

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7248132号
(P7248132)

(45)発行日 令和5年3月29日(2023.3.29)

(24)登録日 令和5年3月20日(2023.3.20)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 S 7/4865(2020.01) G 0 1 S 7/4865

請求項の数 9 (全23頁)

(21)出願番号	特願2021-543852(P2021-543852)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	令和1年9月4日(2019.9.4)	(74)代理人	100103894 弁理士 家入 健
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/034686	(72)発明者	野口 栄実 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開番号	WO2021/044534	審査官	渡辺 慶人
(87)国際公開日	令和3年3月11日(2021.3.11)		
審査請求日	令和4年2月18日(2022.2.18)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光測距装置及び光測距方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の位相変調部分と第2の位相変調部分との間に位相変化点を有する光パルスを生成する光パルス生成手段と、

前記生成した光パルスを送信する光送信手段と、

前記送信した光パルスにより測定対象物から反射した光パルスを受信する光受信手段と、

前記送信した光パルスの位相変化点と前記受信した光パルスの位相変化点とに基づいて、

前記測定対象物までの距離を算出する距離算出手段と、を備え、

前記第1の位相変調部分の位相は、時間に対して第1の傾きで変化し、前記第2の位相変調部分の位相は、時間に対して前記第1の傾きと異なる第2の傾きで変化する、

光測距装置。

【請求項2】

前記第1の位相変調部分の光信号は、第1の位相であり、前記第2の位相変調部分の光信号は、前記第1の位相と異なる第2の位相である、

請求項1に記載の光測距装置。

【請求項3】

前記第2の位相変調部分の光信号は、前記第1の位相変調部分の光信号の位相を反転した信号である、

請求項2に記載の光測距装置。

【請求項4】

前記受信した光パルスにおける前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の位相差により前記位相変化点を検出する位相変化点検出手段をさらに備える、

請求項 2 または 3 に記載の光測距装置。

【請求項 5】

前記受信した光パルスの位相を信号強度に変換する位相強度変換手段をさらに備え、

前記位相変化点検出手段は、前記信号強度の変化に基づいて前記位相変化点を検出する、請求項 4 に記載の光測距装置。

【請求項 6】

前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の一方の位相は、基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに増加し、前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の他方の位相は、前記基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに減少する、

請求項 1 に記載の光測距装置。

【請求項 7】

前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の一方の位相は、前記基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに単調増加し、前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の他方の位相は、前記基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに単調減少する、

請求項 6 に記載の光測距装置。

【請求項 8】

前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の一方の位相は、前記基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに第 1 の割合で増加し、前記第 1 の位相変調部分と前記第 2 の位相変調部分の他方の位相は、前記基準となる光源の光信号の位相に対して、時間とともに前記第 1 の割合と異なる第 2 の割合で減少する、

請求項 7 に記載の光測距装置。

【請求項 9】

第 1 の位相変調部分と第 2 の位相変調部分との間に位相変化点を有する光パルスを光パルス生成手段が生成し、

前記生成した光パルスを光送信手段が送信し、

前記送信した光パルスにより測定対象物から反射した光パルスを光受信手段が受信し、

前記送信した光パルスの位相変化点と前記受信した光パルスの位相変化点とに基づいて、前記測定対象物までの距離を距離算出手段が算出し、
前記第 1 の位相変調部分の位相は、時間に対して第 1 の傾きで変化し、前記第 2 の位相変調部分の位相は、時間に対して前記第 1 の傾きと異なる第 2 の傾きで変化する、

光測距方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光測距装置及び光測距方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光を用いて対象物までの距離を測定する光測距装置（LiDAR（Light Detection and Ranging）とも呼ばれる）が知られている。光測距装置は、遠隔から広範囲の対象物の距離を取得できるため、橋梁の歪み測定等によるインフラ設備の劣化診断及び予知や、山の斜面の歪み測定等による防災対策及び災害予知に利用されている。また、光測距装置は、暗闇でも広範囲にわたって障害物や不審物を検出及び特定できるため、空港の監視等、セキュリティ及び監視にも利用されている。さらに、光測距装置は、自動運転用のセンサーとしても注目され始めている。

【0003】

関連する技術として、例えば特許文献 1 が知られている。特許文献 1 には、ToF（Ti

10

20

30

40

50

me of Flight)方式の光測距装置が開示されている。ToF方式とは、光パルスを送信した後、対象物から反射した反射パルスを受信するまでの時間により、対象物の距離を測定する方式である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特表2014-522979号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記のように、関連する光測距装置では、ToF方式を採用することで様々な対象物の距離を測定している。しかしながら、関連する技術では、精度よく距離を測定することが困難であるという問題がある。

【0006】

本開示は、このような課題に鑑み、測距精度を向上することが可能な光測距装置及び光測距方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示に係る光測距装置は、第1の位相変調部分と第2の位相変調部分との間に位相変化点を有する光パルスを生成する光パルス生成手段と、前記生成した光パルスを送信する光送信手段と、前記送信した光パルスにより測定対象物から反射した光パルスを受信する光受信手段と、前記送信した光パルスの位相変化点と前記受信した光パルスの位相変化点とに基づいて、前記測定対象物までの距離を算出する距離算出手段と、を備えるものである。

【0008】

本開示に係る光測距方法は、第1の位相変調部分と第2の位相変調部分との間に位相変化点を有する光パルスを生成し、前記生成した光パルスを送信し、前記送信した光パルスにより測定対象物から反射した光パルスを受信し、前記送信した光パルスの位相変化点と前記受信した光パルスの位相変化点とに基づいて、前記測定対象物までの距離を算出するものである。

【発明の効果】

【0009】

本開示によれば、測距精度を向上することが可能な光測距装置及び光測距方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】ToF方式の測距原理を説明するための図である。

【図2】関連する技術における送受信信号を示すタイミングチャートである。

【図3】実施の形態に係る光測距装置の概要を示す構成図である。

【図4】実施の形態1に係る光測距方法を示すフローチャートである。

【図5】実施の形態1に係る光測距方法を示すタイミングチャートである。

【図6】実施の形態1に係る光測距装置の構成例を示す構成図である。

【図7】実施の形態1に係る光位相変調器の構成例を示す構成図である。

【図8】実施の形態1に係る光送受信ブロックの構成例を示す構成図である。

【図9】実施の形態1に係る送信信号を示すタイミングチャートである。

【図10】実施の形態1に係る送信信号の位相ベクトルを示す図である。

【図11】実施の形態1に係る送信信号の位相ベクトルを示す図である。

【図12】実施の形態1に係る受信信号を示すタイミングチャートである。

【図13】実施の形態2に係る光測距方法を示すフローチャートである。

【図14】実施の形態2に係る光測距方法を示すタイミングチャートである。

10

20

30

40

50

- 【図 1 5】実施の形態 2 に係る光測距装置の構成例を示す構成図である。
- 【図 1 6】実施の形態 2 に係る光位相変調器の構成例を示す構成図である。
- 【図 1 7】実施の形態 2 に係る送信信号を示すタイミングチャートである。
- 【図 1 8】実施の形態 2 に係る送信信号の位相ベクトルを示す図である。
- 【図 1 9】実施の形態 2 に係る送信信号の位相ベクトルを示す図である。
- 【図 2 0】実施の形態 2 に係る受信信号を示すタイミングチャートである。
- 【図 2 1】実施の形態 2 に係る受信信号を示すタイミングチャートである。
- 【図 2 2】実施の形態 2 に係る受信信号を示すタイミングチャートである。
- 【図 2 3】実施の形態 3 に係る光測距装置の構成例を示す構成図である。
- 【図 2 4】実施の形態 3 に係る位相変化点検出方法を示すフローチャートである。 10
- 【図 2 5】実施の形態 3 に係る受信信号を示すタイミングチャートである。
- 【図 2 6】実施の形態 4 に係る光測距装置の構成例を示す構成図である。
- 【図 2 7】実施の形態 4 に係る光パルス抽出方法を説明するための図である。
- 【図 2 8】その他の実施の形態に係る光パルスと位相の変化の例を示す図である。
- 【図 2 9】その他の実施の形態に係る光パルスと位相の変化の例を示す図である。
- 【図 3 0】その他の実施の形態に係る光パルスと位相の変化の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照して実施の形態について説明する。各図面においては、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略される。なお、構成図（ブロック図）に付された矢印は説明のための例示であり、信号の種類や方向を限定するものではない。 20

【0012】

（実施の形態に至る検討）

図 1 は、ToF方式の測距原理を示している。図 1 に示すように、ToF方式では、光測距装置が、送信光パルスを送信し、測定対象物から反射した反射光を受信し、送信光パルスの送信時刻と反射光に含まれる受信光パルスの到着時刻（受信時刻）とに基づいて、光測距装置から測定対象物までの距離 R を測定する。

【0013】

例えば、光測距装置は、パルス周期 T_p でパルス幅 T_w の送信光パルスを送信する。パルス周期やパルス幅は、測定用途や光測距装置の性能等に応じて設定される。送信光パルスの立ち上がり時刻 T_0 から受信光パルスの立ち上がり時刻 T_1 までのリターンパルス遅延時間を T_d とすると、距離 R は次の式（1）で求められる。ここで、 C は光速であり、リターンパルス遅延時間 T_d は約 6.6 ns/m の遅延時間となる。 30

【数 1】

$$R = \frac{C T_d}{2} \dots (1)$$

40

【0014】

図 2 は、関連する技術において実際に送受信される光パルスの例を示している。図 2 に示すように、実際に受信される受信光パルスは、測定対象物の反射面の状態や測定環境などによってノイズや歪みが生じる。なお、ここでは、理解を容易にするため、受信光パルスと送信光パルスの光強度を同程度として示しているが、実際の測定環境においては、受信光パルスの強度は送信光パルスの強度よりも大きく減衰する。以降の図面でも同様である。

【0015】

図 2 の例では、受信光パルス 901 は、波形の歪みが小さい例であり、光強度が大きく 50

、パルスの立ち上がりが急峻である。受信光パルス 902 は、受信光パルス 901 よりも波形が歪み、2つの凸部を有する例であり、光強度が受信光パルス 901 の半分程度であり、パルスの立ち上がりが受信光パルス 901 よりも緩やかである。受信光パルス 903 は、受信光パルス 902 よりも波形が歪んでいる例であり、光強度が受信光パルス 901 の 1/3 程度であり、パルスの立ち上がりが受信光パルス 902 よりもさらに緩やかである。

