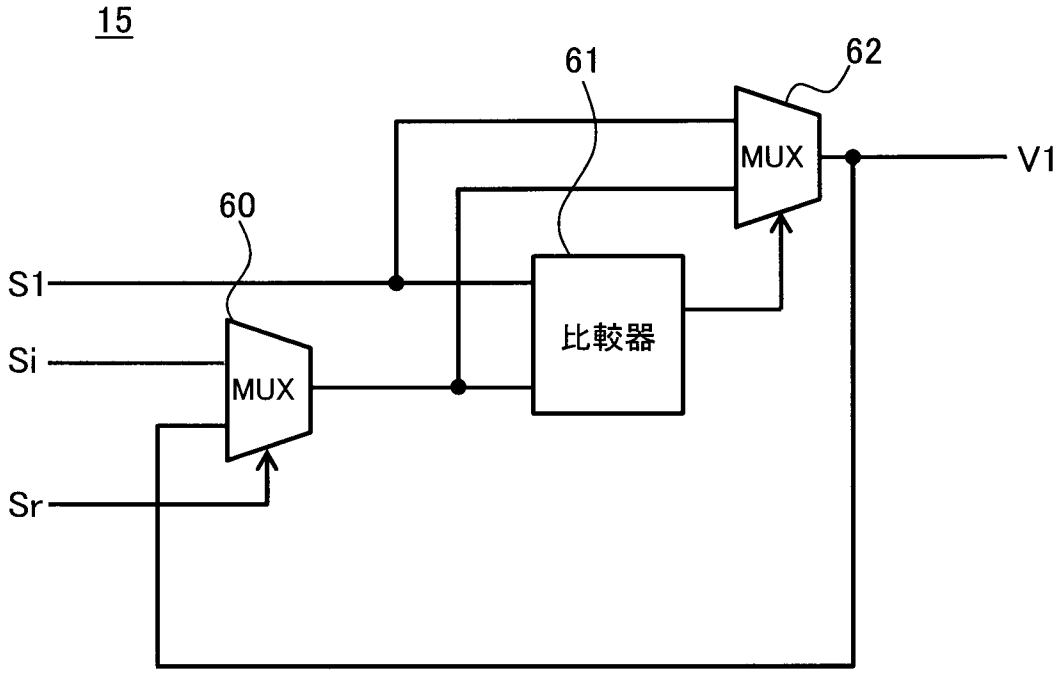
[図10]



[図11]


(a) 合成信号
S1
T1
V1
V3b
V3a
t
(b) 検出信号
S2
T2
T5
(c) 第1の論理信号
S31a
(d) 第2の論理信号
S31b
(e) 統合信号
S30
T3
t0
t10
t11
t12
t13
(f) タイミング情報D3
0 0 1 0 1 0 0 0 0 0
t

[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/009228

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. G01C3/06(2006.01)i, G01S7/487(2006.01)i, G01S17/10(2006.01)i, H01L31/10(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. G01C3/06, G01S7/487, G01S17/10, H01L31/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019
Registered utility model specifications of Japan 1996-2019
Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-308357 A (SHARP CORP.) 09 November 2006, entire text, all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2008-020203 A (OMRON CORP.) 31 January 2008, entire text, all drawings & US 2008/0158042 A1 & EP 1879044 A1 & CN 101105531 A	1-10
A	JP 2011-226922 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 10 November 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2012-084877 A (KOREA ELECTRONICS TELECOMM) 26 April 2012, entire text, all drawings & US 2012/0085891 A1 & KR 10-2012-0035822 A	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22.03.2019	02.04.2019
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／００９２２８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01C3/06(2006.01)i, G01S7/487(2006.01)i, G01S17/10(2006.01)i, H01L31/10(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01C3/06, G01S7/487, G01S17/10, H01L31/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2006-308357 A (シャープ株式会社) 2006.11.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2008-020203 A (オムロン株式会社) 2008.01.31, 全文, 全図 & US 2008/0158042 A1 & EP 1879044 A1 & CN 101105531 A	1-10

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２２．０３．２０１９	０２．０４．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｓ　４６３７
齋藤　卓司
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2011-226922 A (日本電信電話株式会社) 2011.11.10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2012-084877 A (韓国電子通信研究院) 2012.04.26, 全文, 全図 & US 2012/0085891 A1 & KR 10-2012-0035822 A	1-10