【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第６部門第１区分
【発行日】令和6年1月9日(2024.1.9)

【国際公開番号】WO2022/209367
【出願番号】特願2023-510617(P2023-510617)
【国際特許分類】
G01S 17/34(2020.01)
G01S 17/931(2020.01)
G01S 7/4913(2020.01)
G01S 7/497(2006.01)
【FI】
G01S 17/34
G01S 17/931
G01S 7/4913
G01S 7/497

【手続補正書】
【提出日】令和5年9月25日(2023.9.25)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
周波数が変調された光を出射する光源と、
前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、
前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、
前記光源から出射される前記光の周波数を、前記周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で変調させ、前記検出信号に基づいて、前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する処理回路と、
前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、
を備え、
前記処理回路は、前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号に基づいて、前記計測データを生成する、
計測装置。
【請求項２】
前記処理回路は、前記第１補正信号の周波数と、前記第２補正信号の周波数とを決定し、前記第１補正信号の前記周波数と、前記第２補正信号の前記周波数とに基づいて、前記計測装置から前記対象物までの距離を決定し、前記距離の情報を含む前記計測データを生成する、請求項１に記載の計測装置。
【請求項３】
前記処理回路は、前記第１補正信号の周波数と、前記第２補正信号の周波数とを決定し、

前記第１補正信号の前記周波数と、前記第２補正信号の前記周波数との差に基づいて、前記対象物の速度を決定し、前記速度の情報を含む前記計測データを生成する、
請求項１または２に記載の計測装置。
【請求項４】
前記処理回路は、前記光源に印加される制御電圧を変化させることにより、前記光源から出射される前記光の周波数を変化させ、
前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記制御電圧と、補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであり、
前記処理回路は、前記制御電圧に対応する前記補正値に基づいて、前記検出信号を補正する、
請求項１から３のいずれかに記載の計測装置。
【請求項５】
前記第１補正用データは、前記アップチャープ期間の一部である第１期間における前記制御電圧と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであり、
前記第２補正用データは、前記ダウンチャープ期間の一部である第２期間における前記制御電圧と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであり、
前記処理回路は、
前記検出信号から、前記第１期間に対応する第１信号と、前記第２期間に対応する第２信号とを抽出し、
前記第１補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第１信号を補正することによって前記第１補正信号を生成し、
前記第２補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第２信号を補正することによって前記第２補正信号を生成する、
請求項４に記載の計測装置。
【請求項６】
前記干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を、前記出力光と、前記参照光である第１参照光と、第２参照光とに分離し、
前記計測装置は、前記第２参照光の波長または周波数を計測する計測器をさらに備え、
前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記第２参照光の波長または周波数と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータである、
請求項１から３のいずれかに記載の計測装置。
【請求項７】
前記第１補正用データは、前記アップチャープ期間の一部である第１期間における前記第２参照光の波長または周波数と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであり、
前記第２補正用データは、前記ダウンチャープ期間の一部である第２期間における前記第２参照光の波長または周波数と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであり、
前記処理回路は、
前記検出信号から、前記第１期間に対応する第１信号と、前記第２期間に対応する第２信号とを抽出し、
前記第１補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第１信号を補正することによって前記第１補正信号を生成し、
前記第２補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第２信号を補正することによって前記第２補正信号を生成する、
請求項６に記載の計測装置。
【請求項８】
前記処理回路は、前記光源から、周波数変調の周期が一定の前記光を出射させ、
前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記周波数変調における各周期内での位相と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータである、

請求項１から３のいずれかに記載の計測装置。
【請求項９】
前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記光源の前記周波数変調における基準時点からの時間と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータである、
請求項１から３のいずれかに記載の計測装置。
【請求項１０】
前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記検出信号のサンプリングタイミングを変更するための補正値の情報を含むテーブルまたは関数のデータである、請求項１から９のいずれかに記載の計測装置。
【請求項１１】
計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される方法であって、
前記計測装置は、
周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で前記周波数が変調された光を出射する光源と、
前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、
前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、
前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、
を備え、
前記方法は、
前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または、前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号を生成することと、
前記第１補正信号および／または前記第２補正信号に基づいて、前記距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、
を含む方法。
【請求項１２】
計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行されるコンピュータプログラムであって、
前記計測装置は、
周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で前記周波数が変調された光を出射する光源と、
前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、
前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、
前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、
を備え、
前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに、
前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または、前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号を生成することと、
前記第１補正信号および／または前記第２補正信号に基づいて、前記距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、
を実行させる、コンピュータプログラム。
【手続補正２】

【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、対象物の距離および／または速度を計測する装置および方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
ＦＭＣＷ（Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ Ｍｏｄｕｌａｔｅｄ Ｃｏｎｔｉｎｕｏｕｓ Ｗａｖｅ）方式による測距装置は、周波数変調された電磁波を送出し、送信波と反射波との周波数の差に基づいて距離を計測する。使用される電磁波がミリ波等の電波である場合、ＦＭＣＷ方式の測距装置はＦＭＣＷレーダーと呼ばれる。ＦＭＣＷレーダーでは、電波の発振源として、例えば電圧制御発振器（ＶＣＯ）が用いられる。電磁波が可視光または赤外光などの光である場合、ＦＭＣＷ方式の測距装置はＦＭＣＷライダー（ＬｉＤＡＲ）と呼ばれる。ＦＭＣＷライダーでは、光源として、例えばレーザ光源が用いられる。
【０００３】
ＦＭＣＷライダーは、周波数が周期的に変調された光を光源から対象物に向けて出射し、対象物からの反射光と、光源からの参照光とを干渉させて干渉光を得る。干渉光は、光検出器によって検出され、電気信号に変換される。この電気信号には、反射光の周波数と参照光の周波数との差に相当する周波数の信号成分が含まれる。この信号成分は「ビート信号」と呼ばれる。ビート信号の周波数は「ビート周波数」と呼ばれる。ビート周波数と対象物までの距離との間には相関がある。したがって、ビート周波数に基づいて対象物の距離を算出することができる。さらに、移動する対象物からの反射光のドップラーシフトを利用して対象物の速度を算出することもできる。例えば、光源から出射される光の周波数が増加するアップチャープ期間、および周波数が減少するダウンチャープ期間におけるビート信号の周波数の差に基づいて、対象物の速度を算出することができる。
【０００４】
ＦＭＣＷライダーは、ＴｏＦ（Ｔｉｍｅ ｏｆ Ｆｌｉｇｈｔ）方式のライダーとは異なり、光検出器から出力された電気信号の周波数を検出するので、測距結果が外乱光の影響を受けにくいという特徴がある。その一方で、ＦＭＣＷライダーの距離計測の精度は、光の周波数を時間に対して如何に線形的に変調できるかに依存すると考えられてきた。
【０００５】
特許文献１は、ＦＭＣＷレーダーの電圧制御発信器が電圧を時間に対して線形的に掃引した場合でも、周波数が非線形的に変化してしまうことから測距性能が低下することを記載している。これを解決するために、特許文献１は、人工ターゲットから得られる掃引信号に基づいて、干渉信号のサンプリングのタイミングを動的に変化させる方法を開示している。これにより、周波数掃引の非線形性を補償できることが記載されている。
【０００６】
特許文献２は、複数の距離および複数の周囲温度に対応する補正データを用いて、干渉信号の周波数を補正するＦＭＣＷレーダー装置を開示している。これにより、検出精度を向上させることが記載されている。
【０００７】
特許文献３は、ビート信号の周波数を連続的に計測し、計測された周波数の平均値に基づいて対象物までの距離を算出するＦＭＣＷライダー装置の例を開示している。これにより、レーザの非線形チャープの影響を除去して、正確な距離測定が可能になることが記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】

【０００８】
【特許文献１】国際公開第２００６／０３５１９９号
【特許文献２】特開２０１４－１８５９７３号公報
【特許文献３】特開２０１９－４５２００号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
本開示は、アップチャープとダウンチャープとで異なる周波数変化の非線形性に起因する距離および／または速度の計測性能の低下を抑制するための新規な技術を提供する。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
本開示の一態様に係る計測装置は、周波数が変調された光を出射する光源と、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、前記光源から出射される前記光の周波数を、前記周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で変調させ、前記検出信号に基づいて、前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する処理回路と、前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、を備える。前記処理回路は、前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号に基づいて、前記計測データを生成する。
【００１１】
本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体によって実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意の組み合わせによって実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、揮発性の記録媒体を含んでいてもよいし、ＣＤ－ＲＯＭ（Ｃｏｍｐａｃｔ Ｄｉｓｃ－Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）等の不揮発性の記録媒体を含んでいてもよい。装置は、１つ以上の装置で構成されてもよい。装置が２つ以上の装置で構成される場合、当該２つ以上の装置は、１つの機器内に配置されてもよく、分離した２つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、１つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。
【発明の効果】
【００１２】
本開示の一態様によれば、アップチャープ期間とダウンチャープ期間の一方または両方に対して、適切な信号補正を行うことにより、距離および／または速度の計測性能を向上させることができる。
【図面の簡単な説明】
【００１３】
【図１Ａ】図１Ａは、光源に印加される制御電圧の時間変化の例を示すグラフである。
【図１Ｂ】図１Ｂは、干渉光を検出することによって得られた電気信号の時間変化を示すグラフである。
【図１Ｃ】図１Ｃは、図１Ｂに示す干渉波信号の瞬時周波数の時間変化を示すグラフである。
【図２】図２は、実施形態１による計測装置１００の概略構成を示すブロック図である。
【図３】図３は、光源および干渉光学系の構成例を示すブロック図である。
【図４】図４は、処理回路から出力される制御信号と、駆動回路から出力される駆動電流信号の例を示す図である。