【0016】

関連する技術では、受信光パルスの到着時刻を閾値 t_h により検出している。この閾値 t_h を到着時刻の基準とすると、受信光パルス 901 の到着時刻は T_{901} となり、受信光パルス 902 の到着時刻は T_{901} より遅れた T_{902} となり、受信光パルス 903 の到着時刻は T_{902} よりさらに遅れた T_{903} となる。そうすると、この到着時刻のバラツキによりリターンパルス遅延時間 T_d が変わるため、求められる距離に誤差が生じる。すなわち、受信光パルスを検出するために単純に閾値を設定するだけでは、受信光パルスの波形によって到達判定時刻にバラツキが生じることから測距誤差となる。このため、関連する技術のように光パルスの強度を検出する方式では、ノイズや波形歪みに弱く、測距誤差が大きい。

10

【0017】

このように、関連する技術では、測定対象物に照射した送信光パルスと測定対象物から反射した受信光パルスとの遅延差を測定する T o F 方式の光測距装置において、測距誤差を抑えることが困難であるという問題がある。すなわち、関連する技術では、受信光パルスの強度波形が測定対象物の反射条件やノイズ等の影響により乱れると、到達時刻の判定にバラツキが生じて正確な遅延時間の測定が困難となることから、測距誤差を抑えることができない。そこで、以下の実施の形態では、波形歪みやノイズが重畳された受信光パルスに対し、その到達時刻をより正確に測定することを可能とする。

20

【0018】

(実施の形態の概要)

図3は、実施の形態に係る光測距装置の概要を示している。図3に示すように、実施の形態に係る光測距装置 10 は、光パルス生成部 11、光送信部 12、光受信部 13、距離算出部 14 を備えている。

【0019】

光パルス生成部 11 は、第1の位相変調部分と第2の位相変調部分との間に位相変化点を有する光パルス(送信光パルス)を生成する。光送信部 12 は、光パルス生成部 11 が生成した光パルスを送信する。光受信部 13 は、光送信部 12 が送信した光パルスにより測定対象物から反射した光パルス(受信光パルス)を受信する。距離算出部 14 は、送信した光パルスの位相変化点と受信した光パルスの位相変化点とに基づいて、光測距装置 10 から測定対象物までの距離を算出する。

30

【0020】

このように、位相変化点を有する光パルスを送受信し、送信光パルスの位相変化点と受信光パルスの位相変化点とに基づいて測定対象物の距離を算出することにより、受信光パルスのノイズや波形歪みによる測距誤差を抑えることができるため、測距精度を向上することができる。すなわち、信号の位相情報は振幅(強度)方向のノイズに対して耐性があることから、関連技術で用いられる強度情報に基づく T o F 時間測定と比較して、高精度に時間を測定することが可能となり、測距精度を向上することができる。

40

【0021】

(実施の形態1)

以下、図面を参照して実施の形態1について説明する。本実施の形態では、送信光パルスに位相変調をかけ、この位相の変わり目を受信光パルスのタイミング抽出に使用する。特に、送信側で送信光パルスを前半部分と後半部分に分けて各々位相の異なる変調をかけ、受信側で受信光パルスの前半部分と後半部分の位相の切替わり時刻を抽出して T o F 時間とする。

50

【 0 0 2 2 】

図 4 及び図 5 は、本実施の形態に係る光測距方法を示している。図 4 に示すように、本実施の形態では、光測距装置の送信側で、異なる位相の位相変調により送信光パルスを生成し (S 1 0 1)、生成した送信光パルスを測距信号光として送信する (S 1 0 2)。図 5 に示すように、前半部分の領域 # 1 (第 1 の位相変調部分) と後半部分の領域 # 2 (第 1 の位相変調部分) で各々異なる位相の位相変調をかけて送信光パルス p t を生成する。例えば、送信光パルス p t は、領域 # 1 の光位相が 0 (第 1 の位相) であり、領域 # 2 の光位相が 1 (第 1 の位相と異なる第 2 の位相) であり、光位相 0 から光位相 1 に切り替わる点が位相変化点 c 1 となる。

【 0 0 2 3 】

続いて、図 4 に示すように、光測距装置の受信側で、測定対象物からの反射光を受信し (S 1 0 3)、受信した反射光に含まれる受信光パルスの位相変化点を受信光パルスの位相差から抽出し (S 1 0 4)、送信光パルス及び受信光パルスの位相変化点の時刻に基づき測定対象物の距離を算出する (S 1 0 5)。図 5 に示すように、受信光パルス p r の前半部分の領域 # 1 と後半部分の領域 # 2 の位相の切替わる位相変化点 c 2 を抽出する。例えば、光位相雑音による不定な位相オフセットを n o i s e とすると、領域 # 1 の光位相は $0 + n o i s e$ となり、領域 # 2 の光位相は $1 + n o i s e$ となる。この領域 # 1 と領域 # 2 の光位相差 ($0 - 1$) から位相変化点 c 2 を抽出する。さらに、送信光パルス p t の位相変化点 c 1 の時刻 T 1 0 から受信光パルス p r の位相変化点 c 2 の時刻 T 1 1 までのリターンパルス遅延時間 T d により測定対象物の距離を求める。

【 0 0 2 4 】

受信光パルスでは光源の位相揺らぎによる位相の時間変動が生じるが、これらの時間変動はゆるやかである。このため、本実施の形態では、受信光パルスの前半部分と後半部分の位相差 ($0 - 1$) を抽出することで、光源の位相揺らぎによる n o i s e をキャンセルすることができる。また、受信光パルスの波形が歪んでも、光の位相情報は保持されるため、振幅方向の雑音に強く、到達時刻のバラツキを抑えることが可能となり、測距精度が向上する。

【 0 0 2 5 】

図 6 は、本実施の形態に係る光測距装置の構成を示している。なお、図 6 の構成は、一例であり、上記本実施の形態に係る光測距方法を実施できれば、その他の構成であってもよい。例えば、その他のコヒーレント光送受信装置でもよい。

【 0 0 2 6 】

図 6 に示すように、本実施の形態に係る光測距装置 1 0 0 は、光源装置 1 0 1、変調信号生成部 1 0 2、光強度位相変調器 1 0 3、光送信部 1 0 4、光受信部 1 0 5、光源装置 1 0 6、コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7、A D C 1 0 8、位相差抽出部 1 0 9、受信時刻抽出部 1 1 0、距離算出部 1 1 1 を備えている。例えば、光源装置 1 0 1、変調信号生成部 1 0 2、光強度位相変調器 1 0 3 が、光パルスを生成する光測距パルス生成部 (光パルス生成部) 1 2 0 を構成する。また、光測距パルス生成部 1 2 0 と光送信部 1 0 4 が光測距装置 1 0 0 の送信部 (送信側) を構成し、光受信部 1 0 5、光源装置 1 0 6、コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7、A D C 1 0 8、位相差抽出部 1 0 9、受信時刻抽出部 1 1 0、距離算出部 1 1 1 が光測距装置 1 0 0 の受信部 (受信側) を構成する。

【 0 0 2 7 】

光源装置 1 0 1 は、送信光パルスを生成するための光源 r 0 (例えば周波数 f 0) を生成するレーザ等の光源装置である。変調信号生成部 1 0 2 は、送信光パルスの前半部分と後半部分で異なる位相の変調をかけるための位相変調信号 m 0 を生成する。また、変調信号生成部 1 0 2 は、位相を切り替えるタイミングで送信トリガ信号 T r を出力する。

【 0 0 2 8 】

光強度位相変調器 1 0 3 は、位相変調信号 m 0 に基づき、光源 r 0 に強度変調ならびに位相変調をかけた送信光パルスを生成し、送信光パルスを含む送信光信号 p 0 を出力する。光強度位相変調器 1 0 3 は、例えば、M Z (Mach-Zehnder) 型光変調器や M Z 型 I Q

10

20

30

40

50

光変調器である。

【 0 0 2 9 】

図 7 は、本実施の形態に係る光強度位相変調器 1 0 3 の一例を示している。例えば、光強度位相変調器 1 0 3 は、MZ 型光変調器であり、入力光導波路 2 0 1 と出力光導波路 2 0 4 の間に分岐導波路であるアーム 2 0 2 及びアーム 2 0 3 を備え、アーム 2 0 2 とアーム 2 0 3 の間に位相変調電極 2 0 5 を備えている。入力光導波路 2 0 1 に入力された光信号 (r 0) が、アーム 2 0 2 とアーム 2 0 3 により分波され、さらに合波された光信号 (p 0) が出力光導波路 2 0 4 から出力される。位相変調電極 2 0 5 に位相変調信号 m 0 が入力されると、位相変調信号 m 0 の電圧に応じてアーム 2 0 2 とアーム 2 0 3 の屈折率が変わり、出力光導波路 2 0 4 から出力される光信号の位相が変わる。アーム 2 0 2 とアーム 2 0 3 の光信号の位相が同じ場合、干渉により強め合った光信号が出力される。アーム 2 0 2 とアーム 2 0 3 の光信号の位相が 1 8 0 ° の場合、干渉によりキャンセルされて光信号の出力がゼロになる。

10

【 0 0 3 0 】

図 6 において、光送信部 1 0 4 は、送信光パルスを含む送信光信号 p 0 を測距信号光として送信する。光送信部 1 0 4 は、レンズ等の送信光学系であり、送信光信号 p 0 を平行光として測定対象物へ放射する。光受信部 1 0 5 は、測定対象物から反射した反射光を受信し、受信光パルスを含む受信光信号 p 1 を出力する。光受信部 1 0 5 は、光送信部 1 0 4 と同様に、レンズ等の受信光学系である。

なお、光送信部 1 0 4 及び光受信部 1 0 5 の光学系を含む光送受信ブロック 1 3 0 は、図 6 では、それぞれ送信側ならびに受信側で独立した光学系を構成する例で示しているが、それに限らない。例えば、図 8 に示すように、光送受信ブロック 1 3 0 は、光送受信部 1 3 1 とサーキュレータ 1 3 2 を備えていてもよい。すなわち、送受信同一の光学系を用いて、送信信号と受信信号はサーキュレータを用いて分離する構成でも良い。この場合、サーキュレータの光学特性や、レンズ部分の内部反射などで、送信側から受信側へのクロストークが生じる反面、送受信で同一の光学系を用いていることから、光軸調整が不要となるという利点が得られる。

