

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7034398号
(P7034398)

(45)発行日 令和4年3月11日(2022.3.11)

(24)登録日 令和4年3月3日(2022.3.3)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 S 17/10 (2020.01)	G 0 1 S 17/10
G 0 1 S 17/95 (2006.01)	G 0 1 S 17/95
G 0 1 N 21/49 (2006.01)	G 0 1 N 21/49 C

請求項の数 12 (全25頁)

(21)出願番号	特願2021-566440(P2021-566440)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年6月30日(2021.6.30)	(74)代理人	110003166 特許業務法人山王内外特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/024659	(72)発明者	野邑 寿仁亜 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和3年11月9日(2021.11.9)	(72)発明者	伊藤 優佑 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
早期審査対象出願		(72)発明者	柳澤 隆行 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
		審査官	山下 雅人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザレーダ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を互いに異なる周波数の強度変調信号により周期的に強度変調して複数の強度変調パルスを出力する光源部と、
前記複数の強度変調パルスをターゲットに送信し、前記ターゲットによる反射光を受信光として受信するテレスコープと、
前記受信光を光電変換して受信電気信号を生成する受光部と、
前記受信電気信号に基づいて前記ターゲットの距離および消光係数を算出する信号処理部と、
を備えるレーザレーダ装置。

【請求項2】

前記光源部は、互いに異なる周波数の複数の強度変調信号を経時的に発生し、または互いに異なる周波数の複数の強度変調信号を同時に発生させて混合することにより、前記複数の強度変調パルスを生成する、
請求項1に記載のレーザレーダ装置。

【請求項3】

前記光源部は、前記互いに異なる周波数の強度変調信号を、前記信号処理部へ出力し、
前記信号処理部は、前記複数の強度変調パルスの何れか1つの強度変調パルスの生成に用いられた周波数の情報を用いて、前記受信電気信号を周波数解析してスペクトル信号を生成して前記スペクトル信号の周波数と信号対雑音比を検出する、

請求項 2 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 4】

前記信号処理部は、前記複数の強度変調パルスの 2 種以上の強度変調パルスの生成に用いられた周波数の情報を用いて、前記受信電気信号を周波数解析して同一レンジのターゲットから反射された受信光に係る複数のスペクトルを生成し、前記複数のスペクトルの信号対雑音比の周波数依存性を解析する、

請求項 3 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 5】

前記信号処理部は、前記信号対雑音比の周波数依存性から、前記同一レンジのターゲットの伝達関数特性を解析する、

10

請求項 4 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 6】

前記伝達関数特性に基づいて、前記同一レンジのターゲットの消光係数を評価する、

請求項 5 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 7】

前記光源部は、第 1 の波長の強度変調パルスと、前記第 1 の波長と異なる第 2 の波長の強度変調パルスとを出力し、

前記信号処理部は、前記第 1 の波長の受信光と前記第 2 の波長の受信光の受信信号強度比からターゲットの吸収波長と濃度を算出する、

請求項 6 に記載のレーザレーダ装置。

20

【請求項 8】

前記光源部は、2 つの直交する偏光状態を持つ強度変調パルスを出力し、

前記信号処理部は、前記 2 つの偏光による受信信号強度比からターゲットの粒形を評価する、

請求項 6 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 9】

前記光源部で生成された強度変調パルスを光電変換する光パルスモニタ部と、

前記光パルスモニタ部からの電気信号に基づいて、送信パルスのパルスパワーと変調強度を制御するためのフィードバック信号を出力する光パルス補正部と、

を更に備える、

30

請求項 6 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 10】

前記光パルス補正部は、理想的な強度変調パルス波形を保持し、光パルスモニタ部からの電気信号の波形と前記理想的な強度変調パルス波形とを比較して偏差を算出し、前記偏差を抑制するように前記光源部に対してフィードバック信号を出力する、

請求項 9 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 11】

前記光源部で生成された強度変調パルスを光電変換する光パルスモニタ部を更に備え、

前記信号処理部は、前記光パルスモニタ部に接続され、前記光パルスモニタ部からの電気信号に基づいて補正を行う伝達関数算出補正部を更に備える、

40

請求項 6 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 12】

前記伝達関数算出補正部は、受信信号の周波数応答特性が一樣なターゲットからの受信信号のスペクトル特性が一樣となるような強度変調パルスの最適駆動条件に関する情報を予め保有し、前記光パルスモニタ部からの電気信号と前記情報を比較することで前記強度変調送信パルスにより生じる受信信号の不確定性を補正する、

請求項 11 に記載のレーザレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本開示はレーザレーダ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザレーダ装置による距離計測の手法として、強度変調パルスT o F (Time of Flight) 方式と呼ばれる手法がある。強度変調パルスT o F方式とは、発光開始から受光までのパルス飛行時間からターゲットまでの距離を求めるパルスT o F方式のうち、光パルスに対して周期的な強度変調を加えることで、散乱の強いボリュームターゲットV T中に存在するハードターゲットH Tからの反射信号(H T信号)の信号対雑音比(S N R : Signal-to-noise ratio)を上げてH T信号を抽出し、ハードターゲットH Tの位置を算出する手法のことをいう。非特許文献1は強度変調パルスT o F方式に関する文献であり、非特許文献1にはパルスの合分波方式により生成された、疑似的に単一強度変調周波数で強度変調したパルスを用いて、ボリュームターゲットV T (volume target)中のハードターゲットH T (hard target)を識別する装置に関する記載がなされている。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【文献】L. J. Mullen, A. J. C. Vieira, P. R. Herezfeld and V. M. Contarino, "Application of RADAR technology to aerial LIDAR systems for enhancement of shallow underwater target detection," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 43, no. 9, pp. 2370-2377, Sept. 1995, doi: 10.1109/22.414591.

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

非特許文献1に記載の技術によれば、ターゲットの位置を算出できるが、ターゲットの消光係数などの物性パラメータを算出できないという課題がある。

【0005】

本開示は、このような課題を解決するためになされたものであり、ターゲットの消光係数などの物性パラメータを算出できる強度変調パルスT o F方式のレーザレーダ装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の実施形態によるレーザレーダ装置は、レーザ光を互いに異なる周波数の強度変調信号により周期的に強度変調して複数の強度変調パルスを出力する光源部と、前記複数の強度変調パルスをターゲットに送信し、前記ターゲットによる反射光を受信光として受信する望遠鏡と、前記受信光を光電変換して受信電気信号を生成する受光部と、前記受信電気信号に基づいて前記ターゲットの距離および物性パラメータを算出する信号処理部と、を備える。

【発明の効果】

【0007】

本開示の実施形態によるレーザレーダ装置は、ターゲットの消光係数などの物性パラメータを算出できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1によるレーザレーダ装置の構成例を示すブロック図である。

【図2】実施の形態1による信号処理部の構成例を示すブロック図である。

【図3A】信号処理部のハードウェアの構成例を示す図である。

【図3B】信号処理部のハードウェアの構成例を示す図である。

【図4】実施の形態1によるレーザレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

【図5】パルス列の模式図である。

50

【図 6 A】受信信号の波形を示す模式図である。

【図 6 B】受信信号波形と周波数解析の模式図である。

【図 7】距離と受信信号の S N R との関係の模式図である。

【図 8】伝達関数算出部による信号処理方法の模式図である。

【図 9】図 9 A および図 9 B は、それぞれ評価された伝達関数の模式図である。

【図 10】物性パラメータの距離特性を示す模式図である。

【図 11】実施の形態 2 によるレーザレーダ装置の構成例を示すブロック図である。

【図 12】実施の形態 2 による強度変調信号生成部の構成例を示すブロック図である。

【図 13】実施の形態 2 によるレーザレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

【図 14】図 14 A は、パルス列の模式図である。図 14 B は、評価されたハードターゲット H T の伝達関数の模式図である。図 14 C は、評価されたポリウムターゲット V T の伝達関数の模式図である。

10

【図 15】図 15 A は、パルス列の模式図である。図 15 B は、評価されたハードターゲット H T の伝達関数の模式図である。図 15 C は、評価されたポリウムターゲット V T の伝達関数の模式図である。

【図 16】実施の形態 3 によるレーザレーダ装置の構成例を示すブロック図である。

【図 17】実施の形態 3 によるレーザレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

【図 18】実施の形態 4 によるレーザレーダ装置の構成例を示すブロック図である。

【図 19】実施の形態 4 による信号処理部の構成例を示すブロック図である。

【図 20】実施の形態 4 によるレーザレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

20

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、図 1 から図 17 を参照して、本開示における種々の実施形態について詳細に説明する。なお、図面において同一または類似の符号を付された構成要素は、同一または類似の構成または機能を有するものであり、そのような構成要素についての重複する説明は省略する。

【0010】

実施の形態 1 .