【図５】図５は、干渉光学系がファイバ光学系である計測装置の構成例を示すブロック図である。
【図６】図６は、光偏向器を備える計測装置の一例を示すブロック図である。
【図７Ａ】図７Ａは、対象物が静止している場合における参照光および反射光の周波数の時間変化の例を模式的に示す図である。
【図７Ｂ】図７Ｂは、対象物が計測装置１００に近づく場合における参照光および反射光の周波数の時間変化を模式的に示す図である。
【図８】図８は、計測装置によるキャリブレーション動作を示すフローチャートである。
【図９】図９は、検出信号の周期の分析結果の例を示すグラフである。
【図１０】図１０は、一次記憶装置に格納される周期のデータの一例を示す図である。
【図１１Ａ】図１１Ａは、表示画面の一例を示す図である。
【図１１Ｂ】図１１Ｂは、表示画面の他の例を示す図である。
【図１２】図１２は、補正テーブルの例を示す図である。
【図１３】図１３は、ピーク点を推定する処理の一例を説明するための図である。
【図１４】図１４は、表示画面のさらに他の例を示す図である。
【図１５】図１５は、表示画面のさらに他の例を示す図である。
【図１６】図１６は、計測装置による距離および速度の計測動作の例を示すフローチャートである。
【図１７】図１７は、計測中に表示装置が表示する画面の一例を示す図である。
【図１８】図１８は、補正前後の検出信号の波形の例を示す図である。
【図１９】図１９は、ビート周波数と距離との関係を規定する変換テーブルの一例を示す図である。
【図２０Ａ】図２０Ａは、ビート周波数と距離との関係を規定するアップチャープ用の変換テーブルの例を示す図である。
【図２０Ｂ】図２０Ｂは、ビート周波数と距離との関係を規定するダウンチャープ用の変換テーブルの例を示す図である。
【図２１】図２１は、周波数差と速度との関係を規定する変換テーブルの例を示す図である。
【図２２Ａ】図２２Ａは、対象物が静止している場合の測距結果の画面の例を示している。
【図２２Ｂ】図２２Ｂは、対象物が移動しているときの測距および速度計測結果の画面の例を示している。
【図２３Ａ】図２３Ａは、補正テーブルの他の例を示す図である。
【図２３Ｂ】図２３Ｂは、補正テーブルのさらに他の例を示す図である。
【図２３Ｃ】図２３Ｃは、補正テーブルのさらに他の例を示す図である。
【図２４】図２４は、実施形態１の変形例１における動作を説明するための図である。
【図２５】図２５は、実施形態１の変形例３における計測装置の概略構成を示すブロック図である。
【図２６Ａ】図２６Ａは、実施形態１の変形例３におけるアップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルの例を示す図である。
【図２６Ｂ】図２６Ｂは、実施形態１の変形例３におけるアップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルの他の例を示す図である。
【図２７】図２７は、本開示の実施形態の効果を検証するための実験例における計測装置の構成を示すブロック図である。
【発明を実施するための形態】
【００１４】
（本開示の基礎となった知見）
発明者らは、ＦＭＣＷライダーにおける干渉光について、以下の現象を発見した。光の周波数を線形的に変調するために光源の制御電圧を線形的に掃引したとしても、周波数は非線形的に変化するが、その非線形性は、周波数を上昇させる過程であるアップチャープ

と、周波数を下降させる過程であるダウンチャープとで異なる。以下、図１Ａから図１Ｃを参照しながら、この現象を説明する。

【００１５】

図１Ａから図１Ｃは、本発明者らが行った実験によって得られたデータの例を示している。この実験では、静止点に置かれた半導体レーザ光源から、静止した対象物である反射板に向けてレーザ光を出射した。光源に入力される制御信号の電圧（以下、「制御電圧」とも呼ぶ）を所定の電圧範囲かつ所定の周期で線形的に掃引することにより、光源から、周波数が周期的に変調されたレーザ光を出射させた。干渉光学系を用いて、反射板からの反射光と光源からの出射光とを干渉させ、干渉光を光検出器で検出し、取得された信号を記録した。

【００１６】

図１Ａは、光源に印加される制御電圧の１周期あたりの時間変化の例を示すグラフである。この実験では、制御信号は、図１Ａに示すように三角波状に電圧が変動するように掃引された。この制御信号は、電圧が下限値から上限値まで上昇するアップチャープと、電圧が上限値から下限値まで下降するダウンチャープとを含む。制御電圧が上昇する期間を「アップチャープ期間」と呼び、制御電圧が下降する期間を「ダウンチャープ期間」と呼ぶ。

【００１７】

図１Ｂは、干渉光を検出することによって得られた電気信号（以下、「検出信号」または「干渉波信号」とも呼ぶ）の時間変化を示すグラフである。図１Ｂに示すグラフは、干渉波信号の電位変動を示しており、干渉波の強度の時間的な変動を反映している。

【００１８】

図１Ｃは、図１Ｂに示す干渉波信号の瞬時周波数の時間変化を示している。瞬時周波数は、図１Ｂに示す波形を周波数分析することによって得られる。この周波数を「ビート周波数」と称する。

【００１９】

図１Ａから図１Ｃに示すグラフにおいて、横軸の時間は共通である。いずれのグラフも、制御電圧の１周期分の信号の変化を表している。以下、制御電圧の周期を「変調周期」と称することがある。

【００２０】

本実験では静止点から静止した対象物に光を照射したので、制御電圧の線形的な掃引に対応して光の周波数も線形的に掃引されたのであれば、干渉波信号の周波数（すなわちビート周波数）は、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とが切り替わる僅かな期間を除き、一定になるはずである。しかしながら、実験の結果、アップチャープ期間とダウンチャープ期間のいずれにおいても、ビート周波数は一定にならず、さらに、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とで、ビート周波数の変化の傾向が異なることがわかった。図１Ｃに示すように、アップチャープ期間では、干渉波の周波数は徐々に上昇し、一定以上の周波数では上昇と下降を繰り返す。一方、ダウンチャープ期間では、干渉波の周波数は急激に上昇するが、アップチャープ期間よりも低い周波数にとどまり、上昇と下降を繰り返した後、急峻に下降する。このように、干渉波は、アップチャープ、ダウンチャープとも、制御電圧に対しても、時間に対しても非線形な変動を示す。また、このような制御電圧と時間に対する干渉波の周波数の非線形性は、光源として用いられるレーザ素子およびその動作状態ごとに異なる。このような現象が生じるのは、以下の理由によるものと考えられる。制御電圧の変化の態様によってレーザ素子を駆動する電流がレーザ素子に与える熱の時間的な変化の仕方が異なる。この変化の仕方の違いは、レーザ素子の共振器長、利得曲線、および発振モードの時間的変化に影響し、レーザの発振周波数の変動に違いをもたらしていると考えられる。

【００２１】

このように制御電圧または時間に対してビート周波数が変動し、さらにアップチャープとダウンチャープとで周波数変調の非線形性が異なると、対象物の距離および速度が一意

に定まらない。ビート周波数の変動を安定化させる目的で、周波数分析によって得られたスペクトルを制御電圧または時間について積分（すなわち平均化）することも考えられる。しかし、そのような積分を行った場合、ビート信号のスペクトル線幅が太くなるためにビート信号のピーク周波数を決定しにくくなり、距離および速度の計測精度が低下する。

【００２２】

以上のように、ＦＭＣＷライダーにおいては、上記のような課題が生じることがわかった。本発明者らは、上記の課題を解決するために、以下に説明する本開示の実施形態の構成に想到した。本発明者らは、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とで、異なる補正用データを用意し、計測時に、それらの補正用データを用いて、干渉波の検出信号を補正することにより、距離および／または速度の計測の精度を向上できることに想到した。以下、本開示の例示的な実施形態を説明する。

【００２３】

本開示の一実施形態による計測装置は、光源と、干渉光学系と、光検出器と、処理回路と、記憶装置とを備える。前記光源は、周波数が変調された光を出射する。前記干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する。前記光検出器は、前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する。前記処理回路は、前記光源から出射される前記光の周波数を、前記周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で変調させ、前記検出信号に基づいて、前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する。前記記憶装置は、前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する。前記処理回路は、前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号に基づいて、前記計測データを生成する。

【００２４】

上記の構成によれば、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とで、異なる補正用データに基づいて検出信号が補正される。これにより、アップチャープとダウンチャープとで異なる周波数変化の非線形性に起因する計測性能の低下を抑制することができる。

【００２５】

前記処理回路は、前記第１補正信号の周波数と、前記第２補正信号の周波数とを決定し、前記第１補正信号の前記周波数と、前記第２補正信号の前記周波数とに基づいて、前記計測装置から前記対象物までの距離を決定し、前記距離の情報を含む前記計測データを生成してもよい。例えば、処理回路は、第１補正信号の周波数と、第２補正信号の周波数との平均値を計算し、当該平均値から、対象物までの距離を決定してもよい。そのような動作により、距離をより正確に計測することができる。なお、周波数と距離との対応関係を規定するテーブルまたは関数などのデータが、記憶装置に予め記録され得る。処理回路は、当該データに基づいて、周波数から距離を決定することができる。

【００２６】

前記処理回路は、前記第１補正信号の周波数と、前記第２補正信号の周波数とを決定し、前記第１補正信号の前記周波数と、前記第２補正信号の前記周波数との差に基づいて、前記対象物の速度を決定し、前記速度の情報を含む前記計測データを生成してもよい。そのような動作により、対象物の速度をより正確に計測することができる。なお、第１補正信号の周波数と第２補正信号の周波数との差と、速度との対応関係を規定するテーブルまたは関数などのデータが、記憶装置に予め記憶され得る。処理回路は、当該データに基づいて、周波数の差から速度を決定することができる。

【００２７】

前記処理回路は、前記光源に印加される制御電圧を変化させることにより、前記光源から出射される前記光の周波数を変化させてもよい。前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記制御電圧と、補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数の

データであってもよい。前記処理回路は、前記制御電圧に対応する前記補正値に基づいて、前記検出信号を補正してもよい。そのような動作により、制御電圧の値に応じて変化する周波数変調の非線形性の影響を緩和し、距離および／または速度の計測性能を向上させることができる。