20

【 0 0 3 1 】

光源装置 1 0 6 は、受信光信号 p 1 と干渉させるための参照光 r 1 を生成するレーザ等の光源装置である。光源装置 1 0 6 は、送信側の光源装置 1 0 1 と同じ装置であり、参照光 r 1 は、送信側の光源 r 0 と同じ周波数 (例えば f 0) の光信号である。また、光源装置 1 0 6 の代わりに、送信側の光源装置 1 0 1 の光を分岐して参照光 r 1 としてもよい。

30

【 0 0 3 2 】

コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7 は、受信光パルスを含む受信光信号 p 1 と参照光 r 1 を干渉させて、I Q 受信信号 m 1 を生成する。I Q 受信信号 m 1 は、参照光 r 1 に対し同相成分の信号 (m 1 (I)) と直交成分の信号 (m 1 (Q)) を含む。コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7 は、光干渉系 1 0 7 a 及び光 / 電変換器 1 0 7 b を有する。光干渉系 1 0 7 a は、受信光信号 p 1 と参照光 r 1 を干渉させて、同相成分の光信号 p 2 (I) と直交成分の光信号 p 2 (Q) を含む干渉光信号 p 2 を生成する。光 / 電変換器 1 0 7 b は、干渉光信号 p 2 の同相成分及び直交成分をそれぞれ光電変換して I Q 受信信号 m 1 を生成する。なお、コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7 には、一般的なデジタルコヒーレント光通信で用いられる 9 0 ° ハイブリットミキサーおよびバランストレーサからなるコヒーレント I Q 光受信機を用いることが可能であり、これにより光通信と同様な原理で、送信側から送った信号を受信側で復調することが可能となる。

40

【 0 0 3 3 】

A D C 1 0 8 は、光電変換された I Q 受信信号 m 1 を A D 変換する A D 変換器 (Analog-to-digital converter) である。位相差抽出部 (位相変化点検出部) 1 0 9 は、A D 変換された I Q 受信信号 m 1 に基づいて受信光パルスの位相差を抽出し、その位相差から位相変化点を検出する。ここでは、位相差抽出部 1 0 9 は、I Q 受信信号 m 1 の信号強度の変化に基づいて位相変化点を検出する。受信時刻抽出部 1 1 0 は、検出された受信光パルス

50

の位相変化点の時刻により、受信光パルスの受信時刻（到達時刻）を特定する。距離算出部 111 は、送信光パルスの位相変化点の時刻と受信光パルスの位相変化点の時刻から測定対象物の距離を算出する。距離算出部 111 は、送信光パルスの位相変化点のタイミングを示す送信トリガ信号 T_r の送信時刻と受信光パルスの位相変化点の受信時刻との時間差に基づき、測定対象物の距離を算出する。

【0034】

図 9 は、図 6 の光測距装置 100 における送信側の信号の具体例を示している。送信側の光源装置 101 は、図 9 に示すように、光周波数 f_0 の光源 r_0 を生成する。なお、図 9 は、簡略化のため、光周波数 f_0 の光信号を模式的に示しており、以降の図面でも同様である。

【0035】

変調信号生成部 102 は、図 9 に示すように、領域 # 1 と領域 # 2 でレベルの異なる位相変調信号 m_0 を生成する。この例では、領域 # 1 の電圧は V であり、領域 # 2 の電圧は $-V$ である。例えば、 V は光源 r_0 と同じ位相（位相 0° ）の光信号を生成するための電圧であり、 $-V$ は光源 r_0 と逆の位相（位相 180° ）の光信号を生成するための電圧である。領域 # 1 及び領域 # 2 以外の部分は、 V と $-V$ の中間電圧である。図 7 の光強度位相変調器 103 の場合、 V はアーム 202 及びアーム 203 の光信号の位相を 0° とする電圧であり、 $-V$ はアーム 202 の光信号の位相を 180° にするとともにアーム 203 の光信号の位相を -180° とする電圧であり、中間電圧は、アーム 202 の光信号の位相を 90° にするとともにアーム 203 の光信号の位相を -90° とする電圧である。すなわち、 V は両アームの光信号が位相 0° の信号として強め合う電圧であり、 $-V$ は両アームの光信号が位相 180° （ $= -180^\circ$ ）の信号として強め合う電圧であり、中間電位は両アームの光信号が 90° と -90° となってキャンセルする電圧である。

【0036】

光強度位相変調器 103 は、図 9 に示すように、位相変調信号 m_0 にしたがって送信光パルス p_t を生成する。送信光パルス p_t の領域 # 1 の部分は、位相変調信号 m_0 の領域 # 1 の電圧 V に応じて、位相 0° （ 0 ）の光信号となる。この領域 # 1 の位相ベクトルは、図 10 のように実軸上の 0° 方向のベクトルとなる。また、送信光パルス p_t の領域 # 2 の部分は、位相変調信号 m_0 の領域 # 2 の電圧 $-V$ に応じて、位相 180° （ 1 ）の光信号（領域 # 1 の反転信号）となる。この領域 # 2 の位相ベクトルは、図 11 のように実軸上の 180° 方向のベクトルとなる。領域 # 1 と領域 # 2 の境界で、位相切り替わって反転する点が位相変化点 c_1 となる。領域 # 1 及び領域 # 2 以外の部分は、位相変調信号 m_0 の中間電圧に応じて、光信号が出力されない。光送信部 104 は、この送信光パルス p_t を含む送信光信号 p_0 を送信する。送信光信号 p_0 の光強度は、 p_01 の破線で示すように、パルス形状となる。なお、ここでは、一例として、領域 # 1 の位相を 0° 、領域 # 2 の位相を 180° としているが、領域 # 1 と領域 # 2 の位相が異なっていれば、その他の任意の位相でもよい。

【0037】

図 12 は、図 6 の光測距装置 100 における受信側の信号の具体例を示している。受信側の光源装置 106 は、図 12 に示すように、送信側と同じ光周波数 f_0 の参照光 r_1 を生成する。あるいは、上記したように、送信側の光源装置 101 の光を分岐して参照光 r_1 としてもよい。

【0038】

光受信部 105 は、図 12 に示すように、受信光パルス p_r を含む受信光信号 p_1 を受信する。ここでは、説明簡略化のため、送信信号と位相が同一の理想的な受信光パルスが受信された場合について示した。受信光パルス p_r の領域 # 1 の部分は、位相 0 （ 0° ）の光信号であり、受信光パルス p_r の領域 # 2 の部分は、位相 1 （ 180° ）の光信号である。

【0039】

10

20

30

40

50

コヒーレントIQ光受信機107の光干渉系107aは、図12に示すように、デジタルコヒーレント光通信で用いられる一般的なコヒーレントIQ受信の原理に従って、受信光信号p1と参照光r1を干渉させて、IQ受信信号m1を生成する。ここでは、理想的な受信信号を受信した場合を示していることから、受信信号の同相成分m1(I)は、領域#1と領域#2の出力振幅が変化する。また、受信信号の直交成分は存在しないので、m1(Q)は出力されない。このとき、IQ受信信号m1を複素信号として $m1 = m1(I) + jm1(Q)$ (jは虚数単位)と表すと、その複素信号の位相は $\text{atan}(m1(Q)/m1(I))$ として算出することが可能となり、図12の最下段に示すように領域#1は0°、領域#2は180°の位相信号が得られる。それ以外は、受信信号は無信号となるため、位相は不定である。このように、領域#1と領域#2の境界でIQ受信信号m1の位相が0°から180°に大きく変化する点が位相変化点c2となる。

10

【0040】

なお、図12では、理想的な受信信号のタイミングチャートを示したが、実際には、光源の位相雑音や、反射対象物までの距離などによって、受信信号の位相と参照光r1の位相関係(相対位相)は不定である。この位相差をnoiseと表すとする。このような場合、受信光信号には同相成分と直交成分が存在することとなり、コヒーレントIQ光受信機の原理に従って、m1(I)とm1(Q)の両成分が出力されることになるが、ここでも、IQ受信信号m1の位相情報は、 $\text{atan}(m1(Q)/m1(I))$ として算出することができる。この時、noiseは光源位相雑音などにより変動するが、その時定数は大きく、ゆるやかな変動であるため(例えばkHzオーダー)、領域#1と領域#2を合わせたパルス幅が時間的に十分短ければ、領域#1と領域#2ではnoiseは一定とみなせる。従って、IQ受信信号m1の位相は、領域#1では $0 + \text{noise}$ 、領域#2では $1 + \text{noise}$ となり、領域#1と領域#2の位相差分を求めると、noiseがキャンセルされて $0 - 1$ となり、IQ受信信号m1の位相変化が180°変化する点を位相変化点c2として検出することが可能となる。

20

【0041】

位相差抽出部109は、図12に示されたIQ受信信号m1に基づき、受信光パルスの位相差を抽出し、位相変化点を検出する。例えば、IQ受信信号m1の位相が所定の値よりも大きく変化する点を位相変化点c2として検出する。距離算出部111は、図9に示した送信光パルスの位相変化点c1の時刻と、図12に示した受信光パルスの位相変化点c2の時刻から測定対象物の距離を算出する。

30

【0042】

以上のように、本実施の形態では、ToF方式の光測距装置及び光測距方法において、送信光パルスの2つの領域に異なる位相で位相変調をかけて送信し、受信した受信光パルスに含まれる位相差情報を抽出し、位相変化点を検出することで測定対象物の距離を測定するようにした。これにより、受信光パルスに振幅方向の雑音や大きな波形歪みがあっても、高精度に到達時刻を測定することが可能となり、測距精度を向上することができる。

なお、本実施の形態では受信側にコヒーレントIQ光受信機を用いたが、同様に光通信で用いられる遅延検波方式の光受信機を用いることもできる。これは、現在の受信光信号と、ある遅延時間を持たせた受信光信号とを干渉させて、その位相差を検出することが可能な光受信機である。このような光受信機を用いて、遅延時間が領域#1と同程度になるよう適切な遅延検波を行うことにより、領域#1の受信光信号と領域#2の受信光信号とを干渉させて、その位相差を検出することができる。これにより領域#1と領域#2の位相変化点を抽出することができる。

40

【0043】

(実施の形態2)

以下、図面を参照して実施の形態2について説明する。本実施の形態では、実施の形態1の光測距装置及び光測距方法において、単調増加する位相と単調減少する位相により送信光パルスに位相変調をかける。基本的な構成及び動作は、実施の形態1と同様である。