まず、図 1 から図 10 を参照して、実施の形態 1 によるレーザレーダ装置について説明する。

30

< 構成 >

図 1 から図 3 B を参照して、本開示の実施の形態 1 によるレーザレーダ装置の構成例について説明する。図 1 に示すとおり、実施の形態 1 によるレーザレーダ装置は、一例として、光源 1、強度変調器 2、トリガ生成回路部 3、強度変調信号生成部 4、パルス信号生成部 5、パルス変調部 6、送信側光学系 7、送受分離器 8、テレスコープ 9、受信側光学系 10、受光部 11、信号処理部 12、およびスキャナ 13 を備える。光源 1、強度変調器 2、強度変調信号生成部 4、パルス信号生成部 5、およびパルス変調部 6 は、光源部 60 を構成する。送信側光学系 7 および受信側光学系 10 は、選択的な構成部である。図 1 において、黒太矢印は送信光の流れを示し、白太矢印は受信光の流れを示し、細矢印は電気信号の流れを示す。光源 1 と強度変調器 2 の間、強度変調器 2 とパルス変調部 6 の間、パルス変調部 6 と送信側光学系 7 の間、送信側光学系 7 と送受分離器 8 の間、送受分離器 8 とテレスコープ 9 の間、送受分離器 8 と受信側光学系 10 の間、受信側光学系 10 と受光部 11 の間の光路は、例えば光ファイバにより実現できる。テレスコープ 9 とスキャナ 13 の間は自由空間である。電気信号が流れる電気経路は電気配線により実現される。

40

【0011】

(光源)

光源 1 は単一周波数からなる連続波レーザ光を出射する光源である。光源 1 は強度変調器 2 に接続され、連続波レーザ光を強度変調器 2 に供給する。

【0012】

(トリガ生成回路部)

50

トリガ生成回路部 3 は、強度変調信号生成部 4、パルス信号生成部 5 および信号処理部 1 2 に接続され、これらの構成部を駆動するためのトリガ信号（パルス照射トリガ）を生成して、トリガ信号を強度変調信号生成部 4、パルス信号生成部 5 および信号処理部 1 2 へ出力する。トリガ生成回路部 3 として、例えば、パルスジェネレータ、ファンクションジェネレータ、または F P G A (field-programmable gate array) を用いることができる。

【 0 0 1 3 】

（強度変調信号生成部 4）

強度変調信号生成部 4 は、トリガ信号に基づいて周波数 f_k の強度変調信号を経時的に生成する。 $k = 1 \sim M$ (M は 2 以上の整数) である。強度変調信号生成部 4 は、強度変調器 2 および信号処理部 1 2 に接続され、生成した周波数 f_k の強度変調信号を強度変調器 2 および信号処理部 1 2 へ出力する。異なる周波数で強度変調された信号が生成されるように、周波数 $f_1 \sim f_M$ は互いに異なるように設定される。異なる周波数 f_k の生成法としては、例えば、周波数混合器を用いて f_1 の周波数信号に対して f_k だけのオフセット周波数を与えた信号を生成する方法、および基準信号発生器で発生する信号の周波数を基準周波数として、基準周波数を逡倍器で逡倍または分周器で分周して生成する方法がある。強度変調周波数信号を生成する際の基準信号は同一である必要はなく、各強度変調周波数に対して個別に基準信号を用意してもよい。

10

【 0 0 1 4 】

（パルス信号生成部）

パルス信号生成部 5 は、トリガ信号に基づいてパルス信号を生成する。パルス信号生成部 5 は、パルス変調部 6 に接続され、生成したパルス信号をパルス変調部 6 へ出力する。

20

【 0 0 1 5 】

（強度変調器）

強度変調器 2 は、強度変調信号生成部 4 から出力された強度変調信号に基づいて光源 1 からの連続波レーザ光を周期的に強度変調する。強度変調器 2 として、例えば、光アッテネータ、半導体光増幅器、音響光学素子、位相変調器を用いた干渉計型強度変調器を用いることができる。強度変調器 2 は、パルス変調部 6 に接続され、強度変調された連続波レーザ光をパルス変調部 6 へ出力する。

【 0 0 1 6 】

（パルス変調部）

パルス変調部 6 は、パルス変調器を備え、パルス信号生成部 5 から出力されたパルス信号に基づいて強度変調器 2 からの強度変調された連続波レーザ光を、繰返し周期 T_{rep} およびパルス幅 T のパルスにパルス変調する。パルス変調部 6 として、例えば、音響光学素子または位相変調器を用いることができる。パルス変調部 6 は、高い S N R (信号対雑音比) を得るために、光増幅器を備え、パルス変調されたレーザ光の光パワーを増幅してもよい。パルス変調部 6 は、送信側光学系 7 に接続され、増幅されたレーザ光を送信側光学系 7 へ出力する。以上のようにして、光源部 60 は、連続波レーザ光を互いに異なる周波数の強度変調信号により周期的に強度変調して、変調周波数が異なる複数の強度変調パルスを出力する。なお、「周期的に強度変調する」とは、光パワーが周期的に変化するよう変調を行うことを意味する。周期的に強度変調されたパルスの例は、例えば図 5 のパルス P 1 またはパルス P 2 である。パルス P 1 は、光パワーの最大値を一定に保ったまま、光パワーが変調周波数 f_1 で周期的に変化する様子を示す。パルス P 2 は、光パワーの最大値を一定に保ったまま、光パワーが変調周波数 f_2 で周期的に変化する様子を示す。

30

【 0 0 1 7 】

（送信側光学系）

送信側光学系 7 は、パルス変調部 6 からのパルス変調され又は増幅されたレーザ光を所望のビーム径且つ広がり角に整形する。送信側光学系 7 は、凹面および凸面からなるレンズ群で構成される。送信側光学系 7 は、ミラーを利用する反射型の光学系であってもよい。送信側光学系 7 によるレーザ光の整形は高 S N R を得るためになされるものであるので、

40

50

送信側光学系 7 が無くても十分な S N R が得られる場合には送信側光学系 7 を設けなくてもよい。送信側光学系 7 は、送受分離器 8 に接続され、整形後のレーザ光を送受分離器 8 へ出力する。

【 0 0 1 8 】

(送受分離器)

送受分離器 8 は、送信光と受信光を所定のポートに分離する分離器である。送受分離器 8 と他の構成部との間のレーザ光の伝搬を空間伝搬により行う場合、送受分離器 8 として偏光ビームスプリッタ (P B S : polarizing beam splitter) が利用できる。レーザ光の伝搬を空間伝搬により行う場合、送受分離器 8 は、送信側光学系 7 と望遠鏡 9 の間であって、かつ送信光の光軸上に設置される。送受分離器 8 と他の構成部がファイバで接続されている場合、送受分離器 8 としてサーキュレータを利用することができる。送受分離器 8 は、送信光を望遠鏡 9 へ出力し、受信光を受信側光学系 1 0 へ出力する。

10

【 0 0 1 9 】

(望遠鏡 ; スキャナ)

望遠鏡 9 は、送信光をスキャナ 1 3 を介して所望の方向へ送信するとともに、ターゲットからの反射光である受信光をスキャナ 1 3 を介して受信する。望遠鏡 9 は、凹面および凸面からなるレンズ群で構成される。望遠鏡 9 は、ミラー利用による反射型の望遠鏡であってもよい。スキャナ 1 3 は、不図示の制御部により所定の方向を向くように回転される。望遠鏡 9 は、受信光を送受分離器 8 へ出力する。

【 0 0 2 0 】

20

(受信側光学系)

受信側光学系 1 0 は、送受分離器 8 からの受信光を所望のビーム径且つ広がり角に整形する。受信側光学系 1 0 は、凹面および凸面からなるレンズ群で構成される。受信側光学系 1 0 は、ミラー利用による反射型の光学系であってもよい。受信側光学系 1 0 による整形は高 S N R を得るためであるので、受信側光学系 1 0 が無くても十分な S N R が得られる場合には受信側光学系 1 0 を設けなくてもよい。受信側光学系 1 0 は、受光部 1 1 に接続され、受信光を受光部 1 1 へ出力する。

【 0 0 2 1 】

(受光部)

受光部 1 1 は、受信光を光電変換して受信電気信号を生成する。受光部 1 1 は、信号処理部 1 2 に接続され、受信電気信号を信号処理部 1 2 へ出力する。

30

【 0 0 2 2 】

(信号処理部)

信号処理部 1 2 は、受信電気信号に対して信号処理を行って物性距離特性を算出する。以下、図 2 を参照して、信号処理部 1 2 の構成について説明する。図 2 に示されているように、信号処理部 1 2 は、フィルタ処理部 1 2 - 1、A / D 変換部 1 2 - 2、レンジピン分割部 1 2 - 3、周波数解析部 1 2 - 4、積算処理部 1 2 - 5、S N R 算出部 1 2 - 6、距離特性算出部 1 2 - 7、伝達関数算出部 1 2 - 8、物性特性算出部 1 2 - 9、および物性距離特性算出部 1 2 - 1 0 を備える。

【 0 0 2 3 】

40

(フィルタ処理部)

フィルタ処理部 1 2 - 1 は、強度変調信号生成部 4 からの周波数 f_k の強度変調信号に基づいて、受光部 1 1 からの受信電気信号を周波数フィルタ処理する。フィルタ処理部 1 2 - 1 は、例えば中心周波数 f_k ($k = 1, 2, 3, \dots, M$) のバンドパスフィルタにより実現され、通過帯域内にある受光部 1 1 からの受信電気信号を通過させる。フィルタ処理部 1 2 - 1 は、A / D 変換部 1 2 - 2 に接続され、フィルタ処理後の電気信号を A / D 変換部 1 2 - 2 へ出力する。なお、フィルタ処理部 1 2 - 1 は、A / D 変換部 1 2 - 2 から積算処理部 1 2 - 5 までの間であってもよい。

【 0 0 2 4 】

(A / D 変換部)

50

A / D変換部 12 - 2 は、トリガ生成回路部 3 からのトリガ信号（パルス照射トリガ）に基づいて、フィルタ処理部 12 - 1 からのフィルタ処理後の電気信号を A D 変換する。A / D 変換部 12 - 2 は、レンジピン分割部 12 - 3 に接続され、A D 変換後のデジタル信号をレンジピン分割部 12 - 3 へ出力する。

【0025】

（レンジピン分割部）

レンジピン分割部 12 - 3 は、トリガ信号（パルス照射トリガ）に基づいて、A D 変換後のデジタル信号をパルス幅相当の幅で時間方向に分割する。レンジピン分割部 12 - 3 は、周波数解析部 12 - 4 に接続され、分割後の信号を周波数解析部 12 - 4 へ出力する。

【0026】

（周波数解析部）

周波数解析部 12 - 4 は、強度変調信号生成部 4 からの周波数 f_k の強度変調信号に基づいて、分割されたピン毎の信号に対して高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）処理を行うことでピン毎の信号をスペクトルに変換する。周波数解析部 12 - 4 は、積算処理部 12 - 5 に接続され、スペクトルを積算処理部 12 - 5 へ出力する。

【0027】

（積算処理部）

積算処理部 12 - 5 は、同一周波数 f_k の複数ショットのデータから得られる複数のスペクトルをスペクトル空間で積算する。積算処理部 12 - 5 は、SNR 算出部 12 - 6 に接続され、積算後のスペクトルを SNR 算出部 12 - 6 へ出力する。