【００２８】

補正値は、例えば、検出信号の周期を補正するための係数であってもよい。その場合、処理回路は、検出信号から周期を決定し、周期に補正値を掛けることによって周期を補正することができる。そのような方法で補正された検出信号を用いることにより、距離および／または速度の計測性能を向上させることができる。

【００２９】

前記第１補正用データは、前記アップチャープ期間の一部である第１期間における前記制御電圧と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。前記第２補正用データは、前記ダウンチャープ期間の一部である第２期間における前記制御電圧と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。前記処理回路は、前記検出信号から、前記第１期間に対応する第１信号と、前記第２期間に対応する第２信号とを抽出し、前記第１補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第１信号を補正することによって前記第１補正信号を生成し、前記第２補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第２信号を補正することによって前記第２補正信号を生成してもよい。第１期間および第２期間として、例えば信号の変動が比較的安定した期間が選択され得る。このようにアップチャープ期間およびダウンチャープ期間のそれぞれから、信号の変動が比較的安定した一部の期間のみを抽出して信号の補正を行うことにより、より精度の高い計測が可能になる。

【００３０】

前記干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を、前記出力光と、前記参照光である第１参照光と、第２参照光とに分離するように構成されていてもよい。前記計測装置は、前記第２参照光の波長または周波数を計測する計測器をさらに備えていてもよい。前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記第２参照光の波長または周波数と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。制御電圧と光源から出射される光の周波数および波長との間には相関があるため、制御電圧に代えて、出射される光の周波数または波長に基づいて補正値を決定することができる。そのような動作により、制御電圧に基づいて補正値を決定する場合と同様の効果を得ることができる。

【００３１】

前記第１補正用データは、前記アップチャープ期間の一部である第１期間における前記第２参照光の波長または周波数と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。前記第２補正用データは、前記ダウンチャープ期間の一部である第２期間における前記第２参照光の波長または周波数と前記補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。前記処理回路は、前記検出信号から、前記第１期間に対応する第１信号と、前記第２期間に対応する第２信号とを抽出し、前記第１補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第１信号を補正することによって前記第１補正信号を生成し、前記第２補正用データにおける前記補正値に基づいて前記第２信号を補正することによって前記第２補正信号を生成してもよい。第１期間および第２期間として、例えば信号の変動が比較的安定した期間が選択され得る。このようにアップチャープ期間およびダウンチャープ期間のそれぞれから、信号の変動が比較的安定した一部の期間のみを抽出して信号の補正を行うことにより、より精度の高い計測が可能になる。

【００３２】

前記処理回路は、前記光源から、周波数変調の周期が一定の前記光を出射させてもよい。前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記周波数変調における各周期内での位相と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。あるいは、前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記光源の前記周波

数変調における基準時点からの時間と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。

【００３３】

前記第１補正用データおよび前記第２補正用データは、前記検出信号のサンプリングタイミングを変更するための補正値の情報を含むテーブルまたは関数のデータであってもよい。処理回路は、検出信号のサンプリングタイミングを補正値に従って決定することにより、検出信号を補正することができる。

【００３４】

本開示の他の実施形態による方法は、計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される。前記計測装置は、周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で前記周波数が変調された光を出射する光源と、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、を備える。前記方法は、前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または、前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号を生成することと、前記第１補正信号および／または前記第２補正信号に基づいて、前記距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、を含む。

【００３５】

本開示のさらに他の実施形態によるコンピュータプログラムは、計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される。前記計測装置は、周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で前記周波数が変調された光を出射する光源と、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物によって反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光を生成する干渉光学系と、前記干渉光を受け、前記干渉光の強度に応じた検出信号を出力する光検出器と、前記アップチャープ期間用の第１補正用データと、前記ダウンチャープ期間用の第２補正用データとを記憶する記憶装置と、を備える。前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに、前記アップチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第１補正用データに基づいて補正した第１補正信号、および／または、前記ダウンチャープ期間に対応する前記検出信号の一部を前記第２補正用データに基づいて補正した第２補正信号を生成することと、前記第１補正信号および／または前記第２補正信号に基づいて、前記距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、を実行させる。

【００３６】

本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路（ＩＣ）、またはＬＳＩ（ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）を含む１つまたは複数の電子回路によって実行され得る。ＬＳＩまたはＩＣは、１つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、１つのチップに集積されてもよい。ここでは、ＬＳＩまたはＩＣと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムＬＳＩ、ＶＬＳＩ（ｖｅｒｙ ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）、もしくはＵＬＳＩ（ｕｌｔｒａ ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）と呼ばれるものであってもよい。ＬＳＩの製造後にプログラムされる、Ｆｉｅｌｄ Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ（ＦＰＧＡ）、またはＬＳＩ内部の接合関係の再構成またはＬＳＩ内部の回路区画のセットアップができるｒｅｃｏｎｆｉｇｕｒａｂｌｅ ｌｏｇｉｃ ｄｅｖｉｃｅも同じ目的で使うことができる。

【００３７】
さらに、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部の機能または操作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは１つまたは複数のＲＯＭ、光学ディスク、ハードディスクドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている１つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインタフェースを備えていてもよい。
【００３８】
以下、本開示の例示的な実施形態を具体的に説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、ステップ、ステップの順序、表示画面のレイアウトなどは、一例であり、本開示を限定する趣旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。さらに、各図において、同一または類似の構成要素に対して同一の符号が付されている。重複する説明は省略または簡略化される場合がある。
【００３９】
（実施形態１）
本開示の例示的な第１の実施形態による計測装置を説明する。本実施形態の計測装置は、ＦＭＣＷ－ＬｉＤＡＲ技術を利用して対象物までの距離を計測する測距装置である。計測装置は、距離に加えて、または距離に代えて、対象物の速度を計測してもよい。計測装置は、例えば自動運転車、無人搬送車（ＡＧＶ）、無人航空機（ＵＡＶ）、または移動ロボットなどの移動体に搭載され得る。計測装置は、移動体に限らず、任意の機器に搭載されて使用され得る。
【００４０】
［構成］
図２は、本実施形態による計測装置１００の概略構成を示すブロック図である。図２において、太い矢印は光の流れを表し、細い矢印は信号またはデータの流れを表す。図２には、距離および／または速度の計測対象である対象物３００と、計測装置１００に接続される表示装置２１０および制御装置２２０も示されている。対象物３００は、例えば、障害物、人、または移動体（例えば自動車、二輪車、移動ロボット、またはドローン）などの任意の物体である。
【００４１】
図２に示す計測装置１００は、光源１１０と、干渉光学系１２０と、光検出器１３０と、処理回路１４０と、記憶装置１５０とを備える。光源１１０は、処理回路１４０から出力された制御信号に応答して、出射する光の周波数を変化させることができる。干渉光学系１２０は、光源１１０からの出射光を参照光と出力光とに分離し、出力光が対象物３００によって反射されて生じた反射光と参照光とを干渉させて干渉光を生成する。干渉光は、光検出器１３０に入射する。光源１１０および干渉光学系１２０の詳細な構成については後述する。
【００４２】
光検出器１３０は、干渉光を受け、干渉光の強度に応じた電気信号を生成して出力する。この電気信号を、以下、「検出信号」または「干渉波信号」と呼ぶ。光検出器１３０は、１つ以上の受光素子を備える。受光素子は、例えばフォトダイオードなどの光電変換素子を含む。光検出器１３０は、例えばイメージセンサのような、複数の受光素子を備えるセンサであってもよい。
【００４３】
処理回路１４０は、光源１１０を制御し、光検出器１３０から出力された検出信号に基

づく処理を行う電子回路である。処理回路１４０は、光源１１０を制御する制御回路と、検出信号に基づく信号処理を行う信号処理回路とを含み得る。処理回路１４０は、１つの回路として構成されていてもよいし、分離した複数の回路の集合体であってもよい。処理回路１４０は、光源１１０に制御信号を送出する。制御信号は、光源１１０に出射光の周波数を所定の範囲内で周期的に変化させる。言い換えれば、制御信号は、光源１１０から出射される光の周波数を掃引する信号である。制御信号は、ある振幅で周期的に変動する電圧を光源１１０に入力する信号である。処理回路１４０は、光源１１０が周波数変調された光を出射している状態で光検出器１３０から出力された検出信号を取得する。処理回路１４０は、取得した検出信号の一部を、記憶装置１５０に格納されている補正用データに基づいて補正する。処理回路１４０は、補正後の検出信号に基づいて、対象物３００までの距離および／または対象物３００の速度を決定する。処理回路１４０は、当該距離および／または速度を示すデータを生成して出力する。このデータを、以下、「計測データ」と呼ぶ。

【００４４】

記憶装置１５０は、例えば半導体メモリ、磁気ディスク、光学ディスクなどの、任意の記憶媒体を含む。記憶装置１５０は、処理回路１４０によって実行される補正処理に用いられる補正用データを記憶する。本実施形態における補正用データは、アップチャープ期間用の第１補正テーブルと、ダウンチャープ期間用の第２補正テーブルとを含む。アップチャープ期間は、制御信号の電圧が単調に増加する期間であり、光源１１０から出射される光の周波数が増加する期間である。ダウンチャープ期間は、制御信号の電圧が単調に減少する期間であり、光源１１０から出射される光の周波数が減少する期間である。第１補正テーブルは、アップチャープ期間に出射された光に基づく干渉光の検出信号を補正するために用いられる。第２補正テーブルは、ダウンチャープ期間に出射された光に基づく干渉光の検出信号を補正するために用いられる。各補正テーブルは、例えば光源１１０の動作状態と補正値との対応関係を規定する。これらの補正テーブルの詳細については後述する。各補正テーブルは、補正用データの一例である。補正用データは、補正テーブルに限らず、動作状態と検出信号の補正値との対応関係を規定する関数などの任意の形式のデータであってよい。記憶装置１５０は、処理回路１４０によって実行されるコンピュータプログラムも記憶する。