【0044】

50

図 1 3 及び図 1 4 は、本実施の形態に係る光測距方法を示している。図 1 3 に示すように、本実施の形態では、光測距装置の送信側で、正の周波数オフセット及び負の周波数オフセットを用いた変調により送信光パルス p_t を生成し (S 2 0 1)、生成した送信光パルスを測距信号光として送信する (S 2 0 2)。図 1 4 に示すように、送信光パルス p_t の前半部分の領域 # 1 では、正の周波数オフセット (第 1 の周波数オフセット) を印加することで位相が単調増加 (時間に対し第 1 の傾きで変化) するように変調をかけ、送信光パルス p_t の後半部分の領域 # 2 では、負の周波数オフセット (第 2 の周波数オフセット) を印加することで位相が単調減少 (時間に対し第 2 の傾きで変化) するように変調をかける。例えば、参照光の周波数 (参照周波数) を f_0 、周波数オフセットを f_1 とし、領域 # 1 の光周波数を $f_0 + f_1$ とし、領域 # 2 の光周波数を $f_0 - f_1$ とする。送信光パルス p_t において、光周波数 $f_0 + f_1$ により単調増加する位相から、光周波数 $f_0 - f_1$ により単調減少する位相に切り替わる点が位相変化点 c_1 となる。周波数オフセット f_1 は、特に限定されないが、例えば 1 0 0 M H z ~ 2 0 0 M H z である。

【 0 0 4 5 】

続いて、図 1 3 に示すように、光測距装置の受信側で、測定対象物からの反射光を受信し (S 2 0 3)、受信した反射光に含まれる受信光パルスの位相変化点を受信光パルスの位相の増減傾向から抽出し (S 2 0 4)、送信光パルスと受信光パルスの位相変化点の時刻に基づき測定対象物の距離を算出する (S 2 0 5)。図 1 4 に示すように、受信光パルス p_r の前半部分の領域 # 1 と後半部分の領域 # 2 の位相の増減傾向 (傾き) が切替わる位相変化点 c_2 を抽出する。例えば、受信光パルス p_r では、領域 # 1 の位相が光周波数 $f_0 + f_1$ により単調増加し、領域 # 2 の位相が光周波数 $f_0 - f_1$ により単調減少しており、位相が単調増加から単調減少に切り替わる点を検出する。また、実施の形態 1 と同様に、送信光パルス p_t の位相変化点 c_1 の時刻 T_{10} と受信光パルス p_r の位相変化点 c_2 の時刻 T_{11} から測定対象物の距離を求める。

【 0 0 4 6 】

本実施の形態では、受信光パルスの前半部分と後半部分の変わり目付近の信号が乱れても、前半部分の位相増分と後半部分の位相減分から前半後半の変わり目を予測できるため、さらに雑音や波形歪みによる影響を抑え、測距精度を向上することができる。

【 0 0 4 7 】

図 1 5 は、本実施の形態に係る光測距装置の構成を示している。図 1 5 に示すように、本実施の形態に係る光測距装置 1 0 0 は、実施の形態 1 と同様に、光源装置 1 0 1、変調信号生成部 1 0 2、光強度位相変調器 1 0 3、光送信部 1 0 4、光受信部 1 0 5、光源装置 1 0 6、コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7、A D C 1 0 8、受信時刻抽出部 1 1 0、距離算出部 1 1 1 を備えており、実施の形態 1 における位相差抽出部 1 0 9 の代わりに、受信パルス検出部 1 1 2 及び位相検出部 1 1 3 を備えている。

【 0 0 4 8 】

本実施の形態では、光強度位相変調器 1 0 3 は、位相変調信号 m_0 (I、Q) に基づいて光源 r_0 に単調増加または単調減少する位相変調をかけ、送信光パルスを含む送信光信号 p_0 を生成する。光強度位相変調器 1 0 3 は、例えば、M Z 型 I Q 光変調器である。

【 0 0 4 9 】

図 1 6 は、本実施の形態に係る光強度位相変調器 1 0 3 の一例を示している。例えば、光強度位相変調器 1 0 3 は、M Z 型 I Q 光変調器であり、入力光導波路 2 0 1 と出力光導波路 2 0 4 の間に、光変調部 2 0 0 a と光変調部 2 0 0 b が並列に配置されている。光変調部 2 0 0 a と光変調部 2 0 0 b は、M Z 型光変調器である。

【 0 0 5 0 】

光変調部 2 0 0 a は、同相方向に位相変調をかける位相変調部である。光変調部 2 0 0 a は、位相変調電極 2 0 1 a を有し、位相変調電極 2 0 1 a に入力される位相変調信号 m_0 (I) の電圧に応じて、入力された光信号に対し同相方向の正側または負側に位相変調をかける。光変調部 2 0 0 b は、直交方向に位相変調をかける位相変調部である。光変調部 2 0 0 b は、位相変調電極 2 0 1 b を有し、位相変調電極 2 0 1 b に入力される位相変

10

20

30

40

50

調信号 $m_0(Q)$ の電圧に応じて、入力された光信号に対し直交方向の正側または負側に位相変調をかける。光変調部 200a により同相方向に位相変調された光信号と光変調部 200b により直交方向に位相変調された光信号を合波することで、任意の位相に変調された光信号を生成できる。例えば、 $\exp(j2\pi f_0 t)$ の光信号 (r_0) を入力し、 $\cos(2\pi f_1 t)$ の位相変調信号 $m_0(I)$ と $\sin(2\pi f_1 t)$ の位相変調信号 $m_0(Q)$ を入力すると、 $\exp\{j2\pi(f_0 + f_1)t\}$ の光信号 (p_0) が出力される。

【0051】

図15において、受信パルス検出部(光パルス抽出部)112は、AD変換されたIQ受信信号 m_1 の光強度に基づき、受信信号の受信光パルス部分のみを抽出する。位相検出部113は、抽出された信号から受信光パルスの位相を検出する。受信時刻抽出部(位相変化点検出部)110は、検出された受信光パルスの位相が単調増加から単調減少に切り替る位相変化点を検出し、その時刻を抽出する。

10

【0052】

図17は、図15の光測距装置100における送信側の信号の具体例を示している。送信側の光源装置101は、図17に示すように、実施の形態1と同様、光周波数 f_0 の光源 r_0 を生成する。

【0053】

変調信号生成部102は、図17に示すように、領域#1と領域#2で位相の傾きが異なるように変調するための位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ を生成する。例えば、領域#1では、位相変調信号 $m_0(I)$ の位相と位相変調信号 $m_0(Q)$ の位相が 90° ずれている。別の言い方をすれば、位相変調信号 $m_0(I)$ に対して位相変調信号 $m_0(Q)$ 信号は位相が 90° 遅れている。領域#2では、位相変調信号 $m_0(I)$ の位相は、領域#1と同じであり、位相変調信号 $m_0(Q)$ の位相は、領域#1より反転している(180° ずれている)。別の言い方をすれば、位相変調信号 $m_0(I)$ に対して位相変調信号 $m_0(Q)$ 信号は位相が 90° 進んでいる。そうすると、位相変調信号 m_0 の位相は、図17に示すように、領域#1では時間とともに単調増加し、領域#2では時間とともに単調減少する。位相が、時間とともに単調増加する(もしくは増加する)、あるいは時間とともに単調減少する(もしくは減少する)とは、位相が、基準となる光源 r_0 の光信号の位相に対して、時間とともに単調増加する(もしくは増加する)、あるいは時間とともに単調減少する(もしくは減少する)ことである。なお、領域#1及び領域#2以外の部分は消光しており、位相は不定となる。

20

30

【0054】

例えば、図16の光強度位相変調器103の光変調部200a及び200bに、この位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ が入力されると、図17に示すような送信光パルス p_t が生成される。生成される送信光パルス p_t の領域#1の部分は、位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ により位相が単調増加する光信号となり、この光信号の周波数は参照光の周波数 f_0 に周波数オフセット f_1 を加えた $f_0 + f_1$ となる。この領域#1の位相ベクトルは、図18のように、位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ の位相によって、換言すると、周波数オフセット($+f_1$)によって、複素平面上を時間とともに左回りに回転するベクトルとなる。また、送信光パルス p_t の領域#2の部分は、位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ により位相が単調減少する光信号となり、この光信号の周波数は参照光の周波数 f_0 から周波数オフセット f_1 を減じた $f_0 - f_1$ となる。この領域#2の位相ベクトルは、図19のように、位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ の位相によって、換言すると、周波数オフセット($-f_1$)によって、複素平面上を時間とともに右回りに回転するベクトルとなる。

40

【0055】

図20~図22は、図15の光測距装置100における受信側の信号の具体例を示している。図20は、理想的な受信信号の例である。図20に示すように、理想的な受信信号は、図17で示した送信側と同じ波形の信号となる。ここでも、実施の形態1で記載した

50

とおり、デジタルコヒーレント光通信で用いられるコヒーレント I Q 光受信機の原理に基づき、受信側でも送信側と同じ信号が復調される。

【 0 0 5 6 】

従って、理想的には、コヒーレント I Q 光受信機 1 0 7 から出力される I Q 受信信号 $m_1(I)$ 及び $m_1(Q)$ は、送信側の位相変調信号 $m_0(I)$ 及び $m_0(Q)$ と同じ波形となる。つまり、受信光パルス p_r は、送信光パルス p_t と同様、領域 # 1 では、I Q 受信信号 $m_1(I)$ に対し I Q 受信信号 $m_1(Q)$ が 90° ずれており、領域 # 2 では、I Q 受信信号 $m_1(I)$ が領域 # 1 と同相で、I Q 受信信号 $m_1(Q)$ が領域 # 1 よりも反転している。別の言い方をすれば、領域 # 1 では、I Q 受信信号 $m_1(I)$ に対して I Q 受信信号 $m_1(Q)$ 信号は位相が 90° 遅れた信号となり、領域 # 2 では、I Q 受信信号 $m_1(I)$ に対して I Q 受信信号 $m_1(Q)$ 信号は位相が 90° 進んだ信号となる。