【0028】

（SNR 算出部）

SNR 算出部 12 - 6 は、ある時刻且つある強度変調周波数での受信信号の SNR を算出する。SNR 算出部 12 - 6 は、距離特性算出部 12 - 7 に接続され、算出した SNR を距離特性算出部 12 - 7 へ出力する。

【0029】

（距離特性算出部）

距離特性算出部 12 - 7 は、ある強度変調周波数での距離と SNR の関係（距離特性：A - s c o p e）を算出する。距離特性算出部 12 - 7 は、強度変調周波数 $f_1 \sim f_M$ の全てについて A - s c o p e を算出する。距離特性算出部 12 - 7 は、伝達関数算出部 12 - 8 に接続され、算出した複数の距離特性（A - s c o p e）を伝達関数算出部 12 - 8 へ出力する。

【0030】

（伝達関数算出部）

伝達関数算出部 12 - 8 は、あるレンジピンに関する複数の強度変調周波数（ $f_1 \sim f_M$ ）の複数の距離特性（A - s c o p e）から、そのレンジピンにおけるターゲットの伝達関数を算出する。このようにして、伝達関数算出部 12 - 8 は、SNR の周波数依存性から、同一レンジのターゲットの伝達関数特性を解析する。伝達関数算出部 12 - 8 は、物性特性算出部 12 - 9 に接続され、算出した伝達関数を物性特性算出部 12 - 9 へ出力する。

【0031】

（物性特性算出部）

物性特性算出部 12 - 9 は、伝達関数算出部 12 - 8 により求められた各レンジピン n における伝達関数から判明した伝達関数特性と、後述する式（4）若しくは式（6）による伝達関数式またはこれらの式に類似する式による伝達関数式とを比較することにより、レンジピン n に存在するターゲットの物性特性を算出する。また、物性特性算出部 12 - 9 は、距離特性算出部 12 - 7 により求められた各レンジピン n における SNR と、想定される SNR とを比較することで、レンジピン n に存在するターゲットの物性特性を算出してもよい。物性特性算出部 12 - 9 は、物性距離特性算出部 12 - 10 に接続され、算出した物性特性を物性距離特性算出部 12 - 10 へ出力する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

(物性距離特性算出部)

物性距離特性算出部 1 2 - 1 0 は、物性特性算出部 1 2 - 9 により算出された物性パラメータデータについて、距離特性算出部 1 2 - 7 と同様に、図 1 0 に示すようにレンジピン情報と A D 変換レートとレンジピン幅から $t = A D \text{ レート} \times \text{レンジピン幅} \times (n - 1)$ を計算し、 $L = v \times t / 2$ (v は光速) により t を距離に変換し、距離ごとの物性パラメータグラフを出力する。

【 0 0 3 3 】

次に、図 3 A および図 3 B を参照して、信号処理部 1 2 のハードウェア構成例について説明する。一例として、図 3 A に示されているように、信号処理部 1 2 は処理回路 1 0 0 a により実現される。処理回路 1 0 0 a は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、A S I C (A p p l i c a t i o n S p e c i f i c I n t e g r a t e d C i r c u i t)、F P G A (F i e l d - P r o g r a m m a b l e G a t e A r r a y)、又は、これらの組合せである。信号処理部 1 2 が備える構成部の機能を別個の処理回路で実現してもよく、複数の構成部の機能をまとめて 1 つの処理回路で実現してもよい。

10

【 0 0 3 4 】

別の例として、図 3 B に示されているように、信号処理部 1 2 は、プロセッサ 1 0 0 b と、メモリ 1 0 0 c とにより実現される。メモリ 1 0 0 c に格納されたプログラムがプロセッサ 1 0 0 b に読み出されて実行されることにより、信号処理部 1 2 が備える構成部の機能が実現される。プログラムは、ソフトウェア、ファームウェア又はソフトウェアとファームウェアとの組合せとして実現される。メモリ 1 0 0 c の例には、例えば、R A M (R a n d o m A c c e s s M e m o r y)、R O M (R e a d O n l y M e m o r y)、フラッシュメモリ、E P R O M (E r a s a b l e P r o g r a m m a b l e R e a d O n l y M e m o r y)、E E P R O M (E l e c t r i c a l l y - E P R O M) などの不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、D V D が含まれる。

20

【 0 0 3 5 】

<動作>

次に、図 4 ~ 図 1 0 を参照して、本実施の形態 1 のレーザレーダ装置の動作について説明する。

30

【 0 0 3 6 】

ステップ S T 1 において、強度変調信号生成部 4 は、トリガ信号に基づいて周波数 $f 1$ の強度変調信号を生成し、生成した周波数 $f 1$ の強度変調信号を強度変調器 2 および信号処理部 1 2 へ出力する。これに引き続き、強度変調器 2 は、光源 1 からの単一周波数の連続波レーザ光を、周波数 $f 1$ の強度変調信号で周期的に強度変調し、強度変調された連続波レーザ光をパルス変調部 6 へ出力する。

【 0 0 3 7 】

ステップ S T 2 において、パルス変調部 6 は、パルス信号生成部 5 からのパルス信号に基づいて、強度変調された連続波レーザ光を所定の繰り返し周期 $T r e p$ 、パルス幅 T からなるパルス光 $P 1$ にパルス変調し (図 5 のパルス $P 1$ を参照)、パルス光 $P 1$ を送信側光学系 7 へ出力する。以下、 k 番目の送信パルス信号を「 $P k$ 」と表記する。また、送信パルス $P k$ に対応する強度変調周波数およびターゲットからの受信信号パルスを、それぞれ $f k$ および $R k$ と表記する。

40

【 0 0 3 8 】

ステップ S T 3 において、テレスコープ 9 は、送信側光学系 7 により所定のビーム径とビーム拡がり角に変換されたパルス光 $P 1$ を、スキャナ 1 3 を介してターゲットに向かって照射する。大気中に照射された送信光 $P 1$ はターゲットに照射され、送信光 $P 1$ がターゲットによって散乱された際に受信光 $R 1$ が生じる。

【 0 0 3 9 】

50

ステップ S T 4 において、望遠鏡 9 は、受信光 R 1 を開口で受信し、受信光 R 1 を送受分離器 8 へ出力する。受信光 R 1 は送受分離器 8 を介して受信側光学系 10 へと送られる。受信光 R 1 は受信側光学系 10 で所定のビーム径及びビーム拡がり角に変換された後、受光部 11 へと送られる。受信光 R 1 は受光部 11 により受信電気信号に変換され、受信電気信号は信号処理部 12 へ送られる。

【 0 0 4 0 】

レーザレーダ装置は、以上のステップ S T 2 から S T 4 の送受信処理を a 回繰り返す。a は 1 以上の整数であり、設計値である。以下、この a をパルス積算回数と称する。すなわち、a は同一強度変調パルスにおける積算回数である。

【 0 0 4 1 】

図 5 のように、パルス P 1 を a 回ターゲットに照射して繰返し周期 T r e p だけ経過した後、ステップ S T 5 において、強度変調信号生成部 4 は、トリガ信号に基づいて周波数 f 2 の強度変調信号を生成し、生成した周波数 f 2 の強度変調信号を強度変調器 2 および信号処理部 12 へ出力する。これに引き続き、強度変調器 2 は、光源 1 からの単一周波数の連続波レーザ光を、周波数 f 2 の強度変調信号で周期的に強度変調し、強度変調された連続波レーザ光をパルス変調部 6 へ出力する。

【 0 0 4 2 】

ステップ S T 6 において、パルス変調部 6 は、強度変調された連続波レーザ光をパルス信号生成部 5 からのパルス信号に基づいてパルス変調してパルス光 P 1 と異なるパルス光 P 2 を生成し（図 5 のパルス P 2 を参照）、生成したパルス光 P 2 を送信側光学系 7 へ出力する。

【 0 0 4 3 】

ステップ S T 7 において、望遠鏡 9 は、送信側光学系 7 により所定のビーム径とビーム拡がり角に変換されたパルス光 P 2 を、スキャナ 13 を介してターゲットに向かって照射する。大気中に照射された送信光 P 2 はターゲットに照射され、送信光 P 2 がターゲットによって散乱された際に受信光 R 2 が生じる。

【 0 0 4 4 】

ステップ S T 8 において、望遠鏡 9 は、受信光 R 2 を開口で受信し、受信光 R 2 を送受分離器 8 へ出力する。受信光 R 2 は送受分離器 8 を介して受信側光学系 10 へと送られる。受信光 R 2 は受信側光学系 10 で所定のビーム径及びビーム拡がり角に変換された後、受光部 11 へと送られる。受信光 R 2 は受光部 11 により受信電気信号に変換され、受信電気信号は信号処理部 12 へ送られる。

【 0 0 4 5 】

レーザレーダ装置は、k = M に達するまでステップ S T 5 の処理を行い、ステップ S T 6 ~ ステップ S T 8 の処理を k の各値の場合について a 回ずつ繰り返す。以上の動作により、受信光 R 1 ~ R M が、それぞれ a 回受光される。

【 0 0 4 6 】

次に、ステップ S T 9 ~ S T 14 に係る信号処理について説明する。信号処理は、ステップ S T 4 に引き続いて各受信光が得られる毎に行ってもよいし、ステップ S T 8 に引き続いてすべての受信光 R 1 ~ R M が得られた後に行ってもよい。以下では、ステップ S T 9 ~ S T 14 に係る信号処理は、すべての受信光 R 1 ~ R M が得られた後に行われる場合に即して説明する。

【 0 0 4 7 】

ステップ S T 9 において、フィルタ処理部 12 - 1 は、強度変調信号生成部 4 からの周波数 f k の強度変調信号に基づいて、すべての受信光 (R 1 および R k) の受信信号について周波数フィルタ処理して、各変調周波数に対応した電気信号を得る。

【 0 0 4 8 】

ステップ S T 10 において、A / D 変換部 12 - 2 は、受信光 R k の受信信号を A D 変換する。A / D 変換部 12 - 2 は、トリガ生成回路部 3 からのトリガ信号を A D 変換の開始トリガとする。したがって、A D 変換の開始時刻は送信パルスが送信されたタイミングに