【００４５】

処理回路１４０および記憶装置１５０は、１つの回路基板に集積されていてもよいし、別々の回路基板に設けられていてもよい。処理回路１４０の機能が複数の回路に分散していてもよい。処理回路１４０の機能の少なくとも一部は、他の構成要素から離れた場所に設置された外部のコンピュータによって実現されていてもよい。そのような外部のコンピュータは、有線または無線の通信ネットワークを介して、光源１１０および光検出器１３０の動作の制御、または光検出器１３０から出力された検出信号に基づく信号処理を実行してもよい。

【００４６】

処理回路１４０は、対象物３００の距離および／または速度の計測を行うとき、以下の動作を実行する。

・光源１１０に制御信号を送出し、光源１１０から、周波数が増加するアップチャープ期間と、前記周波数が減少するダウンチャープ期間とを含む周期で周波数が変調された光を出射させる。
・記憶装置１５０に格納されているアップチャープ用の第１補正テーブルおよびダウンチャープ用の第２補正テーブルに基づき、検出信号の波形を補正する。
・補正した波形に基づく周波数分析により、アップチャープ期間およびダウンチャープ期間のそれぞれについて、ビート周波数を決定する。
・アップチャープ期間およびダウンチャープ期間の少なくとも一方におけるビート周波数に基づいて対象物３００までの距離を決定する。
・アップチャープ期間およびダウンチャープ期間におけるビート周波数の差に基づいて、

対象物３００の速度を決定する。
・距離および速度の情報を含む計測データを出力する。
【００４７】
計測データの出力先は、例えば表示装置２１０である。計測装置１００が移動体に搭載される場合、移動体の動作（例えばステアリングおよび速度等）を制御する制御装置２２０に計測データが出力されてもよい。計測データは、記憶装置１５０または外部の記憶装置に記録され得る。
【００４８】
表示装置２１０は、計測データに基づき、距離および／または速度を表示する。表示装置２１０は、例えば、数値またはグラフを表示するディスプレイである。表示装置２１０に代えて、または加えて、数値を読み上げる音声を出力するスピーカ、または数値もしくはグラフを印刷するプリンタ等の出力装置に計測データが出力されてもよい。
【００４９】
次に、光源１１０および干渉光学系１２０のより詳細な構成例を説明する。
【００５０】
図３は、光源１１０および干渉光学系１２０の構成例を示すブロック図である。この例における光源１１０は、駆動回路１１１と、発光素子１１２とを備える。駆動回路１１１は、処理回路１４０から出力される制御信号を受け、制御信号に応じた駆動電流信号を生成して発光素子１１２に入力する。発光素子１１２は、例えば半導体レーザ素子などの、高いコヒーレント性を持つレーザ光を出射する素子であり得る。発光素子１１２は、駆動電流信号に応答して周波数が変調されたレーザ光を出射する。
【００５１】
発光素子１１２から出射されるレーザ光の周波数は、一定の周期で変調される。周波数の変調周期は、例えば１マイクロ秒（μｓ）以上１０ミリ秒（ｍｓ）以下であり得る。周波数の変調振幅は、例えば１００ＭＨｚ以上１ＴＨｚ以下であり得る。レーザ光の波長は、例えば７００ｎｍ以上２０００ｎｍ以下の近赤外の波長域に含まれ得る。太陽光において、近赤外光の光量は可視光の光量よりも少ない。このため、レーザ光として近赤外光を使用することにより、太陽光の影響を低減することができる。用途によっては、レーザ光の波長は、４００ｎｍ以上７００ｎｍ以下の可視光の波長域、または紫外光の波長域に含まれていてもよい。
【００５２】
図４は、処理回路１４０から出力される制御信号と、駆動回路１１１から出力される駆動電流信号の例を示す図である。図４の部分（ａ）および（ｂ）は、それぞれ、制御信号および駆動電流信号の波形の例を示している。制御信号は、所定の周期および所定の振幅で変動する電圧を光源１１０の駆動回路１１１に印加する。例えば図４の部分（ａ）に示すように、制御信号の電圧は三角波状に変調され得る。制御信号の電圧は、三角波状に限らず、ノコギリ波状に変調されてもよい。三角波またはノコギリ波のように、電圧が線形的な変化を繰り返す制御信号により、発光素子１１２から出射される光の周波数を線形に近い形態で掃引することができる。ただし、前述のとおり、周波数の掃引は完全に線形的にはならない。このような制御信号の変調波形の振幅を変調電圧振幅、変調範囲の中央の電圧をバイアス電圧と呼ぶ。制御信号は、光源１１０の駆動回路１１１に、バイアス電圧を中心に変動する電圧を印加する。
【００５３】
駆動回路１１１は、制御信号を駆動電流信号に変換し、駆動電流信号で発光素子１１２を駆動する。図４の部分（ｂ）に示すように、駆動電流信号は、制御信号に対応する波形で変化する。駆動電流信号の変調範囲すなわち振幅を変調電流振幅、変調範囲の中央の電流をバイアス電流と呼ぶ。制御信号の電圧が増加すると、駆動電流信号が増加し、発光素子１１２から出射されるレーザ光の周波数が高くなる（すなわち波長が短くなる）。反対に、制御信号の電圧が減少すると、駆動電流信号が減少し、発光素子１１２から出射されるレーザ光の周波数が低くなる（すなわち波長が長くなる）。

【００５４】
図３に示す例における干渉光学系１２０は、分岐器１２１、ミラー１２２、およびコリメータ１２３を含む。分岐器１２１は、光源１１０の発光素子１１２から出射されたレーザ光を参照光と出力光とに分け、対象物３００からの反射光と参照光とを結合させて干渉光を生成する。ミラー１２２は、参照光を反射して分岐器１２１に戻す。コリメータ１２３は、コリメートレンズを含み、出力光を平行に近い広がり角にして対象物３００に照射する。なお、干渉光学系１２０は、図３に示す構成に限定されず、例えばファイバ光学系であってもよい。その場合、分岐器１２１としてファイバカップラが用いられ得る。参照光は必ずしもミラー１２２で反射される必要はなく、例えば光ファイバの引き回しで参照光を分岐器１２１に戻してもよい。

【００５５】
図５は、干渉光学系１２０がファイバ光学系である計測装置１００の構成例を示すブロック図である。図５に示す例では、干渉光学系１２０は、第１ファイバスプリッタ１２５と、第２ファイバスプリッタ１２６と、光サーキュレータ１２７とを含む。第１ファイバスプリッタ１２５は、光源１１０から出射されたレーザ光２０を参照光２１と出力光２２とに分離する。第１ファイバスプリッタ１２５は、参照光２１を第２ファイバスプリッタ１２６に入射し、出力光２２を光サーキュレータ１２７に入射させる。光サーキュレータ１２７は、出力光２２をコリメータ１２３に入射させる。光サーキュレータ１２７は、また、対象物３００を出力光２２で照射して生じた反射光２３を第２ファイバスプリッタ１２６に入射させる。第２ファイバスプリッタ１２６は、参照光２１と反射光２３との干渉光２４を光検出器１３０に入射させる。コリメータ１２３は、出力光２２のビーム形状を整形し、出力光２２を対象物３００に向けて出射する。

【００５６】
計測装置１００は、出射光の方向を変化させる光偏向器をさらに備えていてもよい。図６は、光偏向器１７０を備える計測装置１００の一例を示すブロック図である。光偏向器１７０は、例えばＭＥＭＳ（ｍｉｃｒｏｅｌｅｃｔｒｏｍｅｃｈａｎｉｃａｌ ｓｙｓｔｅｍ）ミラーまたはガルバノミラーを含み得る。光偏向器１７０は、処理回路１４０からの指令に従ってミラーの角度を変化させることにより、出力光２２の出射方向を変化させることができる。これにより、ビームスキャンによって広範囲の測距を実現することができる。光偏向器１７０は、上記の構成に限定されず、例えば、国際公開第２０１９／１３０７２０号に記載されるような、光フェーズドアレイおよびスローライト導波路を用いたビームスキャンデバイスであってもよい。

【００５７】
次に、図７Ａおよび図７Ｂを参照して、本実施形態において使用されるＦＭＣＷ－ＬｉＤＡＲ技術を簡単に説明する。

【００５８】
図７Ａは、対象物３００が静止している場合における参照光および反射光の周波数の時間変化の例を模式的に示す図である。ここでは、周波数が三角波状に変化する場合の例を説明する。図７Ａにおいて、実線は参照光を表し、破線は反射光を表す。図７Ａに示す参照光の周波数は、１周期の間に線形的に増加し、その後増加した分だけ線形的に減少する。反射光の周波数は、参照光の周波数と比較して、出力光が計測装置１００から出射されて対象物３００によって反射されて戻ってくる時間の分だけ、時間軸に沿ってシフトする。このため、参照光と反射光との干渉光は、反射光の周波数と参照光の周波数との差に相当する周波数を有する。図７Ａに示す両矢印は、両者の周波数の差を表す。光検出器１３０は、干渉光の強度を示す信号を出力する。当該信号はビート信号と呼ばれる。ビート信号の周波数、すなわちビート周波数は、上記の周波数の差に等しい。処理回路１４０は、ビート周波数に基づき、計測装置１００から対象物３００までの距離を算出することができる。