10

【 0 0 5 7 】

この I Q 受信信号 m_1 の光強度は、図 2 0 に示すように、時刻 T_{20} から T_{21} まで一定レベルのパルス波形となり、受信パルス検出部 1 1 2 は、所定の閾値を超える範囲を検出することで、時刻 T_{20} から T_{21} までのパルス領域を検出する。位相検出部 1 1 3 は、図 2 0 のように、検出したパルス領域の時刻 T_{20} から T_{21} までの範囲で、I Q 受信信号 m_1 の位相を検出する。検出された位相は、送信側と同様、領域 # 1 で時間とともに単調増加し、領域 # 2 で時間とともに単調減少する。受信時刻抽出部 1 1 0 は、この I Q 受信信号 m_1 の位相の変化（傾きの変化）に基づいて位相変化点 c_2 を検出する。この例では位相が単調増加から単調減少に切り替わる点を位相変化点 c_2 として検出する。また、受信時刻抽出部 1 1 0 は、位相の一番大きい頂点（最大値）を位相変化点として検出してもよい。例えば、領域 # 1 の位相が単調減少し、領域 # 2 の位相が単調増加する場合、位相の一番小さい頂点（最小値）を位相変化点として検出してもよい。

20

【 0 0 5 8 】

図 2 1 は、実際に受信される受信信号の例である。図 2 1 に示すように、実際の受信信号は、図 2 0 の理想的な受信信号に対し、パルス形状がなまったり、雑音が重畳したりするため波形が乱れる。

【 0 0 5 9 】

すなわち、I Q 受信信号 $m_1(I)$ 及び $m_1(Q)$ は、理想的な信号よりも全体的に乱れた信号となる。この I Q 受信信号 m_1 の光強度は、図 2 1 に示すように、上下に乱れた波形となるが、所定の閾値により、時刻 T_{20} から T_{21} までのパルス領域を検出することが可能である。この時刻 T_{20} から T_{21} までの範囲で、I Q 受信信号 m_1 の位相を検出すると、多少揺らぎつつも、領域 # 1 では単調増加し、領域 # 2 では単調減少する。このように、実際の受信信号の光強度は大きく乱れるが、位相情報については、雑音に対して耐性があり、乱れが少ないため、位相変化点 c_2 を精度よく検出することができる。

30

【 0 0 6 0 】

図 2 2 は、図 2 1 で示した実際の受信信号を A D 変換したサンプリング信号の例である。図 2 2 に示すように、実際の I Q 受信信号 m_1 を A D C 1 0 8 で A D 変換すると、離散時間サンプリングとなるため、サンプリング間隔ごとに離散的なデータとなる。そうすると、図 2 2 のように、位相検出部 1 1 3 が I Q 受信信号 m_1 から検出する位相も離散的な値になるため、位相変化点（位相の切替り点）が正確に判定できない場合がある。そこで、図 2 2 の拡大図で示すように、受信時刻抽出部 1 1 0 において、単調増加領域（領域 # 1）と単調減少領域（領域 # 2）の各位相データから単調増加の位相の傾きを近似する近似直線 L_1 （第 1 の近似線）と単調減少の位相の傾きを近似する近似直線 L_2 （第 2 の近似線）を導出する。そして、この近似直線 L_1 及び L_2 を外挿してその交点を求めることで、本来の位相変化点 c_2 を推測する。これにより、位相変化点 c_2 にサンプリング点が無い場合でも、位相変化点 c_2 を推測できるため、位相情報の雑音による影響を抑えることができる。なお、外挿する近似線は、一直線に限らず、曲線を含んでもよいし、途中で折れ曲がってもよい。

40

【 0 0 6 1 】

50

以上のように、本実施の形態では、単調増加する位相と単調減少する位相により送信光パルスに位相変調をかけることで、精度よく受信光パルスの位相変化点を検出することができる。また離散的なサンプリング受信信号であっても、サンプリング時間以下の時間精度で、到達時刻を測定することが可能となり、測距精度を向上できる。

【0062】

(実施の形態3)

実施の形態3では、実施の形態2における具体例についてさらに説明する。図23は、本実施の形態に係る光測距装置の構成例を示している。例えば、図23に示すように、光測距装置100は、実施の形態2に構成に加えて、必要に応じてBPF114を備えていてもよい。BPF114は、IQ受信信号の雑音を除去する雑音除去フィルタである。

10

【0063】

図24は、本実施の形態に係る光測距装置の受信側における位相変化点の具体的な抽出フローを示し、図25は、その受信信号の例を示している。図24に示すように、コヒーレントIQ光受信機107(及びADC108)が図25のようなIQ受信信号m1を出力すると、必要に応じて、BPF114が、IQ受信信号m1の雑音を除去する(S301)。

【0064】

続いて、受信パルス検出部112は、雑音除去されたIQ受信信号m1の光強度を検出し(S302)、受信パルス検出部112は、光強度が閾値以上の信号のみ抽出しパルス信号を抽出する(S303)。図25のように、受信パルス検出部112は、IQ受信信号m1のエンベロープを示す光強度信号を生成する。また、受信パルス検出部112は、光強度が閾値V_{th}以上の時刻T20からT21を光パルス領域と検出し、光パルス領域の信号のみを抽出する。例えば、光強度の最大値をV_{max}、最小値をV_{min}として、 $(V_{max} + V_{min}) / 2$ を閾値V_{th}に設定する。

20

【0065】

続いて、位相検出部113は、抽出したパルス信号のデータから、受信光パルスの位相を算出し(S304)、受信時刻抽出部110は、その位相に基づいて受信光パルスの位相変化点を算出する(S305)。図25のように、位相検出部113は、検出された光パルス領域の時刻T20からT21におけるIQ受信信号m1の位相を求める。受信時刻抽出部110は、IQ受信信号m1の位相に基づいて位相変化点(位相切替り点)を算出する。受信時刻抽出部110は、上記のように、近似直線外挿などにより位相変化点c2を求める。

30

【0066】

(実施の形態4)

実施の形態4では、実施の形態2においてさらに別の方法で光パルス領域を抽出する例について説明する。図26は、本実施の形態に係る光測距装置の構成例を示している。図26に示すように、光測距装置100は、実施の形態2の受信パルス検出部112に代えて、光パルスを抽出するBPF115a及びBPF115bを備えてもよい。例えば、BPF115aは、光パルスに含まれる正の周波数オフセットの信号を抽出するフィルタであり、BPF115bは、光パルスに含まれる負の周波数オフセットの信号を抽出するフィルタである。すなわち、BPF115a及びBPF115b(光パルス抽出部)は、受信信号から正の周波数オフセットの信号と負の周波数オフセットの信号を抽出し、光パルスの領域#1及び領域#2の信号を抽出する。

40

【0067】

図27に示すように、受信信号(IQ受信信号)の周波数特性では、正の周波数オフセット(+f₁)と負の周波数オフセット(-f₁)の帯域にピークを有している。このため、BPF115aは、正の周波数オフセット(+f₁)の帯域の信号を抽出し、領域#1の信号のみを出力する。BPF115bは、負の周波数オフセット(-f₁)の帯域の信号を抽出し、領域#2の信号のみを出力する。その後、実施の形態2及び3と同様に、位相検出部113が、抽出された領域#1と領域#2の位相を検出し、受信時刻抽出部1

50

10が、位相変化点を検出する。

【0068】

(その他の実施の形態)

本開示は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、上記実施の形態では、光パルスを前半部分と後半部分に2分割する例について説明したが、これに限らない。例えば、光パルスをN個の領域に分割して、それぞれの領域間の位相変化点(N-1)を検出してよい。各位相変化点のタイミングを平均化することで、到達時刻をより正確に測定することが可能となる。図28の例では、光パルスを4つの領域#1~#4に分割し、領域#1~#4の間の3点の位相変化点を抽出し、位相変化点のタイミングを平均化している。

10

【0069】

また、光パルスの領域#1の位相を単調増加とし、領域#2の位相を単調減少としたが、これに限らない。領域#1と領域#2のいずれか一方の位相が、時間とともに増加(例えば単調増加)し、他方の位相が、時間とともに減少(例えば単調減少)してもよい。さらに、光パルスの周波数オフセット(位相の傾き)を2つの領域で非対称としてもよい。図29の例では、領域#1の周波数オフセットを(+f1)とし、領域#2の周波数オフセットを(-f2)としており、領域#1で位相が増加する傾きよりも、領域#2で位相が減少する傾きの方が大きい。また、図30の例では、領域#1の周波数オフセットを(+f1)とし、領域#2の周波数オフセットを(+f2)としており、領域#1で位相が増加する傾きよりも、領域#2で位相が増加する傾きの方が小さい。すなわち、領域#1と領域#2の位相の傾き(周波数オフセット)が異なってもよいし、位相の傾きの方向(周波数オフセットの正/負)が同じでもよい。例えば、領域#1及び領域#2の両方の位相が、時間とともに増加(例えば単調増加)または減少(例えば単調減少)してもよい。

20

【0070】

2つの領域で周波数オフセットを非対称とすることで、領域毎の信号をバンドパスフィルタなどで容易に分離することができ、パルス信号を抽出しやすい。また、図30のように周波数オフセットを(+f1)及び(+f2)とした場合、I成分の信号のみ受信することでよいため、受信側の回路規模を半減することができる。

【0071】

以上、実施の形態を参照して本開示を説明したが、本開示は上記実施の形態に限定されるものではない。本開示の構成や詳細には、本開示の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

30

【符号の説明】

【0072】

- 10 光測距装置
- 11 光パルス生成部
- 12 光送信部
- 13 光受信部
- 14 距離算出部
- 100 光測距装置
- 101 光源装置
- 102 変調信号生成部
- 103 光強度位相変調器
- 104 光送信部
- 105 光受信部
- 106 光源装置
- 107 コヒーレントI/Q光受信機
- 107a 光干渉系
- 107b 光/電変換器
- 108 ADC