10

20

30

40

50

略一致し、所定期間あるいは次の送信パルスが生じるまでの間 A D 変換を続ける。A D 変換を開始してから T 後に A D 変換している信号は、距離 $L = v \times T / 2$ (v は光速) 離れた空間に位置するターゲットからの受信信号に相当する。デジタル化された受信信号は 1 パルス分に相当する。

【 0 0 4 9 】

ステップ S T 1 1 において、レンジピン分割部 1 2 - 3 は、デジタル化された受信信号をレンジピン毎の信号に分割する。レンジピン幅はパルス幅に相当するように区切られ、パルス幅は設計により定められる。図 6 A は、1 パルス分のパルス送信光 P_k が照射されたターゲットからの受信光 R_k を受信することで得られる、受信信号の時間変化を示す。 n は分割したレンジピンのラベルを表し、 n の値が小さいラベルはより近傍からの反射信号であることを示す。

10

【 0 0 5 0 】

ステップ S T 1 2 において、周波数解析部 1 2 - 4 は、レンジピン毎に分割された受信信号を、レンジピン毎に F F T してスペクトル信号に変換し、得られたスペクトル信号を積算処理部 1 2 - 5 へ出力する。送信パルス P_k (変調周波数 f_k) に対応する受信光 R_k の受信信号を F F T して得られるスペクトルは、ターゲットや環境由来の周波数シフトを受けるが、受信帯域幅 B 内で変調周波数に略一致する。以下では、変調周波数 f_k に対応する受信スペクトルを f_m と表記する。受信帯域幅 B はターゲット移動速度や周囲環境で決定される、想定される周波数シフト幅である。

【 0 0 5 1 】

ステップ S T 1 3 において、積算処理部 1 2 - 5 は、図 6 B に示すように、各レンジピンの信号に対する F F T により得られたスペクトル信号を a 回積算する。

20

【 0 0 5 2 】

ステップ S T 1 4 において、S N R 算出部 1 2 - 6 は、ピーク強度と帯域外雑音との比を計算することで、受信信号のスペクトル f_m の S N R を計算する。S N R 算出部 1 2 - 6 は、積算後のスペクトル f_m と各レンジピンにおける S N R の情報を、距離特性算出部 1 2 - 7 へ出力する。

【 0 0 5 3 】

ステップ S T 1 5 において、距離特性算出部 1 2 - 7 は、距離ごとの S N R を表すグラフである A - s c o p e を算出する。図 7 に示すように、スペクトル $f_1 \sim f_M$ について、任意のレンジピン n における S N R の情報が集まる。距離特性算出部 1 2 - 7 は、レンジピン情報と A D 変換レートとレンジピン幅から $t = A D \text{レート} \times \text{レンジピン幅} \times (n - 1)$ を計算し、 $L = v \times t / 2$ (v は光速) により t を距離に変換し、A - s c o p e を算出する。以下では、スペクトル f_m でレンジピン n での S N R を、 $S N R_{m n}$ と表記する。また、伝達関数算出部 1 2 - 8 は、図 8 に示すように、 $S N R_{m n}$ の情報をもとに、各レンジピン n ($n = 1, 2, 3, \dots$) における、スペクトル $f_1 \sim f_M$ の S N R をデータ処理し、各レンジピンの伝達関数 (縦軸 T 、横軸スペクトル周波数 f のグラフ) を求める。なお、図 8 では、 $n = 3$ のレンジピンについて、スペクトル $f_1 \sim f_M$ の S N R を周波数軸に沿って並べて伝達関数を求める具体例を示している。

30

【 0 0 5 4 】

ステップ S T 1 6 において、物性特性算出部 1 2 - 9 は、レンジピン n に存在するターゲットの物性特性を算出する。具体的には、物性特性算出部 1 2 - 9 は、伝達関数算出部 1 2 - 8 により求められた各レンジピン n における伝達関数から判明した伝達関数特性と、下記の式 (4) 若しくは式 (6) による伝達関数式またはこれらの式に類似する式による伝達関数式とを比較することにより、レンジピン n に存在するターゲットの物性特性を算出する。また、物性特性算出部 1 2 - 9 は、距離特性算出部 1 2 - 7 により求められた各レンジピン n における S N R と、想定される S N R とを比較することで、レンジピン n に存在するターゲットの物性特性を算出してもよい。ここで、伝達関数特性とは、図 9 A または図 9 B に示されているようなグラフの全形、グラフの傾き、またはグラフをローパスフィルタの伝達関数と同等とみなしたときのカットオフ周波数 f_c などである。

40

50

【 0 0 5 5 】

強度変調パルス T o F 方式において、距離 L (= v t / 2) に存在するターゲット (消光係数 c 、 吸収係数、 後方散乱係数) からの受信信号パワー P r は、次の式 (1) で表現される。式 (1) において、v はボリュウムターゲット V T 内での伝搬速度、t は時間、A はシステム係数であり、Y は規格化定数である。式 (1) を式 (2) の仮定のもとでフーリエ変換すると、式 (3) となる。

$$P_r(t) = A \times \frac{e^{-cvt}}{v^2 t^2} \tag{1}$$

$$P_r(t) \sim Y e^{-cvt} \tag{2}$$

$$P_r(\omega) = \frac{Y}{cv + j\omega} \tag{3}$$

10

【 0 0 5 6 】

したがって、強度変調角周波数 = 2 f の強度変調パルスを送信したとき、得られる受信信号の変調周波数 m 成分は式 (4) で表される。式 (2) の仮定の下でターゲットの伝達関数 T () は式 (4) で表され、これは 1 次のローパスフィルタ (L P F) の場合と等価である。

$$|T(\omega)| = \left| \frac{Y}{cv + j\omega} \right| \tag{4}$$

20

【 0 0 5 7 】

伝達関数のカットオフ周波数 f c は、式 (2) の仮定の下では消光係数 c を用いて式 (5) で表される。

$$f_c = \frac{cv}{2\pi} \tag{5}$$

30

【 0 0 5 8 】

例えば、c = 1 m⁻¹、屈折率 n = 1 . 3 の散乱媒質 (V T) の伝達関数のカットオフ周波数は f c = 3 7 M H z に相当する。

【 0 0 5 9 】

なお厳密には、式 (1) において L (t) = v t / 2 であるので、より正確なターゲットの伝達関数は次の式 (6) で表される。

$$|T(\omega)| = \left| \int_0^\infty \frac{Ae^{-cvt}}{v^2 t^2} e^{-i\omega t} dt \right| \tag{6}$$

40

【 0 0 6 0 】

測定結果をもとに算出されたターゲットの伝達関数特性 (図 8 の右下図) と、式 (4) 若しくは式 (6) の伝達関数式又は式 (4) 若しくは式 (6) に類する伝達関数式とを比較することにより、物性パラメータ (例えば消光係数 c) を推定することができる。図 9 A は式 (4) の伝達関数式によるフィッティングを表し、図 9 B は式 (6) の伝達関数式によるフィッティングを表す。例えば、消光係数 c を推定する場合であれば、測定結果に基づく伝達関数特性と式 (4) などの伝達関数式とを比較してカットオフ周波数 f c を求め、式 (5) から消光係数 c を算出する。

【 0 0 6 1 】

また、物性距離特性算出部 1 2 - 1 0 は、物性特性算出部 1 2 - 9 により算出された物性

50

パラメータデータについて、距離特性算出部 12 - 7 と同様に、図 10 に示すようにレンジピン情報と AD 変換レートとレンジピン幅から $t = AD \text{レート} \times \text{レンジピン幅} \times (n - 1)$ を計算し、 $L = v \times t / 2$ (v は光速) により t を距離に変換し、距離ごとの物性パラメータグラフを出力する。

【0062】

式 (1) の消光係数 c は、次式 (7) のように、吸収係数 α と散乱係数 b (あるいは後方散乱係数 β) を用いて表される。なお、 θ は送受信光学系の立体角である。

$$c = \alpha + b = \alpha + \int \beta d\Omega \quad (7)$$

10

【0063】

式 (7) で表されるように、消光係数 c は 2 つ以上の物性パラメータと相関関係があるため、従来技術では、これらのパラメータ間に一定の関係を仮定していた。例えば、レーザセンサの設計においては、後方散乱係数 β と消光係数 c を線形な関係と仮定し、これらの比をライダ比 S_1 とおき、次式 (8) の関係を仮定していた。

$$c = S_1 \beta \quad (8)$$

【0064】

ライダ比 S_1 は、粒子サイズ、レーザ波長、粒子形状等で決定される。測定対象を定め、シミュレーションやその他の測定で数値が定まったライダ比 S_1 と、式 (1) および (8) を用いることで、ターゲットの後方散乱係数を算出する。

20

【0065】

このような従来の手法によれば、測定ターゲットの物性情報が未知である場合、または上空若しくは海中等の特殊な環境で測定する場合は、式 (8) の仮定を利用できない、あるいは式 (8) を用いると算出された物性値の精度が下がるという課題があった。

【0066】

これに対して、本開示の手法によれば、従来技術で必要であった物性パラメータ間の相関関係を具体的に仮定することなく、物性パラメータを推定することができる。

【0067】

< 効果 >

30

【0068】

伝達関数算出部 12 - 8 から出力されるデータの伝達関数は消光係数の情報を有し、SNR 算出部 12 - 6 から出力される SNR は消光係数および散乱係数の情報を有するので、上記のように距離 L に存在するターゲットからのパルス受信信号について、SNR に加えて強度変調周波数 f_k の伝達関数特性を算出することで、ターゲットの消光係数と散乱係数を独立して検出することが可能となる。

【0069】

従来のレーザレーダ装置では消光係数と散乱係数を独立に算出することが不可能であるという課題があり、通常は既知のターゲット情報を利用し、または既知のターゲット情報をもとに消光係数と散乱係数の関係性を近似のうえ定式化して利用していたため、測定値の精度が低い、あるいはターゲットが想定と異なる未知の場合は測定物性パラメータを誤算出するという課題があった。本開示の手法を使用することで、消光係数と散乱係数の関係性を定式化する必要がなくなり、従来のレーザレーダ装置の課題を解決することができる。