【００５９】
図７Ｂは、対象物３００が計測装置１００に近づく場合における参照光および反射光の

周波数の時間変化を模式的に示す図である。対象物３００が近づく場合、ドップラーシフトにより、反射光の周波数は、対象物３００が静止している場合と比較して、周波数軸に沿って増加する方向にシフトする。反射光の周波数がシフトする量は、対象物３００のある部分における速度ベクトルを反射光の方向に射影した成分の大きさに依存する。ビート周波数は、参照光および反射光の周波数が線形的に増加する場合と線形的に減少する場合とで異なる。図７Ｂに示す例において、両者の周波数が線形的に減少する場合のビート周波数は、両者の周波数が線形的に増加する場合のビート周波数よりも高い。処理回路１４０は、これらのビート周波数の差に基づいて対象物３００の速度を算出することができる。対象物３００が計測装置１００から遠ざかる場合においては、反射光の周波数は、対象物３００が静止している場合と比較して、周波数軸に沿って減少する方向にシフトする。この場合も、参照光および反射光の周波数が線形的に増加する場合と線形的に減少する場合におけるビート周波数の差に基づいて対象物３００の速度を算出することができる。

【００６０】

［動作］

以下、本実施形態の計測装置１００の動作を説明する。

【００６１】

本実施形態の計測装置１００の動作は、（１）キャリブレーション、および（２）計測の２つの工程に大きく分けることができる。キャリブレーションは、例えば計測装置１００の出荷前に製造メーカの担当者（以下、「操作者」と呼ぶ）が行う。測距は、主として計測装置１００の使用者が行う。

【００６２】

キャリブレーションでは、アップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルが生成され、記憶装置１５０に記録される。キャリブレーションの動作の概要は以下の通りである。

・計測装置１００が静止した状態で、光源１１０が、静止する対象物に向けてレーザ光を出射する。レーザ光は、例えば図４に示すような三角波状の制御電圧によって制御される。

・光検出器１３０が、対象物からの反射光と参照光との干渉光を検出し、検出信号を出力する。

・処理回路１４０が、検出信号に基づき、アップチャープ期間に対応する干渉光のスペクトルピークの周波数、およびダウンチャープ期間に対応する干渉光のスペクトルピークの周波数と、対象物までの距離とが、制御電圧の大きさにかかわらず対応するように、検出信号を補正するための補正テーブルを生成し、記憶装置１５０に記憶させる。

【００６３】

計測動作においては、キャリブレーションによって生成された補正テーブルに基づいて補正された検出信号から、対象物までの距離および／または対象物の速度が計測される。計測工程における動作の概要は以下のとおりである。

・光源１１０が、対象物に向けてレーザ光を出射する。レーザ光は、例えば図４に示すような三角波状の制御電圧によって制御される。

・光検出器１３０が、対象物からの反射光と参照光との干渉光を検出し、検出信号を出力する。

・処理回路１４０が、アップチャープ期間およびダウンチャープ期間の少なくとも一方について、補正テーブルに基づき、制御電圧に応じて検出信号を補正し、補正後の検出信号のスペクトルピークに基づいて計測装置１００から対象物までの距離を決定する。さらに、処理回路１４０は、アップチャープ期間におけるスペクトルピークとダウンチャープ期間におけるスペクトルピークとの差分から、当該対象物と計測装置１００との相対速度を決定する。

【００６４】

以下、それぞれの動作をより詳細に説明する。

【００６５】

［キャリブレーション動作］
図８は、計測装置１００によるキャリブレーション動作を示すフローチャートである。キャリブレーションにおいて、計測装置１００は、図８に示すステップＳ１１１０からＳ１２３０の動作を実行する。以下、各ステップの動作を説明する。
【００６６】
計測装置１００は、図示されていない入力手段によるキャリブレーション動作の開始命令の入力に応答してキャリブレーション動作を開始する。
【００６７】
＜ステップＳ１１１０＞
処理回路１４０は、光源１１０に、レーザ光の照射を開始させる。処理回路１４０は、所定の振幅で周期的に変動する制御電圧を印加することにより、周波数がある範囲内で周期的に変動するレーザ光を出射させる。レーザ光は、干渉光学系１２０によって出力光と参照光とに分かれる。出力光は静止する対象物（例えば反射板等）を照射する。干渉光学系１２０は、対象物からの反射光と参照光との干渉光を、光検出器１３０に入射させる。光検出器１３０は、干渉光を受け、干渉光の強度に応じた検出信号を出力する。
【００６８】
＜ステップＳ１１２０＞
処理回路１４０は、データ処理の終了命令の入力があるか否かを判断する。処理回路１４０は、例えば、ユーザから、終了命令の入力がなされたか否かを判断する。終了命令は、例えば表示装置２１０に表示される画面で、ユーザが特定のボタンを押すことによって入力され得る。表示装置２１０に表示される画面の詳細については後述する。データ終了命令が入力されていない場合、ステップＳ１１３０に進む。データ終了命令が入力された場合、ステップＳ１１９０に進む。
【００６９】
＜ステップＳ１１３０＞
処理回路１４０は、光検出器１３０から出力された検出信号を取得する。処理回路１４０は、検出信号を、処理回路１４０内のメモリ等の一次記憶装置に蓄積する。
【００７０】
＜ステップＳ１１４０＞
処理回路１４０は、光源１１０が出力するレーザ光の周波数変調の１周期、すなわち制御電圧の上昇と下降の１周期に相当するデータ長以上の検出信号が蓄積されたか否かを判断する。蓄積された検出信号のデータ長が周波数変調の１周期分以上である場合、ステップＳ１１５０に進む。蓄積された検出信号のデータ長が周波数変調の１周期分未満である場合、ステップＳ１１３０に戻る。
【００７１】
＜ステップＳ１１５０＞
処理回路１４０は、一時記憶装置に蓄積された検出信号から、アップチャープ期間の信号とダウンチャープ期間の信号とを抽出する。処理回路１４０は、抽出したアップチャープ期間とダウンチャープ期間のそれぞれの信号に対して、独立にステップＳ１１６０およびステップＳ１１７０の処理を行う。
【００７２】
＜ステップＳ１１６０＞
処理回路１４０は、抽出した検出信号の周期を分析する。周期の分析方法には、例えば、検出信号の波形における上に凸の部分の最大値をとる点または下に凸の部分の最小値をとる点を特定し、最大値をとる点から次に最大値をとる点までの期間、または最小値をとる点から次に最小値を取る点までの期間を１周期とする方法がある。あるいは、検出信号の値が正と負に一様に分布する場合、ゼロクロス点に基づいて周期を決定してもよい。ゼロクロス点は、信号の値が正から負へ、または負から正へ変化する点である。処理回路１４０は、検出信号からゼロクロス点を抽出し、正から負のゼロクロス点から次の正から負のゼロクロス点までの期間、または負から正のゼロクロス点から次の負から正のゼロクロ

ス点までの期間を１周期としてもよい。
【００７３】
図９は、検出信号の周期の分析結果の例を示すグラフである。この例では、制御信号の電圧と検出信号の電圧との関係を示す波形がプロットされている。検出信号の電圧が上に凸の部分の頂点（すなわち最大値）となる、制御信号電圧がV_i、V_{i+1}、V_{i+2}、・・・のときの周期を、P_i、P_{i+1}、P_{i+2}、・・・と定義する。この例では、制御信号電圧がV_iの時点からV_{i+1}の時点までの時間長が、周期P_iと定義される。
【００７４】
＜ステップＳ１１７０＞
処理回路１４０は、決定した周期を、処理回路１４０内の一次記憶装置に記憶させる。例えば、処理回路１４０は、決定した周期を、対応する制御電圧の値、または一周期内の基準時点からの経過時間と対応付けて一次記憶装置に記憶させる。
【００７５】
図１０は、一次記憶装置に格納される周期のデータの一例を示す図である。この例では、アップチャープとダウンチャープのそれぞれについて、制御電圧と周期とが対応付けられて記録される。制御電圧に変えて、基準時点からの時間に対応付けられて周期が記録されてもよい。
【００７６】
＜ステップＳ１１８０＞
処理回路１４０は、表示装置２１０に、周期分析の結果を表示させる。例えば、処理回路１４０は、アップチャープとダウンチャープのそれぞれについて生成された制御電圧と周期との関係を、チャープごとにグラフ化して表示させる。ステップＳ１１８０の後、ステップＳ１１２０に戻り、前述の動作が繰り返される。
【００７７】
図１１Ａは、表示装置２１０が表示する表示画面の一例を示す図である。この例では、アップチャープにおける干渉波の周期、およびダウンチャープにおける干渉波の周期が、制御電圧に対応付けられてプロットされている。表示画面には、他にも、日付、キャリブレーションの対象である対象物までの距離、周波数掃引の周期または周波数などの情報が表示され得る。図１１Ａに示す表示画面には、補正関数を決定するためのボタン４１０、およびキャリブレーションを強制終了するためのボタン４２０も表示される。補正関数を決定するボタン４１０は、ステップＳ１１３０からステップＳ１１７０までの動作を終了し、ステップＳ１１９０以降に動作を進めることを指示するためのボタンである。強制終了のためのボタン４２０は、動作の即時終了を指示するためのボタンである。強制終了のためのボタン４２０が押されると、図８のフローチャートのどの時点においても、即時に動作が終了する。なお、図８のフローチャートには、図１１Ａに示す即時終了のためのボタン４２０が押された場合における強制終了の動作は示されていない。
【００７８】
＜ステップＳ１１９０＞
表示画面中の補正関数を決定するためのボタン４１０が押されると、処理回路１４０は、ステップＳ１１２０において、データ処理の終了命令が出されたと判断し、光源１１０にレーザ光の照射を停止させる。
【００７９】
＜ステップＳ１２００＞
処理回路１４０は、制御電圧に対する干渉波の周期のグラフをモデル関数で近似する。モデル関数は、例えば２次以上の多項式であり、例えば最小二乗法を用いて決定され得る。処理回路１４０は、決定したモデル関数を補正関数として表示装置２１０に表示させる。
【００８０】
図１１Ｂは、ステップＳ１２００において表示される画面の例を示す図である。この例では、アップチャープのグラフとダウンチャープのグラフのそれぞれに、近似関数のグラ

フが点線で重ねて表示されている。さらに、テーブルの書き込みを指示するボタン４３０と、キャリブレーションのやり直しを指示するボタン４４０と、強制終了を指示するボタン４２０とが表示されている。