40

50

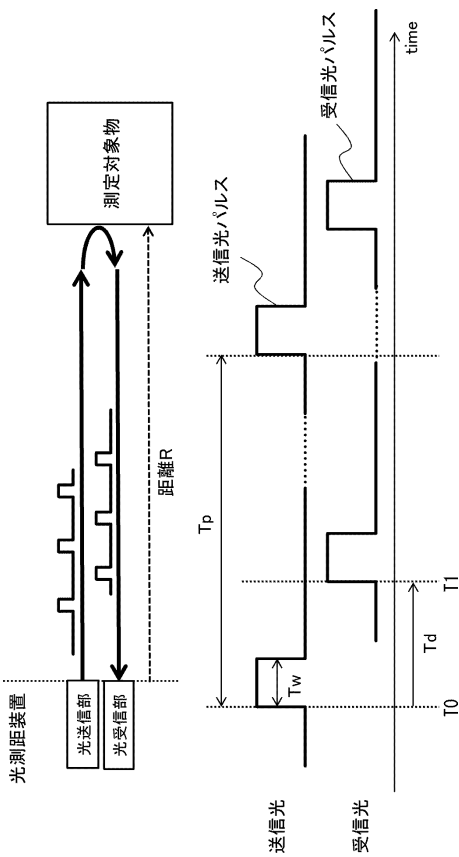
- 1 0 9 位相差抽出部
- 1 1 0 受信時刻抽出部
- 1 1 1 距離算出部
- 1 1 2 受信パルス検出部
- 1 1 3 位相検出部
- 1 2 0 光測距パルス生成部
- 1 3 0 光送受信ブロック
- 1 3 1 光送受信部
- 1 3 2 サークュレータ
- 2 0 0 a、2 0 0 b 光変調部
- 2 0 1 入力光導波路
- 2 0 1 a、2 0 1 b 位相変調電極
- 2 0 2、2 0 3 アーム
- 2 0 4 出力光導波路
- 2 0 5 位相変調電極
- m 0 位相変調信号
- m 1 I Q受信信号
- p 0 送信光信号
- p 1 受信光信号
- p 2 干渉光信号
- r 0 光源
- r 1 参照光