40

【0070】

< 変形例 >

以下、実施の形態 1 の変形例について説明する。パルスレーザの発生手法としては、連続波レーザをパルス化する手法のみでなく、Qスイッチレーザやモード同期レーザなどのパルス波レーザを直接発生する手法等の一般的手法のいずれか、あるいはその組み合わせを用いてもよい。強度変調パルスの生成方法としては、電解吸収変調器、電気光学結晶若し

50

くは光ブロック、若しくはそれらに類するもの、またはそれらを用いて作成された強度変調器を用いて強度変調パルスを生成する手法、光源を直接電気信号パルス列で励起することで疑似的な強度変調パルスを生成する手法、パルスレーザをビームスプリッタで分割させて片方のパルスを遅延させて再び合波することで疑似的な強度変調パルスを生成する手法、片側のミラーのみ反射率を下げた共振器内に波長変換結晶を設置し疑似的な強度変調パルスを生成する手法などを利用してよい。

【0071】

光検出部において直接検波方式を仮定したが、強度変調パルスを送信光として利用していれば、本開示の技術をコヒーレントライダ、差分吸収ライダ、二重偏光型ライダに適用してもよい。コヒーレントライダに適用する場合、ターゲットの物性情報に加えてターゲット移動速度を算出することができるので、より高精度かつ多数のパラメータ計測を実施することが可能となる。差分吸収ライダに適用する場合、光源部は、第1の波長の強度変調パルスと、第1の波長と異なる第2の波長の強度変調パルスとを出力し、信号処理部は、第1の波長の受信光と第2の波長の受信光の受信信号強度比から、ターゲットの物性情報として、ターゲットの吸収波長および濃度をさらに算出することができる。二重偏光型ライダに適用する場合、光源部は2つの直交する偏光状態を持つ強度変調パルスを出力し、信号処理部は2つの偏光による受信信号強度比から、ターゲットの物性情報として、ターゲットの粒形をさらに算出することができる。また、光学系において、送受光学系を前提としたが、送受別軸の構成であってもよい。送受別軸の場合、テレスコープ9とは異なる不図示のテレスコープが受信側光学系10と接続され、送受分離部8と受信側光学系10とが接続されない。このような送受別軸の構成は一般的であり、実施の形態1の動作において影響を及ぼさない。

10

20

【0072】

実施の形態2。

以下、図11から図13を参照して、実施の形態2によるレーザレーダ装置について説明する。

【0073】

<構成>

図11に示されているように、実施の形態2によるレーザレーダ装置の全体的な構成は、図1に示した実施の形態1のレーザレーダ装置の構成と同様である。図12に示されているように、実施の形態2のレーザレーダ装置においては、光源部60Aは、光源1、強度変調器2、強度変調信号生成部4A、パルス信号生成部5、およびパルス変調部6を備える。実施の形態2によるレーザレーダ装置においては、光源部60Aが備える強度変調信号生成部4Aの構成が実施の形態1の強度変調信号生成部4と異なる。

30

【0074】

図12に示されているように、強度変調信号生成部4Aは、M個の強度変調信号(f)生成部からなる強度変調信号(f)生成部群4-1と、強度変調信号(f)生成部群4-1に接続された強度変調信号混合部4-2を備える。

【0075】

強度変調信号(f)生成部群4-1は、M個の異なる周波数の強度変調信号を生成する。強度変調信号(f)生成部群4-1は、ファンクションジェネレータ、FPGA、基準信号発生器と通倍機あるいは分周期等のRF周波数信号発生器で構成される。

40

【0076】

強度変調信号混合部4-2は、強度変調信号(f)生成部群4-1からのM個の強度変調信号を混合する。強度変調信号混合部4-2は、例えばRF周波数のミキサで構成される。

【0077】

<動作>

実施の形態1においては、ある強度変調周波数 f_k でレーザ光を強度変調してパルスを生成し、M種のパルスのそれぞれを積算のためにa回ずつ照射した。これに対し、実施の形態2では、M個の異なる周波数($f_1 \sim f_M$)をもつ強度変調信号を同時に送信パルスに

50

付与し、送信パルスを積算のために a 回照射する。実施の形態 2 の動作は、この点について実施の形態 1 の場合と相違する。その他については、実施の形態 2 の動作は実施の形態 1 の動作と同様である。相違点について、図 1 3 を参照して説明する。

る。

【 0 0 7 8 】

ステップ S T 2 1 において、強度変調信号 (f) 生成部群 4 - 1 は、トリガ信号に基づいて周波数 f 1 ~ f M の強度変調信号を生成し、周波数 f 1 ~ f M の M 個の強度変調信号を強度変調信号混合部 4 - 2 および信号処理部 1 2 へ出力する。

【 0 0 7 9 】

ステップ S T 2 2 において、強度変調信号混合部 4 - 2 は、M 個の強度変調信号を混合する。強度変調信号混合部 4 - 2 は、混合した信号を、強度変調器 2 へ出力する。強度変調信号混合部 4 - 2 は、混合した信号を信号処理部 1 2 へ出力してもよい。強度変調信号混合部 4 - 2 による動作に引き続き、強度変調器 2 は、光源 1 からの単一周波数の連続波レーザー光を、混合された強度変調信号で強度変調し、強度変調された連続波レーザー光をパルス変調部 6 へ出力する。

10

【 0 0 8 0 】

ステップ S T 2 3 において、パルス変調部 6 は、パルス信号生成部 5 からのパルス信号に基づいて、強度変調された連続波レーザー光をパルス光 P にパルス変調し、パルス光 P を送信側光学系 7 へ出力する。

【 0 0 8 1 】

ステップ S T 2 4 において、テレスコープ 9 は、送信側光学系 7 により所定のビーム径とビーム拡がり角に変換されたパルス光 P を、スキャナ 1 3 を介してターゲットに向かって照射する。大気中に照射された送信光 P はターゲットに照射され、送信光 P がターゲットによって散乱された際に受信光 R が生じる。

20

【 0 0 8 2 】

ステップ S T 2 5 において、テレスコープ 9 は、受信光 R を開口で受信し、受信光 R を送受分離器 8 へ出力する。受信光 R は送受分離器 8 を介して受信側光学系 1 0 へと送られる。受信光 R は受信側光学系 1 0 で所定のビーム径及びビーム拡がり角に変換された後、受光部 1 1 へと送られる。受信光 R は受光部 1 1 により受信電気信号に変換され、受信電気信号は信号処理部 1 2 へ送られる。

30

【 0 0 8 3 】

レーザレーダ装置は、以上のステップ S T 2 3 から S T 2 5 の送受信処理を a 回繰り返す。

【 0 0 8 4 】

ステップ S T 2 6 からステップ S T 3 3 の処理は、実施の形態 1 におけるステップ S T 9 からステップ S T 1 6 の処理と同様である。

【 0 0 8 5 】

< 変形例 >

以上の説明では、M 個の異なる強度変調信号生成部を用意したが、 $M = X Y$ となるような X と Y において、X 個の異なる強度変調信号生成部を用意し、1 パルスに X 個の強度変調を付与し、強度変調周波数を変化させながら Y 回パルスを照射することで Y パルスで M 個の異なる強度変調に対するターゲットの伝達関数特性を算出することができる。このような信号発生器の個数とパルス照射回数の変更は適宜行ってよい。

40

【 0 0 8 6 】

実施の形態 3 .

以下、図 1 4 ~ 図 1 7 を参照して、実施の形態 3 によるレーザレーダ装置について説明する。実施の形態 1 および 2 の構成では、各パルス P k に周波数 f k の強度変調を付与した際に生じる各強度変調パルス間のパルスパワーまたは強度変調する度合いの不均一性により、算出される伝達関数特性に誤差が生じる場合がある。段落を変えて説明する。

【 0 0 8 7 】

図 1 4 A のように、各強度変調パルスのパルスパラメータの差が小さい場合、図 1 4 B ま

50

たは図 1 4 C のように、ターゲットからの受信信号 S N R から評価された伝達関数（点線）は真値（実線）とほぼ一致する。その一方で、例えば図 1 5 A のように、各強度変調パルスのパルスパラメータの差が大きい場合、図 1 5 B または図 1 5 C のように、ターゲットからの受信信号 S N R から評価された伝達関数（点線）は真値（実線）と一致せず、誤算出の要因となる。ここで、パルスパラメータとは、各強度変調パルスの包絡線形状や、各強度変調パルスを構成するピーク成分や、光パルスに付与された強度変調周波数や、それに類するパラメータを表す。また、パルスパラメータの差とは、各強度変調パルスの包絡線形状や、各強度変調パルスを構成するピーク成分や、光パルスに付与された強度変調周波数や、それに類するパラメータの理想値に対する差を表す。

【 0 0 8 8 】

そこで、実施の形態 3 のレーザレーダ装置は、強度変調パルス信号の一部をモニタして各パルス（P 1 ~ P M）のパルスパラメータが最適になるような制御を加えることで、検出された S N R からより正確な伝達関数を算出するように構成される。

【 0 0 8 9 】

< 構成 >

実施の形態 3 によるレーザレーダ装置は、実施の形態 1 のレーザレーダ装置に対して、次の点で異なる。すなわち、図 1 6 に示されているように、実施の形態 3 によるレーザレーダ装置は、光パルス分岐部 1 4、光パルスモニタ部 1 5、および光パルス補正部 1 6 を更に備える。光パルス分岐部 1 4 は、パルス変調部 6 と送信側光学系 7 の間に備えられる。光パルスモニタ部 1 5 は、光パルス分岐部 1 4 の後段に備えられる。光パルス補正部 1 6 は、光パルスモニタ部 1 5 の後段に備えられ、強度変調信号生成部 4 B およびパルス信号生成部 5 B に接続される。なお、光源 1、強度変調器 2、強度変調信号生成部 4 B、パルス信号生成部 5 B、およびパルス変調部 6 は、光源部 6 0 B を構成する。なお、光パルス分岐部 1 4、光パルスモニタ部 1 5、および光パルス補正部 1 6 を実施の形態 2 によるレーザレーダ装置に対して追加するように、実施の形態 2 によるレーザレーダ装置を变形してもよい。