【００８１】

＜ステップＳ１２１０＞

ステップＳ１２１０において、処理回路１４０は、ステップＳ１２００で決定された補正関数を用いて補正テーブルを生成して記憶装置１５０に書き込む指示が出されたか否かを判断する。書き込みの指示は、図１１Ｂに示す「テーブル書き込み」のボタン４３０が押された場合に出される。ボタン４３０が押された場合、ステップＳ１２２０に進む。ボタン４３０が押されず、あらかじめ定められた時間が経過した場合、または、「再キャリブレーション」のボタン４４０が押された場合、ステップＳ１１１０に戻り、キャリブレーションが再開される。

【００８２】

＜ステップＳ１２２０＞

処理回路１４０は、ステップＳ１２００で生成された関数の値に基づいて補正テーブルを作成する。具体的には、処理回路１４０は、キャリブレーションの対象物までの距離に対応する値ａを、補正関数の値で割った値を補正値として、制御電圧ごとに補正値を計算する。制御電圧をＶ、補正関数をｆ（Ｖ）とすると、制御電圧Ｖに対応する補正値は、ａ／ｆ（Ｖ）である。処理回路１４０は、アップチャープとダウンチャープのそれぞれについて、制御電圧と補正値との対応関係を規定する補正テーブルを生成する。補正テーブルは、距離または速度の計測時に、検出信号の周期または周波数を補正するために用いられる。

【００８３】

＜ステップＳ１２３０＞

処理回路１４０は、ステップＳ１２２０で生成したアップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルとを記憶装置１５０に出力する。記憶装置１５０は、それらの補正テーブルを記憶する。

【００８４】

図１２は、記憶装置１５０が記憶する補正テーブルの例を示す図である。この例におけるアップチャープ用とダウンチャープ用のそれぞれの補正テーブルは、同じデータ形式を有する。各補正テーブルは、光源１１０に印加される制御電圧の値と、検出信号の周期を修正するための数値である周期修正比率の情報を保持している。なお、補正テーブルの形式は図示される例に限定されない。形式によらず、補正テーブルは、本来より長すぎる、または短すぎる検出信号の周期を調整するための補正値の情報を含み得る。

【００８５】

周期修正比率は、例えば、検出信号の波形を補正した後のビート周波数が、基準対象物の距離、変調周期、変調周波数範囲、および光速から理論的に導かれる値になるように、周期を所定の定数で正規化した値であり得る。定数は、補正後の検出信号の波形のビート周波数が、理論値に一致するような値に設定され得る。

【００８６】

本実施形態における計測装置１００は、ステップＳ１１２０からステップＳ１１８０を繰り返すことで、補正関数の決定に十分なデータを蓄積することができる。また、ステップＳ１１１０からステップＳ１２１０を繰り返すことで、データが不安定な場合には、キャリブレーション動作をやり直して好ましい補正テーブルを作成することができる。

【００８７】

なお、ステップＳ１１６０において、例えば、上に凸の部分の最大点から次の上に凸の部分の最大点までの期間、または下に凸の部分の最小点から次の下に凸の部分の最小点までの期間などが周期として決定され得るが、周期の決定方法はそのような方法に限定されない。ディジタル化されたデータにおいて、周期に対してサンプリング点が十分ではない場合、データ点による上に凸の部分の最大点または下に凸の部分の最小点は、実際の信号

のピーク点等と一致しない場合がある。その場合は、モデル波形の当てはめにより、信号のピーク点を推定しても良い。

【００８８】

図１３は、ピーク点を推定する処理の一例を説明するための図である。図１３の例では、処理回路１４０はアナログ／ディジタル（Ａ／Ｄ）変換器と、メモリなどの一次記憶装置とを備える。処理回路１４０は、Ａ／Ｄ変換器で検出信号の波形をディジタル化し、一次記憶装置に格納する。図１３には、ディジタル化された複数のデータ点が○印で示されている。図中の横軸は時間を表す。処理回路１４０は、サイン波をモデル波として、データ点との距離を最小にするモデル波を決定する。図１３には、データ点との距離が最小であるサイン波と、データ点との距離がより大きいサイン波とが例示されている。処理回路１４０は、決定したモデル波のピーク点（すなわち最大点）、最小点、またはゼロクロス点などに基づいて、検出信号の周期を決定してもよい。なお、周期と周波数とは、互いに逆数の関係にあることから、周期を決定することは、周波数を決定することと等価である。

【００８９】

図８に示すフローチャートでは、ステップＳ１１２０において、ユーザがデータ蓄積終了の判断を行うが、処理回路１４０が自動的にデータ蓄積の終了を判断してもよい。例えば、あらかじめ定められた数のデータが蓄積された場合、または、蓄積されたデータの分散の変動があらかじめ定められた値よりも小さくなった場合等の基準により、自動的にデータ蓄積を終了してもよい。ステップＳ１１２０の判断が自動でなされる場合には、ステップＳ１１８０の表示動作を省略してもよい。

【００９０】

また、ステップＳ１１２０の終了の判断が自動でなされる場合に、自動でなされた終了判断に対してユーザが修正を指示することが可能なユーザインタフェースを表示装置２１０に表示させてもよい。図１４は、そのようなユーザインタフェースの例を示す図である。この例では、アップチャープとダウンチャープのそれぞれのデータと補正関数とが表示画面に順次表示され、再キャリブレーションを指示するためのボタン４４０も表示される。ユーザは、表示される補正関数を監視し、補正関数を再作成すべき、あるいは、補正関数を決定するにはデータが少なすぎる、あるいは、データが不適切であると判断した場合に、再キャリブレーションボタン４４０を押す。これに応答して、処理回路１４０は、ステップＳ１１２０からステップＳ１１８０の動作を繰り返す。これにより、補正関数を作成するためのデータをさらに蓄積することができる。その結果、何らかの要因でデータにノイズが混入するなどの問題が発生した場合においても、正確な補正関数を設定することができる。

【００９１】

図８のフローチャートでは、アップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルとが並行して作成され、補正テーブルの作成に関する各ステップは同様に進められるが、それぞれが別々のタイミングで進められてもよい。すなわち、ステップＳ１１２０のデータ蓄積の終了の判断をアップチャープとダウンチャープとで別々に行ってもよい。また、ステップＳ１２１０の周期の補正値の書き込みの判断をアップチャープとダウンチャープとで別々に行ってもよい。

【００９２】

図１５は、補正値の書き込みの判断をアップチャープとダウンチャープとで別々に行うことを可能とするユーザインタフェースの例を示す図である。この例では、アップチャープのグラフとダウンチャープのグラフのそれぞれに、補正関数決定用のボタン４５０が用意されている。アップチャープおよびダウンチャープのうち、補正関数を決定するのに十分なデータが蓄積されたと判断された方のボタン４５０のみがユーザに押され得る。一方のボタン４５０が押されると、処理回路１４０は、押された方のデータ蓄積を停止して補正関数の決定に進む。処理回路１４０は、アップチャープおよびダウンチャープのうち、ボタン４５０が押されなかった方については、さらにデータを蓄積する動作を繰り返す。

ユーザが両チャープについてデータの蓄積を終了する判断をし、両方の補正関数決定ボタン４５０を押すと、処理回路１４０は、光源１１０にレーザ光の照射を停止させる。

【００９３】

なお、ステップＳ１１２０におけるデータ蓄積の終了の判断について、処理回路１４０は、蓄積データの数または統計的基準等に基づいて自動で終了を判断してもよい。その場合、アップチャープに対する判断基準とダウンチャープに対する判断基準とを個別に設定できるようにしてもよい。

【００９４】

［距離および速度の計測動作］

次に、計測装置１００による距離および速度の計測動作の例を説明する。

【００９５】

図１６は、計測装置１００による距離および速度の計測動作の例を示すフローチャートである。計測装置１００は、距離および速度を計測するとき、図１６に示すステップＳ１１１０からＳ２１５０の動作を実行する。ステップＳ１１１０からＳ１１５０、およびＳ１１９０の動作は、図８に示す対応するステップの動作と同様である。以下、各ステップの動作を説明する。

【００９６】

計測装置１００は、図示されていない入力手段による計測動作の開始命令の入力に応答して計測動作を開始する。

【００９７】

＜ステップＳ１１１０＞

処理回路１４０は、光源１１０に、レーザ光の照射を開始させる。処理回路１４０は、所定の振幅で周期的に変動する制御電圧を印加することにより、周波数がある範囲内で周期的に変動するレーザ光を出射させる。レーザ光は、干渉光学系１２０によって出力光と参照光とに分かれる。出力光は対象物３００を照射する。干渉光学系１２０は、対象物３００からの反射光と参照光との干渉光を、光検出器１３０に入射させる。光検出器１３０は、干渉光を受け、干渉光の強度に応じた検出信号を出力する。

【００９８】

＜ステップＳ１１２０＞

処理回路１４０は、計測の終了命令の入力があるか否かを判断する。処理回路１４０は、例えば、ユーザから、終了命令の入力がなされたか否かを判断する。終了命令は、例えば表示装置２１０に表示される画面で、ユーザが特定のボタンを押すことによって入力され得る。

【００９９】

図１７は、計測中に表示装置２１０が表示する画面の一例を示す図である。この画面には、計測終了を指示するための終了ボタン５２０が含まれている。ユーザがこのボタン５２０を押すと、計測の終了命令が入力される。処理回路１４０は、終了命令が入力されていない場合、ステップＳ１１３０に進む。終了命令が入力された場合、ステップＳ１１９０に進む。

【０１００】

＜ステップＳ１１３０＞

処理回路１４０は、光検出器１３０から出力された検出信号を取得する。処理回路１４０は、検出信号を、処理回路１４０内のメモリ等の一次記憶装置に蓄積する。

【０１０１】

＜ステップＳ１１４０＞

処理回路１４０は、光源１１０が出力するレーザ光の周波数変調の１周期に相当するデータ長以上の検出信号が蓄積されたか否かを判断する。蓄積された検出信号のデータ長が周波数変調の１周期分以上である場合、ステップＳ１１５０に進む。蓄積された検出信号のデータ長が周波数変調の１周期分未満である場合、ステップＳ１１３０に戻る。