10

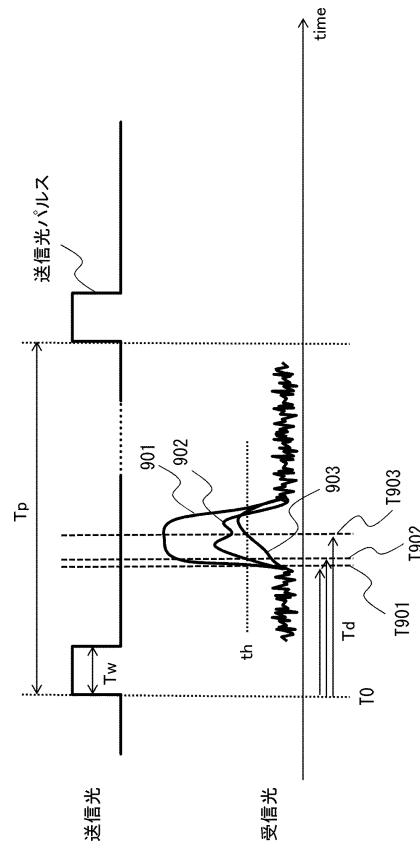
20

【図面】

【図 1】



【図 2】

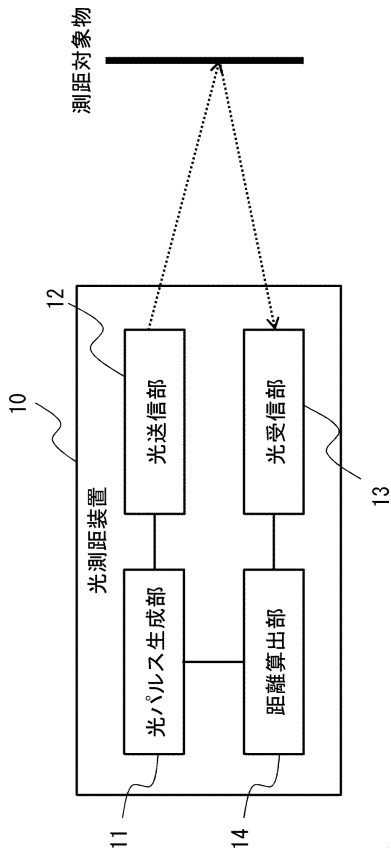


30

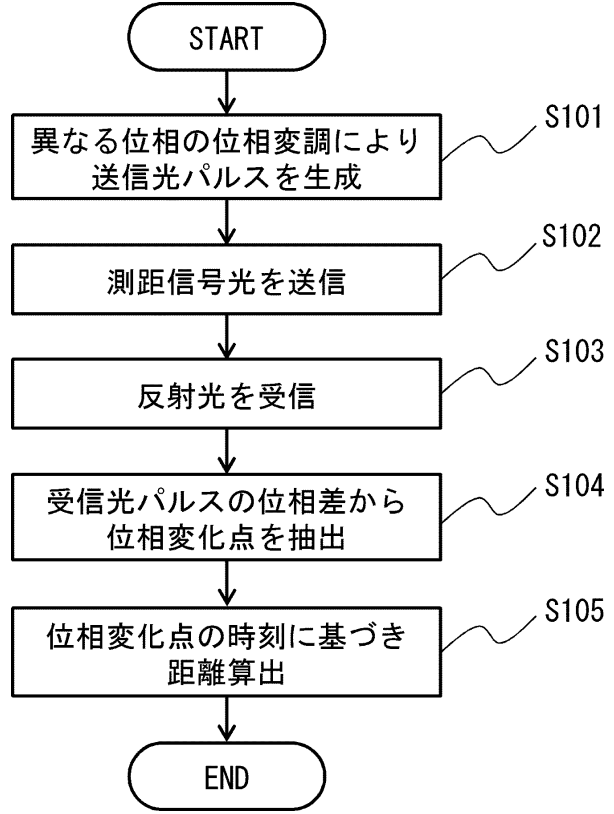
40

50

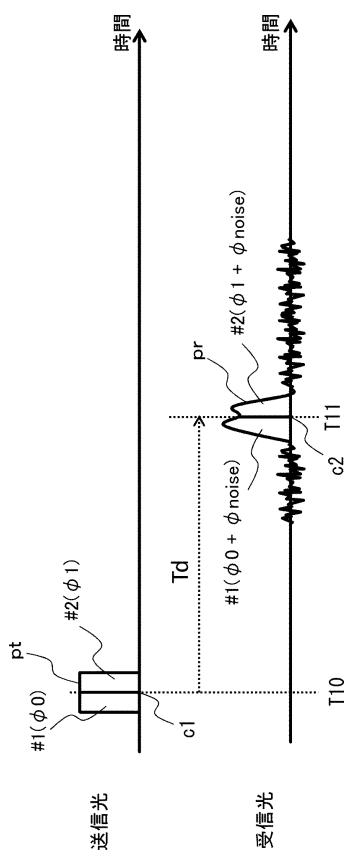
【図3】



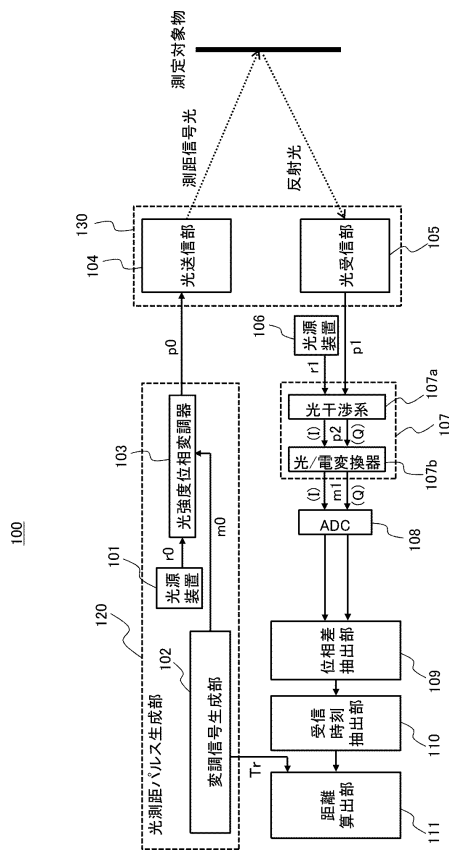
【図4】



【図5】



【図6】



10

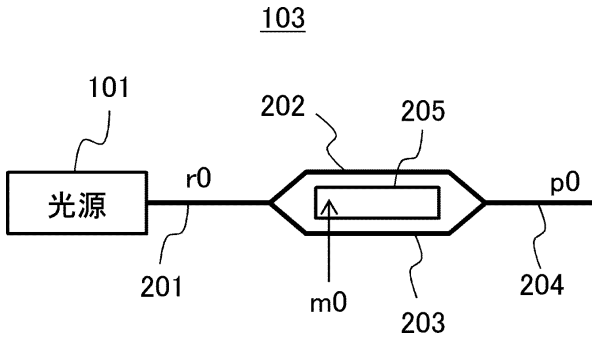
20

30

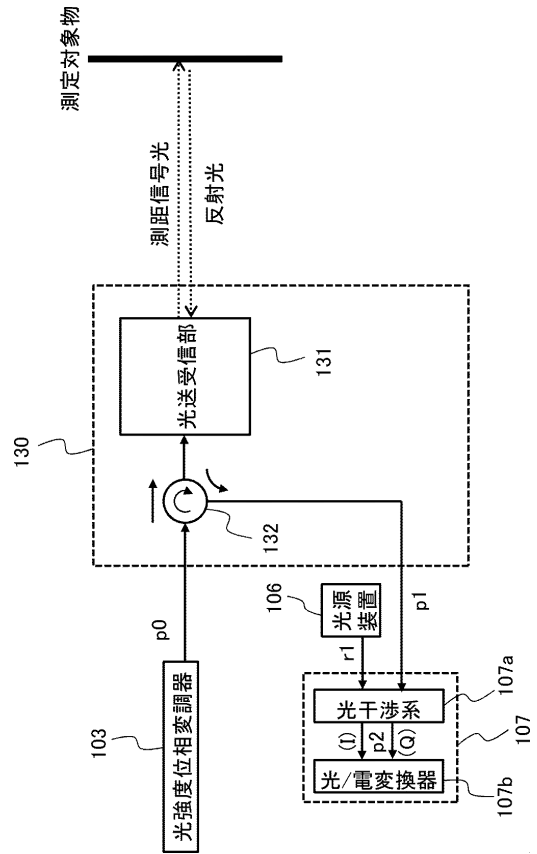
40

50

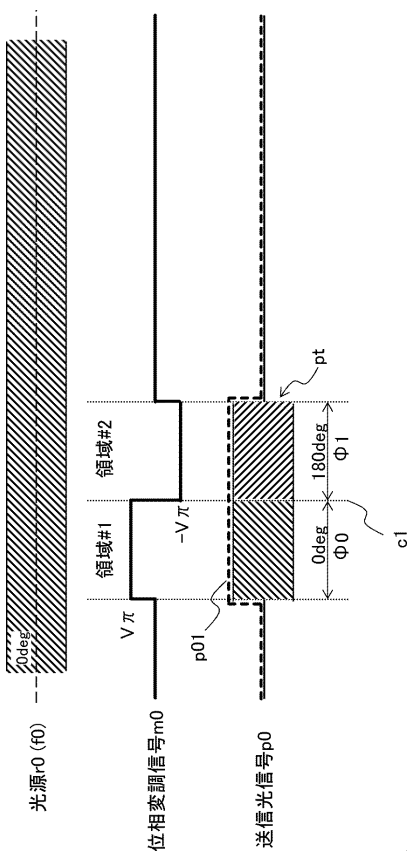
【図7】



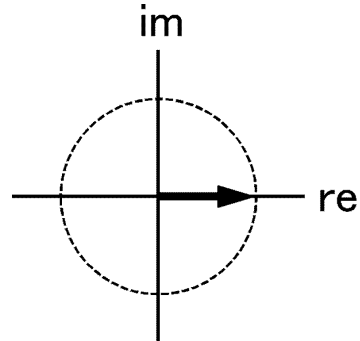
【図8】



【図9】



【図10】



領域#1 (0deg)の位相ベクトル

10

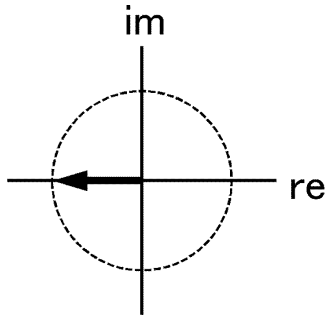
20

30

40

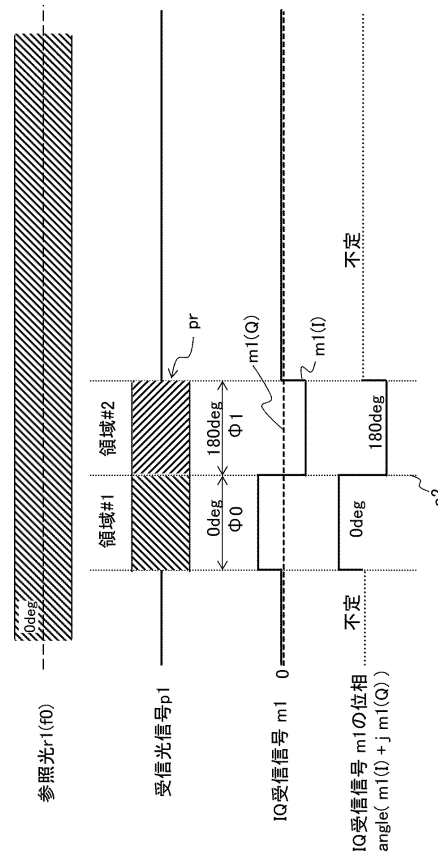
50

【図 1 1】



領域#2 (180deg)の位相ベクトル

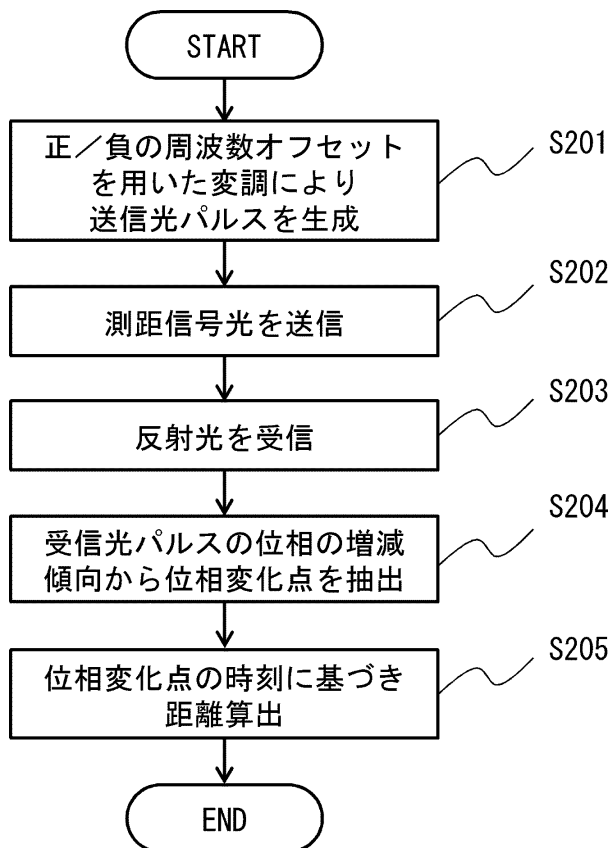
【図 1 2】



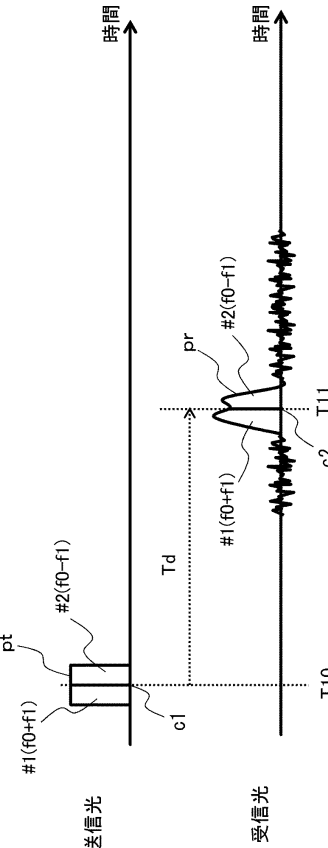
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