【 0 0 9 0 】

光パルス分岐部 1 4 は、パルス変調部 6 で生成された強度変調パルスの一部を分岐し、分岐された一部のパルスを光パルスモニタ部 1 5 へ出力する。

【 0 0 9 1 】

光パルスモニタ部 1 5 は、光パルス信号を電気信号に変換する。

【 0 0 9 2 】

光パルス補正部 1 6 は、光パルスモニタ部 1 5 からの電気信号と、あらかじめ保有している理想的な強度変調パルス波形とを比較し、パルス変調部から出力されるパルスの波形が理想的になるよう強度変調信号生成部 4 およびパルス信号生成部 5 へフィードバック信号を出力する。例えば、光パルス補正部 1 6 は、送信パルスのパルスパワーと変調強度を制御するためのフィードバック信号を出力する。

【 0 0 9 3 】

< 動作 >

次に、図 1 7 を参照して、実施の形態 3 のレーザレーダ装置の動作について説明する。実施の形態 3 のレーザレーダ装置の動作は、実施の形態 3 のレーザレーダ装置の動作に対してステップ S T 4 1、S T 4 2、S T 4 3 および S T 4 4 の処理が追加された点で異なる。重複する説明を省略するため、実施の形態 1 の動作と相違する点についてのみ説明する。

【 0 0 9 4 】

ステップ S T 4 1 において、光パルスモニタ部 1 5 は、光パルス分岐部 1 4 から分岐されたモニタ信号としての光パルス信号を受光し、受光した光パルス信号を電気信号に変換する。

【 0 0 9 5 】

ステップ S T 4 2 において、光パルス補正部 1 6 は、光パルスモニタ部 1 5 からの電気信号の波形と、あらかじめ保有している理想的な強度変調パルス波形とを比較し、これらの

10

20

30

40

50

波形の偏差が抑制されるように、即ちパルス変調部から出力されたパルスの波形が理想的になるように、強度変調信号生成部 4 およびパルス信号生成部 5 へフィードバック信号を出力する。

【 0 0 9 6 】

フィードバック信号が生成された後のステップ S T 1 において、強度変調信号生成部 4 B は、フィードバック信号に基づいて周波数 f_1 の強度変調信号を生成し、生成した周波数 f_1 の強度変調信号を強度変調器 2 および信号処理部 1 2 へ出力する。これに引き続き、強度変調器 2 は、光源 1 からの単一周波数の連続波レーザー光を、フィードバック信号に基づいて生成された周波数 f_1 の強度変調信号で強度変調し、強度変調された連続波レーザー光をパルス変調部 6 へ出力する。

10

【 0 0 9 7 】

フィードバック信号が生成された後のステップ S T 2 において、パルス変調部 6 は、パルス信号生成部 5 からのフィードバック信号に基づいて生成されたパルス信号に基づいて、強度変調された連続波レーザー光をパルス変調する。

【 0 0 9 8 】

パルス P_k ($k = 2 \sim M$) の場合についても同様に、ステップ S T 4 3 において光パルスモニタ部 1 5 によりモニタ信号が受光され、S T 4 4 においてフィードバック信号が生成される。フィードバック信号に基づいた周波数 f_k の強度変調信号が生成され (ステップ S T 5)、フィードバック信号に基づいたパルス P_k が生成される。

【 0 0 9 9 】

< 効果 >

実施の形態 3 によるレーザー装置によれば、各パルス P_k に周波数 f_k の強度変調を付与した際に生じる各強度変調パルス間のパルスパワーや強度変調度の理想値に対する差を抑制することができるので、算出される伝達関数特性に誤差が生じることを防止できる。

20

【 0 1 0 0 】

実施の形態 4 .

以下、図 1 8 ~ 図 2 0 を参照して、実施の形態 4 によるレーザー装置について説明する。実施の形態 4 によるレーザー装置は、実施の形態 3 によるレーザー装置と同様に、各パルス P_k に周波数 f_k の強度変調を付与した際に生じる各強度変調パルス間のパルスパワーや強度変調度の不均一性から算出される伝達関数特性の誤差を補正することを目的とする。この目的を達成する手法が、実施の形態 4 によるレーザー装置と実施の形態 3 によるレーザー装置とは異なる。端的には、実施の形態 4 のレーザー装置は、強度変調パルス信号の一部をモニタして理想的な強度変調パルスパラメータに対する実際の強度変調パルスのパラメータを観測し、それらの情報をもとに発生しうる伝達関数の誤差などの受信信号の不確定性を算出し、それらの情報を用いて検出された S N R を補正することでより正確な伝達関数を算出するように構成される。以下にて、詳しく説明する。

30

【 0 1 0 1 】

< 構成 >

実施の形態 4 によるレーザー装置は、実施の形態 1 のレーザー装置に対して、次の点で異なる。すなわち、図 1 8 に示されているように、実施の形態 4 によるレーザー装置は、光パルス分岐部 1 4、および光パルスモニタ部 1 5 A を更に備える。光パルス分岐部 1 4 は、パルス変調部 6 と送信側光学系 7 の間に備えられる。光パルスモニタ部 1 5 A は、光パルス分岐部 1 4 の後段に備えられる。光パルスモニタ部 1 5 A は信号処理部 1 2 A に電氣的に接続される。光パルスモニタ部 1 5 A は光パルス信号を電気信号に変換して変換後の電気信号を光パルスモニタ信号として信号処理部 1 2 A へ供給する。また、図 1 9 に示されているように、信号処理部 1 2 A は、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 を更に備える。伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 は、一例として、信号処理部 1 2 において伝達関数算出部 1 2 - 8 と物性特性算出部 1 2 - 9 の間に備えられる。なお、光源 1、強度変調器 2、強度変調信号生成部 4、パルス信号生成部 5、およびパルス変調部 6 は、実施の

40

50

形態 1 の場合と同様に光源部 6 0 を構成する。なお、光パルス分岐部 1 4、光パルスモニタ部 1 5 A、および伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 を実施の形態 2 によるレーザレーダ装置に対して追加するように、実施の形態 2 によるレーザレーダ装置を変形してもよい。

【 0 1 0 2 】

光パルス分岐部 1 4 は、パルス変調部 6 で生成された強度変調パルスの一部を分岐し、分岐された一部のパルスを光パルスモニタ部 1 5 A へ出力する。

【 0 1 0 3 】

光パルスモニタ部 1 5 A は、光パルス信号を電気信号（光パルスモニタ信号）に変換する。

【 0 1 0 4 】

伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 は、光パルスモニタ部 1 5 A からの電気信号（光パルスモニタ信号）と、受信信号の周波数応答特性が一樣なターゲットからの受信信号のスペクトル特性が一樣となるような強度変調パルスの最適駆動条件に関する情報とを比較し、伝達関数算出部 1 2 - 8 からの出力を補正する。その情報には、理想的な強度変調パルス波形が含まれる。

10

【 0 1 0 5 】

< 動作 >

次に、図 2 0 を参照して、実施の形態 4 のレーザレーダ装置の動作について説明する。実施の形態 4 のレーザレーダ装置の動作は、実施の形態 3 のレーザレーダ装置の動作に対してステップ S T 5 5 の処理が追加された点、およびモニタ信号を受光するステップ（S T 4 1 A）の後に行われる処理がステップ S T 5 5 の処理である点で異なる。重複する説明を省略するため、実施の形態 3 の動作と相違する点についてのみ説明する。

20

【 0 1 0 6 】

なお、図 2 0 におけるステップ S T 5 1 ~ S T 5 4 は、実施の形態 3 に係る図 1 7 のステップ S T 1 ~ S T 8 と実質的に同様である。「実質的に」とは、モニタ信号に基づいてフィードバック信号を生成する処理（ステップ S T 4 1 ~ S T 4 4）を省略している点で、図 2 0 に示された処理は図 1 7 に示された処理と相違するからである。なお、実施の形態 4 のレーザレーダ装置も、実施の形態 3 と同様に、モニタ信号に基づいてフィードバック信号を生成する処理（ステップ S T 4 1 ~ S T 4 4）を行ってもよい。

【 0 1 0 7 】

図 2 0 のステップ S T 4 1 A において、光パルスモニタ部 1 5 A は、光パルス分岐部 1 4 から分岐されたモニタ信号としての光パルス信号を受光し、受光した光パルス信号を電気信号に変換し、変換後の電気信号を光パルスモニタ信号として信号処理部 1 2 A の伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 へ供給する。

30

【 0 1 0 8 】

ステップ S T 5 5 において、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 は、ステップ S T 4 1 A において取得された光パルスモニタ部 1 5 からの電気信号（光パルスモニタ信号）の波形と、あらかじめ保有している理想的な強度変調パルス波形とを比較し、これらの波形の偏差から生じる伝達関数算出結果の誤差を予測あるいは計算し、その誤差を訂正することで伝達関数の補正を行う。

【 0 1 0 9 】

本実施の形態では、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 による補正を積算処理後かつ S N R 算出後に実施したが、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 による補正を積算処理前または S N R 算出前に実施するように本実施の形態を変形してもよい。伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 による補正を積算処理前に補正を行う場合、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 は周波数解析部 1 2 - 4 と積算処理部 1 2 - 5 の間に備えられ、ステップ S T 5 5 における処理はステップ S T 1 2 の直後に実施される。伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 による補正を S N R 算出前に補正を行う場合、伝達関数算出補正部 1 2 - 1 1 は積算処理部 1 2 - 5 と S N R 算出部 1 2 - 6 の間に備えられ、ステップ S T 5 5 における処理はステップ S T 1 3 の直後に実施される。

40

【 0 1 1 0 】

50

< 効果 >

実施の形態 4 によるレーザレーダ装置によれば、各パルス P_k に周波数 f_k の強度変調を付与した際に生じる各強度変調パルス間のパルスパワーや強度変調度の不均一性から算出される伝達関数特性の誤差を補正し、より正確な物性特性算出ができる。