【０１０２】

＜ステップＳ１１５０＞
処理回路１４０は、一時記憶装置に蓄積された検出信号から、アップチャープ期間の信号とダウンチャープ期間の信号とを抽出する。
【０１０３】
＜ステップＳ２１１０＞
処理回路１４０は、ステップＳ１１５０で抽出したアップチャープ期間とダウンチャープ期間のそれぞれの信号を、記憶装置１５０に格納された補正テーブルを参照して、信号を補正する。
【０１０４】
図１８は、補正前後の検出信号の波形の例を示す図である。実線は、補正前の検出信号を示し、破線は補正後の検出信号を示している。横軸は補正前の検出信号に対応する時間を表す。処理回路１４０は、検出信号を、アップチャープ期間の信号と、ダウンチャープ期間の信号とに分け、それぞれの信号を、補正テーブルに記述された補正値の情報を用いて補正する。例えば、処理回路１４０は、各チャープの信号の周期の瞬時値に、補正テーブルが示す補正値を掛けることにより、その信号における本来よりも長い周期の部分を縮め、本来よりも短い周期の部分を伸ばす。これにより、各チャープの信号を、ほぼ一定の周期の状態が続くように補正することができる。
【０１０５】
より具体的には、処理回路１４０は、まず、ステップＳ１１５０で抽出した各チャープの信号から、１周期分を抽出する。１周期分の信号の抽出は、キャリブレーション時と同様、例えば、時間軸上で隣り合う２つのピーク点またはゼロクロス点（例えば負から正に変化する点）の間の信号部分を抽出する方法によって行われ得る。次に、処理回路１４０は、抽出した１周期分の信号の開始点を基準点として、対応する駆動電圧を決定する。続いて、処理回路１４０は、記憶装置１５０に格納された補正テーブル（図１２参照）を参照し、決定した駆動電圧に対応する補正値（すなわち周期修正比率）を取得する。処理回路１４０は、取得した周期修正比率を検出信号の周期に乗じることによって周期を補正し、検出信号の波形を変形する。処理回路１４０は、上記の動作を、検出信号の周期ごとに実行することによって補正後の検出信号の波形を得る。この処理は、ステップＳ１１５０で抽出されたアップチャープ期間の信号とダウンチャープ期間の信号の両者についてそれぞれ独立に行われる。ステップＳ２１１０からステップＳ２１３０までの処理は、アップチャープ期間の信号とダウンチャープ期間の信号の両方について独立に行われ得る。
【０１０６】
＜ステップＳ２１２０＞
処理回路１４０は、ステップＳ２１１０で補正したアップチャープおよびダウンチャープの各検出信号に窓関数、例えばハニング窓を掛けることにより、各信号の波形を周波数分析に適した波形に変形する。
【０１０７】
＜ステップＳ２１３０＞
処理回路１４０は、アップチャープ期間およびダウンチャープ期間のそれぞれの検出信号について、フーリエ変換処理を行い、周波数スペクトルを生成する。
【０１０８】
＜ステップＳ２１４０＞
処理回路１４０は、ステップＳ２１３０で生成したアップチャープ期間の周波数スペクトルと、ダウンチャープ期間の周波数スペクトルの各々について、最大のスペクトルピークを抽出することによって各チャープの周波数（すなわちビート周波数）を決定する。次に、処理回路１４０は、記憶装置１５０に格納された変換テーブルを参照して、各チャープ期間の周波数から距離の値を求める。
【０１０９】
図１９は、ビート周波数と距離との関係を規定する変換テーブルの一例を示す図である。このような変換テーブルが、記憶装置１５０に予め格納され得る。なお、図２０Ａおよ

び図２０Ｂに示すように、アップチャープとダウンチャープのそれぞれに対応する変換テーブルが記憶装置１５０に格納されていてもよい。また、変換テーブルに代えて、関数などの他の形式のデータによってビート周波数と距離との関係が記録されていてもよい。

【０１１０】

図２０Ａおよび図２０Ｂに示す変換テーブルが用いられる場合、処理回路１４０は、アップチャープ用の変換テーブルを参照して、アップチャープ期間のビート周波数から距離を求める。処理回路１４０はまた、ダウンチャープ用の変換テーブルを参照して、ダウンチャープ期間のビート周波数から距離を求める。

【０１１１】

処理回路１４０は、例えばアップチャープ期間のビート周波数から得られた距離と、ダウンチャープ期間のビート周波数から得られた距離とを、平均化することにより、最終的に出力する距離を求める。なお、処理回路１４０は、アップチャープ期間のビート周波数から得られた距離と、ダウンチャープ期間のビート周波数から得られた距離の一方を、最終的に出力する距離としてもよい。

【０１１２】

一方、処理回路１４０は、アップチャープ期間のビート周波数と、ダウンチャープ期間のビート周波数との差（以下、「周波数差」とも呼ぶ）に基づいて、対象物３００の速度を求める。アップチャープ期間のビート周波数がダウンチャープ期間のビート周波数よりも大きい場合、対象物３００が遠ざかっていることを示す。アップチャープ期間のビート周波数がダウンチャープ期間のビート周波数よりも小さい場合、対象物３００が近付いていることを示す。

【０１１３】

図２１は、周波数差と速度との関係を規定する変換テーブルの例を示す図である。このような変換テーブルが、予め生成され、記憶装置１５０に記録され得る。処理回路１４０は、このような変換テーブルを参照して、差周波数から速度を求めることができる。なお、このような変換テーブルに限らず、周波数差と速度との関係を規定する関数などの他の形式のデータを用いてもよい。

【０１１４】

＜ステップＳ２１５０＞

処理回路１４０は、ステップＳ２１４０において求められた距離と速度とを表示装置２１０に表示する。例えば図１７に示すように、距離および速度の計測値が、インジケータおよび／または数値で表示され得る。ステップＳ２１５０の後、ステップＳ１１２０に戻る。

【０１１５】

＜ステップＳ１１９０＞

ステップＳ１１２０において終了命令が検出された場合、処理回路１４０は、ステップＳ１１９０に進み、光源１１０によるレーザ光の照射を終了し、計測装置１００の動作を終了する。

【０１１６】

なお、対象物３００が移動する場合、アップチャープ期間のビート周波数とダウンチャープ期間のビート周波数との間に差が生じる。そこで、処理回路１４０は、アップチャープ期間のビート周波数とダウンチャープ期間のビート周波数とを表示装置２１０に表示させてもよい。そのような表示により、ユーザは、対象物３００の速度を計測していないときに、対象物３００が移動していることを知ることができる。

【０１１７】

図２２Ａおよび図２２Ｂは、各チャープ期間のビート周波数を表示する画面の例を示す図である。図２２Ａは、対象物３００が静止している場合の測距結果の画面の例を示している。図２２Ｂは、対象物３００が移動しているときの測距および速度計測結果の画面の例を示している。この例では、表示装置２１０は、距離および速度の計測結果を示す表示だけでなく、アプチャープ期間とダウンチャープ期間のそれぞれのビート周波数の大きさ

を示すインジケータと、速度計測ボタン５３０とを表示する。処理回路１４０は、通常は距離のみを計測し、速度は計測しない。速度計測ボタン５３０がユーザによって押されると、処理回路１４０は、距離に加えて速度も計測し、計測結果を表示装置２１０に表示させる。ユーザは、画面に表示されるアップチャープ期間のビート周波数と、ダウンチャープ期間のビート周波数との差を、インジケータで確認することができる。図２２Ａの例のように、両者のビート周波数に差がない場合、対象物３００が静止していることを意味する。一方、図２２Ｂの例のように、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とでビート周波数に差が生じている場合、対象物３００が移動していることを意味する。このような場合に、ユーザが速度計測ボタン５３０を押すと、処理回路１４０が速度を計測し、計測結果が表示される。図２２Ｂの表示例では、ユーザは、対象物３００が計測装置１００から遠ざかる方向に９ｋｍ／ｈで移動していることを確認できる。このような表示により、ユーザは、距離、およびアップチャープ期間とダウンチャープ期間のそれぞれのビート周波数の表示を見ることで、対象物３００が移動しているか静止しているかを知ることができ、対象物３００に合わせた計測が可能になる。

【０１１８】

本実施形態では、補正用データとして、アップチャープとダウンチャープのそれぞれについて、制御電圧と周期の補正値との対応関係を規定する補正テーブルまたは補正関数が作成され、記憶装置１５０に格納される。補正用データは、そのようなデータに限らず、例えば、レーザ光源の駆動電流と周期の補正値とを規定するテーブルまたは関数などのデータであってもよい。また、レーザ光の周波数変調が周期的に行われる場合には、変調周期における位相と周期の補正値とを規定するテーブルまたは関数などのデータを補正用データとして用いてもよい。

【０１１９】

本実施形態における処理回路１４０は、補正用データに基づいて、時間に対して非線形的に変動する検出信号の周期を補正することによって検出信号を補正する。このような方法の代わりに、例えば、検出信号のサンプリングのタイミングを変更することによって同様の効果を実現してもよい。すなわち、本来ならば等時間間隔でサンプリングされるはずのディジタイズのタイミングを、制御電圧、駆動電流、または位相に応じて適切に変更することによって検出信号を補正してもよい。

【０１２０】

図２３Ａは、検出信号のサンプリングタイミングを変更するための補正値の情報を含む補正テーブルの例を示す図である。この例では、アップチャープ用の補正テーブルおよびダウンチャープ用の補正テーブルの各々は、駆動電圧のそれぞれの値に対応するサンプリング間隔の情報を含む。処理回路１４０は、このようなテーブルを参照して、本来であれば等間隔のサンプリング間隔を補正することにより、検出信号を補正してもよい。