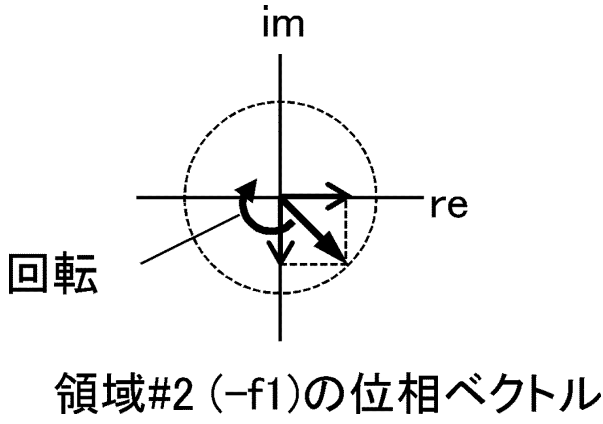


30

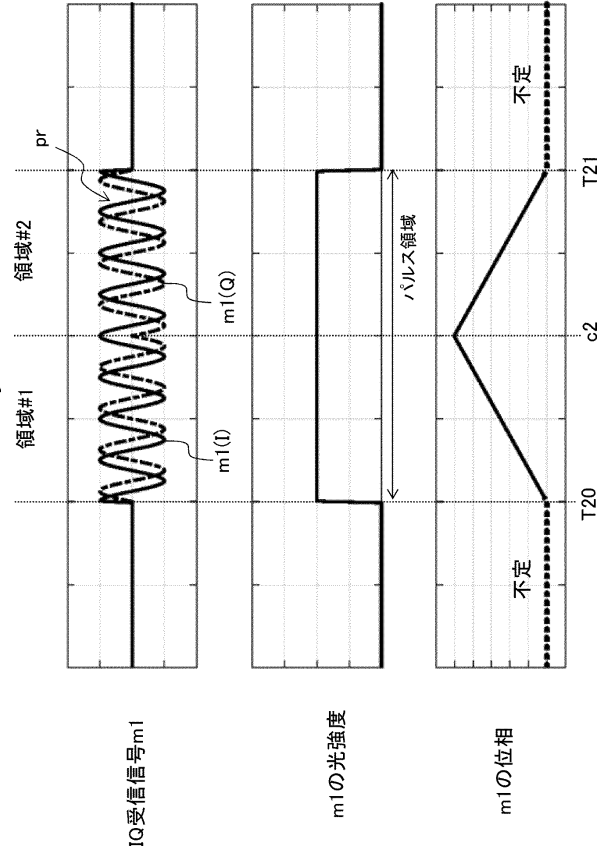
40

50

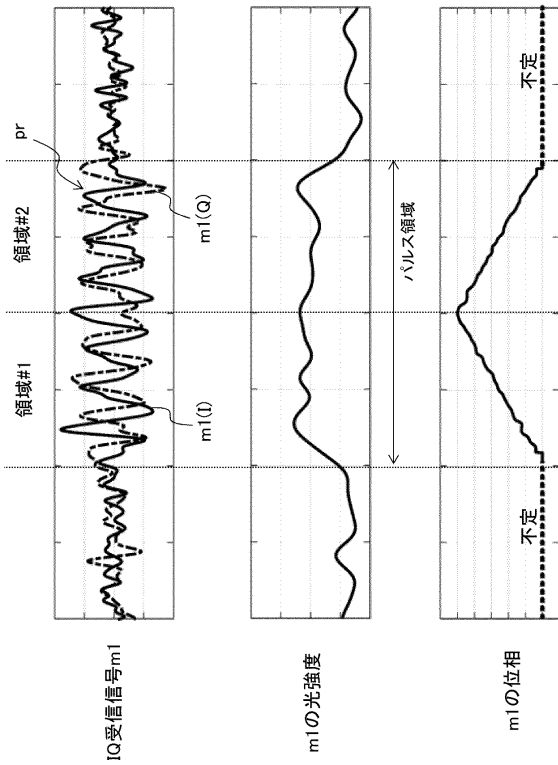
【図19】



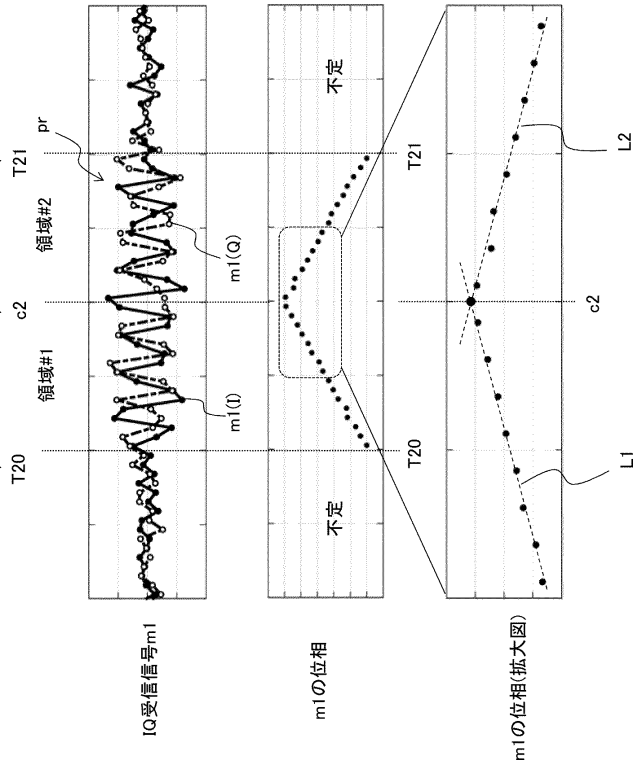
【図20】



【図21】



【図22】



10

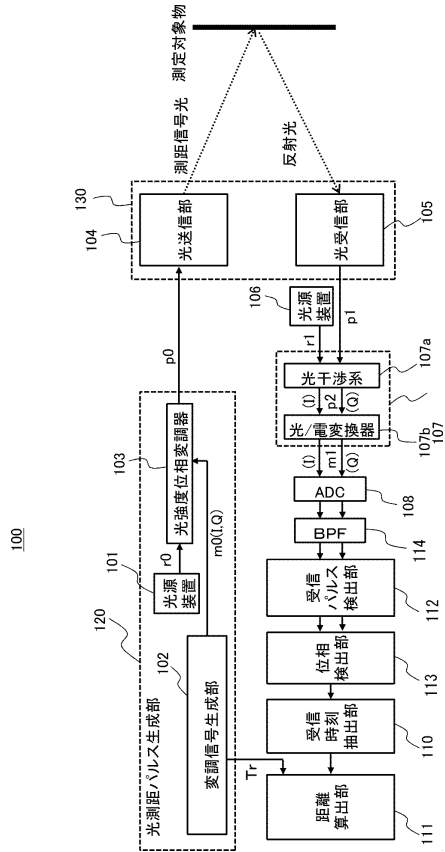
20

30

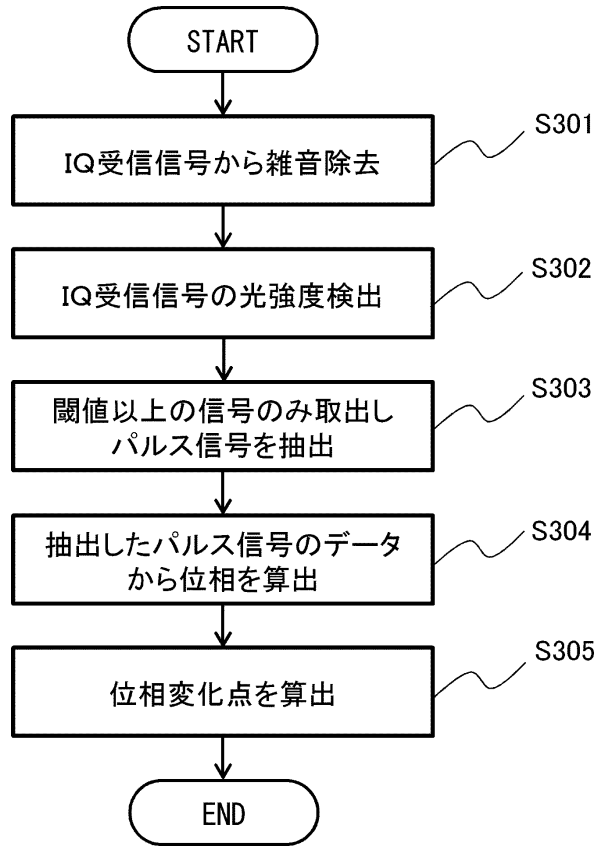
40

50

【図 2 3】



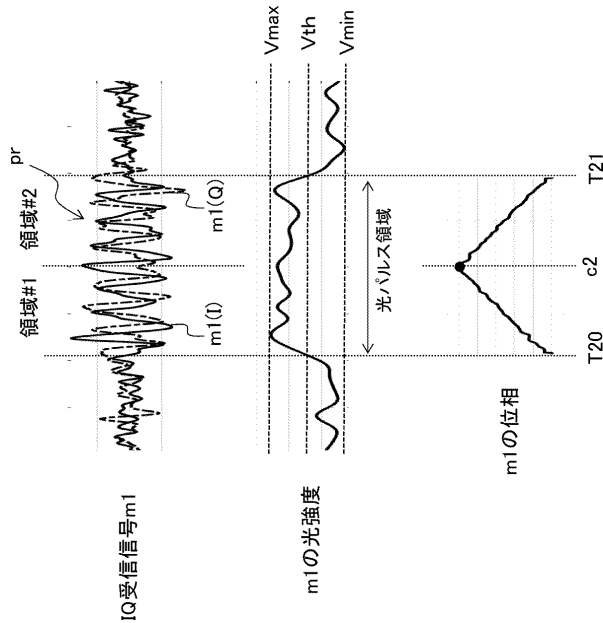
【図 2 4】



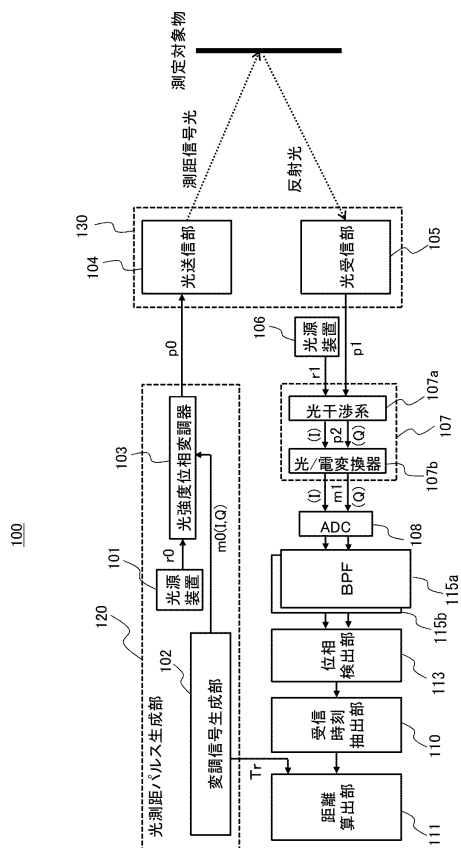
10

20

【図 2 5】



【図 2 6】

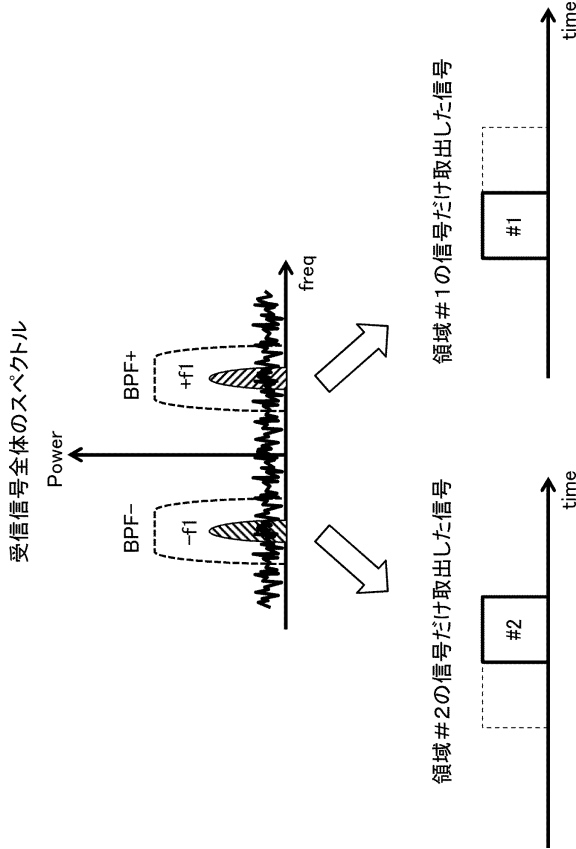


30

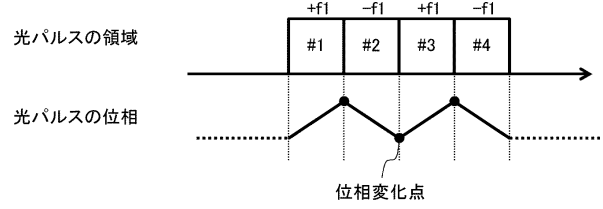
40

50

【図 27】



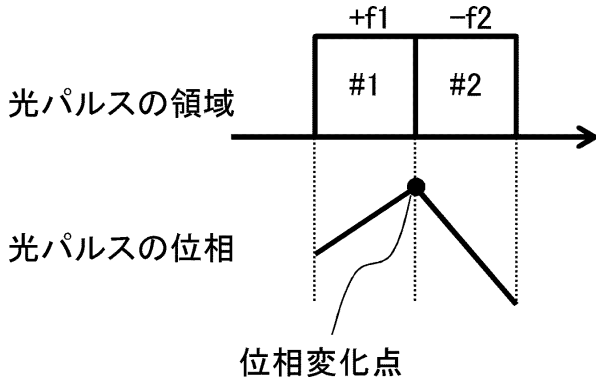
【図 28】



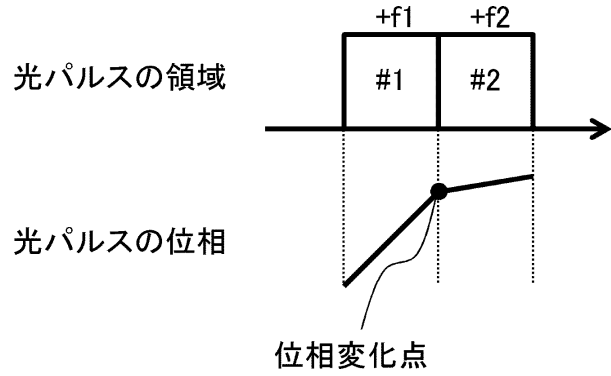
10

20

【図 29】



【図 30】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭60-244881(JP,A)
特開2015-161530(JP,A)
特開2018-059828(JP,A)
国際公開第03/100458(WO,A1)
米国特許出願公開第2011/0116074(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01S 7/00 - 7/64
13/00 - 17/95