【 0 1 1 1 】

なお、実施形態を組み合わせたり、各実施形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 1 2 】

本開示のレーザレーダ装置は、ターゲットの消光係数などの物性パラメータを算出するためのレーザレーダ装置として用いることができる。

10

【 符号の説明 】

【 0 1 1 3 】

1 光源、2 強度変調器、3 トリガ生成回路部、4 強度変調信号生成部、4 - 1 強度変調信号生成部群、4 - 2 強度変調信号混合部、4 A 強度変調信号生成部、4 B 強度変調信号生成部、5 パルス信号生成部、5 B パルス信号生成部、6 パルス変調部、7 送信側光学系、8 送受分離器、9 テレスコープ、10 受信側光学系、11 受光部、12 信号処理部、12 A 信号処理部、12 - 1 フィルタ処理部、12 - 2 A / D 変換部、12 - 3 レンジピン分割部、12 - 4 周波数解析部、12 - 5 積算処理部、12 - 6 SNR 算出部、12 - 7 距離特性算出部、12 - 8 伝達関数算出部、12 - 9 物性特性算出部、12 - 10 物性距離特性算出部、12 - 11 伝達関数算出補正部、13 スキャナ、14 光パルス分岐部、15 光パルスモニタ部、15 A 光パルスモニタ部、16 光パルス補正部、60 光源部、60 A 光源部、60 B 光源部、100 a 処理回路、100 b プロセッサ、100 c メモリ。

20

30

40

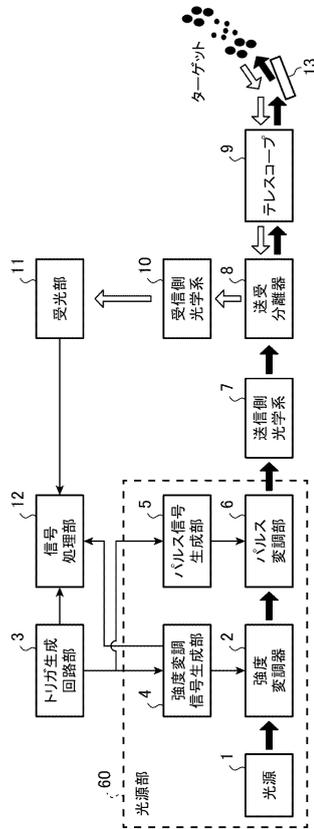
50

【要約】

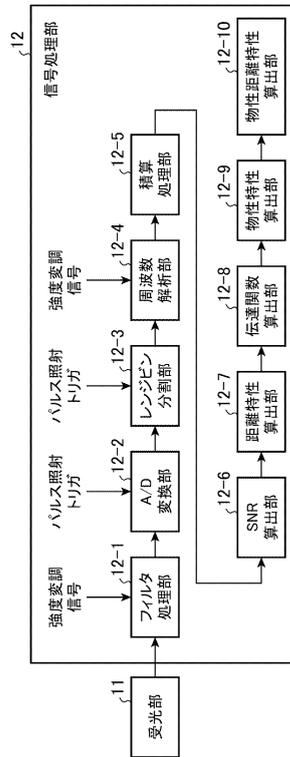
レーザレーダ装置は、レーザ光を互いに異なる周波数の強度変調信号により周期的に強度変調して複数の強度変調パルスを出力する光源部(60; 60A; 60B)と、複数の強度変調パルスをターゲットに送信し、ターゲットによる反射光を受信光として受信するテレスコープ(9)と、受信光を光電変換して受信電気信号を生成する受光部(11)と、受信電気信号に基づいてターゲットの距離および物性パラメータを算出する信号処理部(12)と、を備える。

【図面】

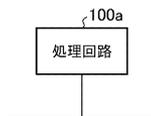
【図1】



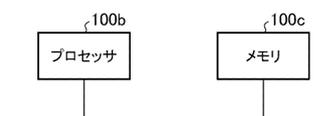
【図2】



【図3A】



【図3B】



10

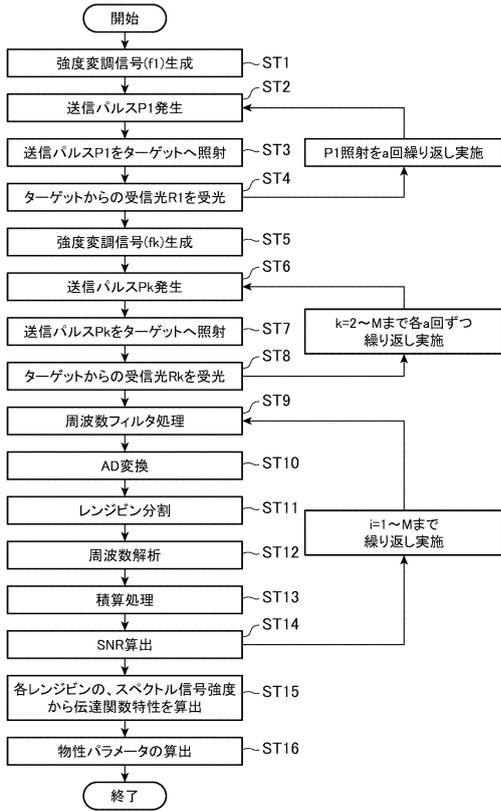
20

30

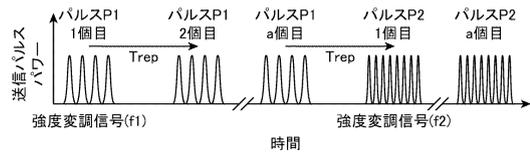
40

50

【 図 4 】



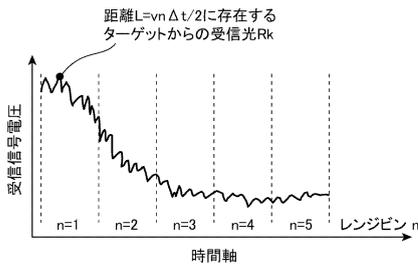
【 図 5 】



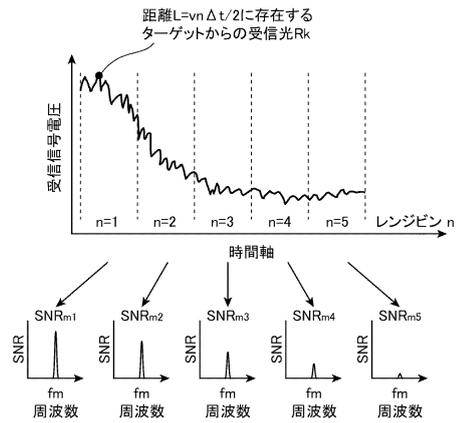
10

20

【 図 6 A 】



【 図 6 B 】

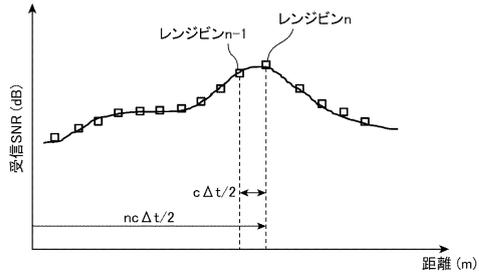


30

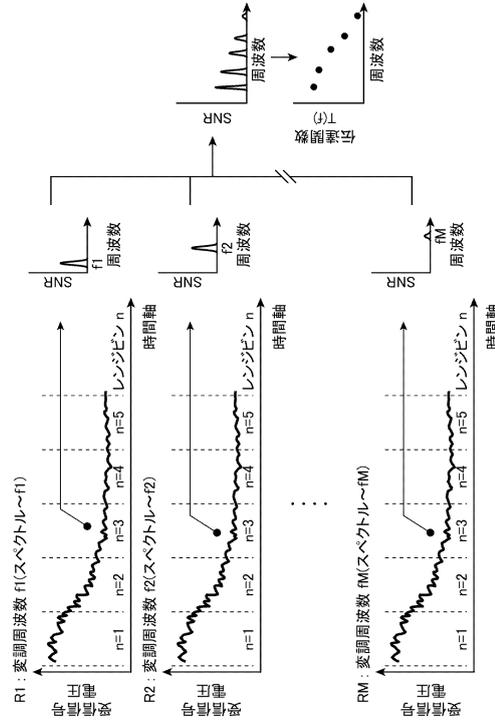
40

50

【 図 7 】



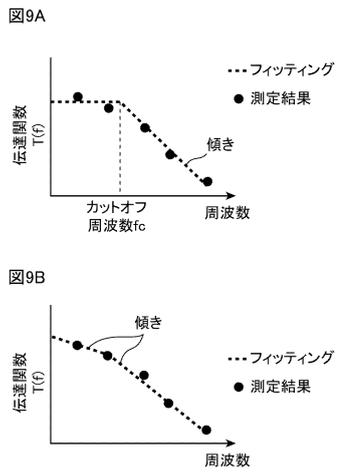
【 図 8 】



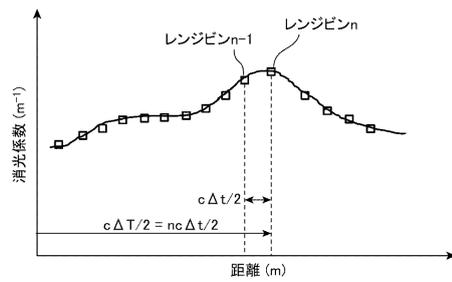
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

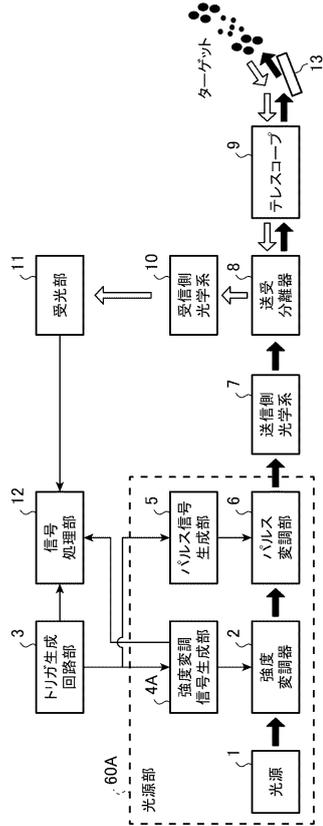


30

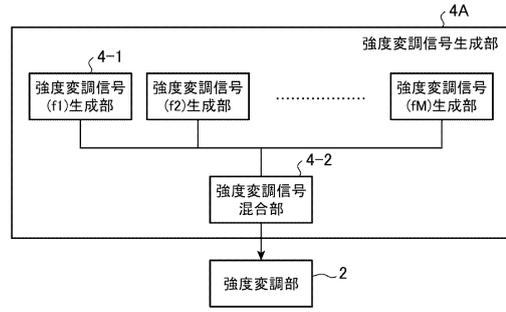
40

50

【図 1 1】



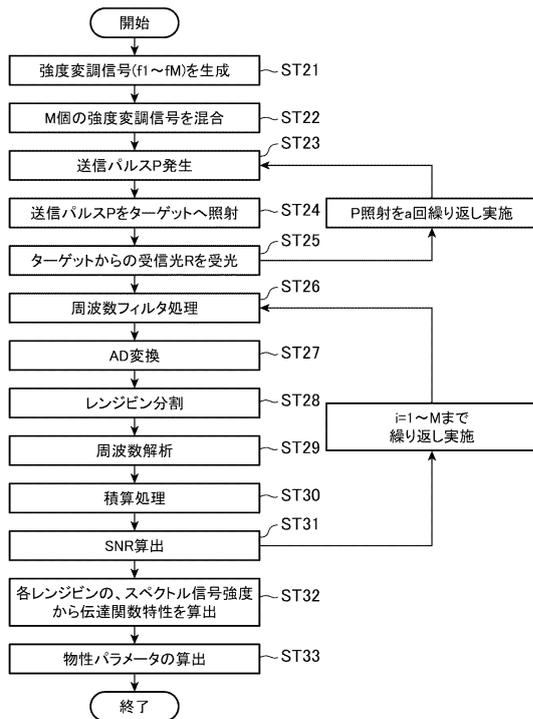
【図 1 2】



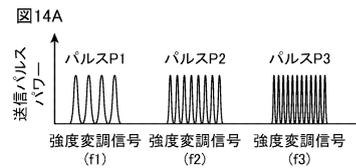
10

20

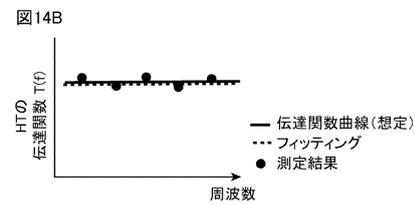
【図 1 3】



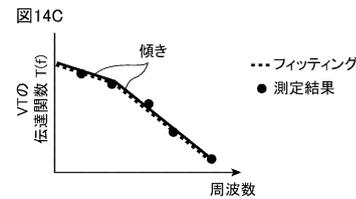
【図 1 4】



30

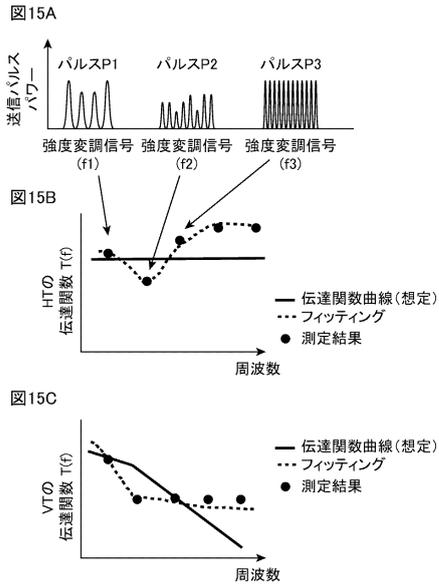


40

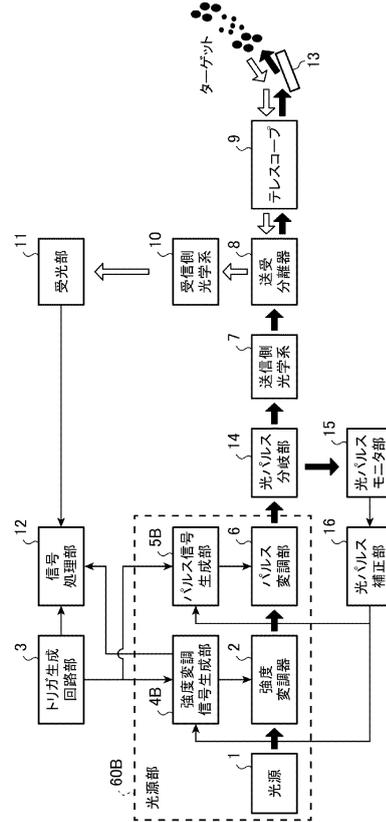


50

【図15】



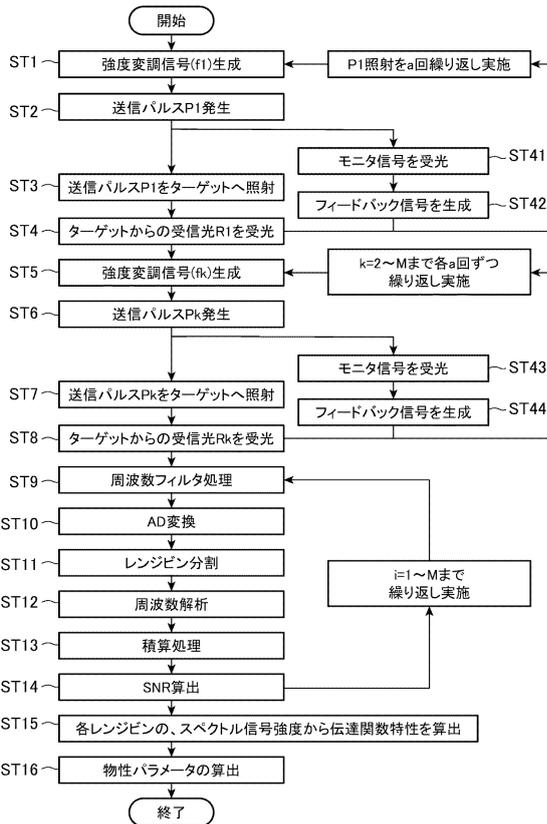
【図16】



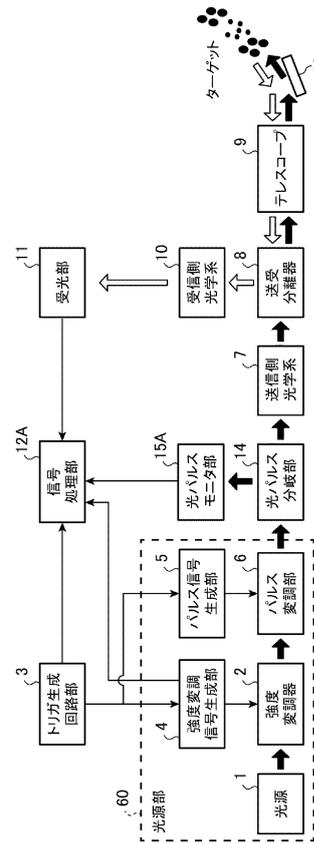
10

20

【図17】



【図18】

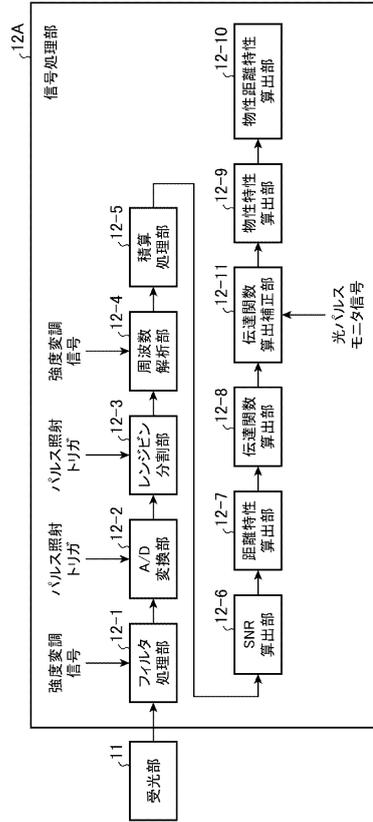


30

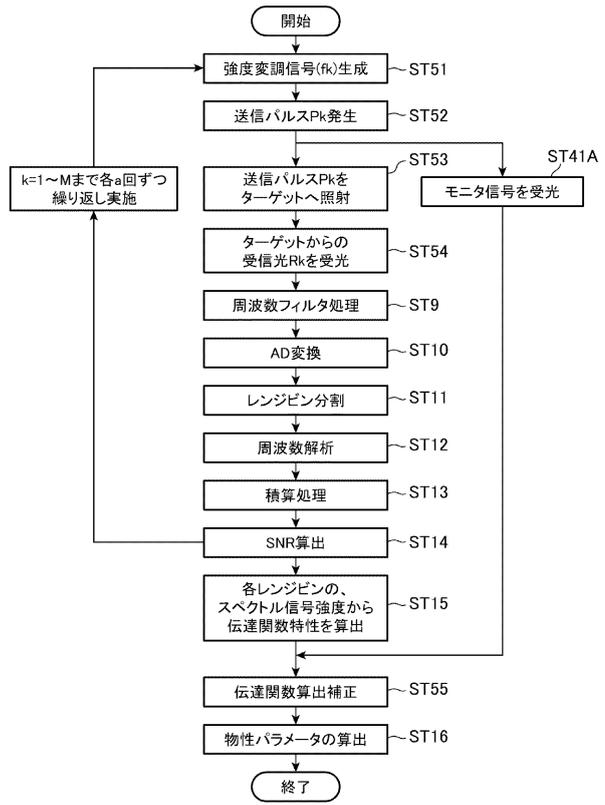
40

50

【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2013-108840(JP,A)
特開2004-028618(JP,A)
特開2020-106528(JP,A)
特開平10-073481(JP,A)
特開2007-248126(JP,A)
国際公開第2018/138766(WO,A1)
特開2008-309562(JP,A)
特開2017-198536(JP,A)
特開2010-276368(JP,A)
特開2016-035398(JP,A)
特開2007-216001(JP,A)
国際公開第2015/024058(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01S 7/48 - 7/51
G01S 17/00 - 17/95
G01N 21/00 - 21/61