【０１２１】

図２３Ｂは、補正テーブルの他の例を示す図である。この例における補正テーブルは、レーザ光の周波数変調の周期における位相と、各位相に対応する周期修正比率の情報を含む。ＦＭＣＷ方式のライダ装置は、レーザ光の周波数変調を繰り返し、測距と速度計測とを連続的に実行する。周波数変調の周期が一定であり、同様の制御信号が反復される場合には、図２３Ｂのように掃引周期の位相と、周期修正比率とを規定する補正テーブルを用いて、上記と同様の効果を得ることができる。あるいは、図２３Ｃに示すように、掃引周期における位相と、サンプリング間隔とを規定する補正用テーブルが用いられてもよい。処理回路１４０は、このようなテーブルを参照して、検出信号のサンプリングタイミングを補正することにより、上記と同様の効果を得ることができる。図２３Ｂおよび図２３Ｃの例では、１つのテーブルがアップチャープ期間（すなわち位相が０からπの期間）用の補正用データとダウンチャープ期間（すなわち位相がπから２πの期間）用の補正用データとを含んでいる。このようなテーブルに代えて、アップチャープ用の補正テーブルと、ダウンチャープ用の補正テーブルとを分けて記録してもよい。

【０１２２】

［効果］

以上のように、本実施形態においては、処理回路１４０は、事前のキャリブレーションによって生成された、アップチャープ期間用の補正用データと、ダウンチャープ期間用の補正用データとを用いて、干渉波の検出信号を補正する。各補正用データは、例えば、検出信号の周期を補正するための補正値、または検出信号のサンプリングタイミングを補正するための補正値の情報を含み得る。補正値は、例えば、光源１１０から出射されるレーザ光の周波数を掃引する制御電圧、レーザ駆動電流の値、または周波数変調の周期における位相と関連付けられて記録され得る。このような補正用データに基づいて、処理回路１４０は、検出信号を時間方向において補正する。処理回路１４０は、補正後の検出信号をフーリエ変換して得られたスペクトルピークの周波数から、距離を計算する。処理回路１４０は、さらに、アップチャープにおけるスペクトルピークの周波数と、ダウンチャープにおけるスペクトルピークの周波数との差に基づいて、対象物３００の速度を決定することができる。このように、処理回路１４０は、フーリエ変換の前に、アップチャープ期間とダウンチャープ期間のそれぞれについて、検出信号の時間補正を行う。これにより、各チャープ期間の検出信号のフーリエ変換によって得られるスペクトルパタンのひずみを削減することができる。その結果、各チャープ期間で得られる距離データの精度を向上させることができる。各期間で得られる距離データの精度が向上することにより、それらの期間の周波数の差から求められる速度の計測精度も向上する。

【０１２３】

（変形例１）

図２４は、実施形態１の変形例１における動作を説明するための図である。ＦＭＣＷ方式においては、周波数の変調周期が干渉波の観測期間すなわち検出信号が取得される期間と比較して長い場合がある。例えば、検出信号は、図２４に示す破線で区切られたａ、ｂ、ｃ、ｄのような、変調周期と比較して短い期間で取得され得る。このような場合にも、前述の、検出信号を時間方向に補正した後にフーリエ変換を行う方法は有効である。

【０１２４】

例えば図１２に例示される、制御信号の電圧に対応する干渉波信号の周期修正比率などの補正値を記録するテーブルは、制御信号の１周期（すなわち周波数変調の１周期）にわたって生成され得る。その場合、図２４のａ、ｂ、ｃ、ｄのそれぞれの場合のように、距離および速度計測のために取得される検出信号の時間長が周波数変調の周期と比較して短い場合であっても、実施形態１と同様の補正処理が可能である。

【０１２５】

（変形例２）

図２４の例のように、検出信号のうち短い期間を切り出した部分に基づいて距離および速度を計測する場合、制御電圧に対して検出信号の挙動が安定している範囲の信号を切り出すことが望ましい。図２４の例では、期間ｂおよび期間ｄでは、検出信号は、上昇と下降とを反復する不安定な状態にある。一方、期間ａと期間ｃでは、いずれも検出信号は、制御電圧の上昇に対して一様に上昇しており、非線形ではあるが、期間ｂおよび期間ｄに比べれば安定している。そこで、距離および速度の計測に用いる信号は、一定の制御電圧の範囲内にある期間の検出信号から切り出されてもよい。その場合、補正テーブルは、制御電圧のアップチャープとダウンチャープのそれぞれについて個別に設定された、計測に用いられる制御電圧の範囲内についてのみ補正値を保持していてもよい。本変形例では、処理回路１４０は、図１６に示すステップＳ１１３０において、制御電圧が、あらかじめ定められた制御電圧の範囲内にある場合に検出信号を取得する。

【０１２６】

このように、アップチャープ用の補正用データは、アップチャープ期間の一部である第１期間（例えば図２４における期間ａ）における制御電圧と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。ダウンチャープ期間用の補正用データは、ダウンチャープ期間の一部である第２期間（例えば図２４における期間ｃ）における制御電圧と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。そ

の場合、処理回路１４０は、検出信号から、第１期間に対応する第１信号と、第２期間に対応する第２信号とを抽出する。処理回路１４０は、アップチャープ用の補正用データにおける補正値に基づいて第１信号を補正することによって第１補正信号を生成する。処理回路１４０はまた、ダウンチャープ用の補正用データにおける補正値に基づいて第２信号を補正することによって第２補正信号を生成する。処理回路１４０は、第１補正信号と、第２補正信号とに基づいて、対象物３００までの距離および速度の少なくとも一方を決定することができる。

【０１２７】

本変形例によれば、記憶装置１５０の保持するデータ量を削減しながらも、安定した計測を行うことができる。

【０１２８】

（変形例３）

図２５は、実施形態１の変形例３における計測装置１００の概略構成を示すブロック図である。本変形例では、計測装置１００が、図２に示す構成要素に加えて、光の周波数または波長を計測する計測器１６０を備えている。

【０１２９】

本変形例における干渉光学系１２０は、光源１１０から出射されたレーザ光を、出力光と、第１参照光と、第２参照光とに分離する。出力光は、対象物３００に向けて出射される。第１参照光は、実施形態１における参照光に相当し、対象物３００からの反射光と干渉して干渉光として光検出器１３０に入射する。第２参照光は、計測器１６０に入射する。

【０１３０】

波長計測器１６０は、第２参照光を受け、第２参照光の波長または周波数を検出し、検出結果を示す信号を処理回路１４０に送る。

【０１３１】

処理回路１４０は、光検出器から出力された干渉光の強度の時間変動を示す検出信号と、計測器１６０から出力された第２参照光の周波数を示す信号とを取得する。処理回路１４０は、それらの信号と、記憶装置１５０に格納された２つの補正テーブルとに基づいて、対象物３００の距離および／または速度を示す計測データを生成する。

【０１３２】

本変形例におけるキャリブレーション時の動作の概要は以下のとおりである。

・計測装置１００が静止した状態で、光源１１０が、静止する対象物に向けて、周波数が変調されたレーザ光を出射する。

・光検出器１３０が、対象物からの反射光と第１参照光との干渉光を検出し、検出信号を出力する。

・計測器１６０が、第２参照光の波長または周波数を計測し、計測値を示す信号を出力する。

・処理回路１４０が、光検出器１３０から出力された検出信号、および計測器１６０から出力された信号に基づき、アップチャープ期間に対応する干渉光のスペクトルピークの周波数、およびダウンチャープ期間に対応する干渉光のスペクトルピークの周波数と、対象物までの距離とが、第２参照光の周波数にかかわらず対応するように、検出信号を補正するための補正テーブルを生成し、記憶装置１５０に記憶させる。

【０１３３】

本変形例における距離および速度の計測動作の概要は以下のとおりである。

・光源１１０が、対象物に向けて、周波数が変調されたレーザ光を出射する。

・光検出器１３０が、対象物からの反射光と参照光との干渉光を検出し、検出信号を出力する。

・処理回路１４０が、アップチャープ期間およびダウンチャープ期間の少なくとも一方について、補正テーブルに基づき、第２参照光の周波数に応じて検出信号を補正し、補正後の検出信号のスペクトルピークに基づいて計測装置１００から対象物までの距離を決定す

る。さらに、処理回路１４０は、アップチャープ期間におけるスペクトルピークとダウンチャープ期間におけるスペクトルピークとの差分から、当該対象物と計測装置１００との相対速度を決定する。

【０１３４】

図２６Ａおよび図２６Ｂは、本変形例におけるアップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルの例を示す図である。図２６Ａに示す各補正テーブルは、計測器１６０によって計測される第２参照光の周波数と、各周波数に対応する周期修正比率の情報を含む。図２６Ｂに示す各補正テーブルは、計測器１６０によって計測される第２参照光の周波数と、各周波数に対応するサンプリング間隔の情報を含む。このように、本変形例における補正テーブルは、第２参照光の周波数と補正値との対応関係を規定する。なお、補正テーブルは、第２参照光の波長と補正値との対応関係を規定していてもよい。

【０１３５】

本変形例では、駆動電圧と補正値との対応関係を規定する補正テーブルの代わりに、光源１１０から出射される光の周波数または波長と補正値との対応関係を規定する補正テーブルが用いられる。駆動電圧と光源１１０から出射される光の周波数および波長とは相関があるため、出射光の周波数または波長を駆動電圧の代わりに用いても、実施形態１と同様の効果を得ることができる。

【０１３６】

本変形例においても、図２４に示す例のように、周波数変調の一周期よりも短い期間の検出信号に基づいて距離および速度を計測してもよい。その場合、第１補正用データは、アップチャープ期間の一部である第１期間における第２参照光の波長または周波数と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。同様に、第２補正用データは、ダウンチャープ期間の一部である第２期間における第２参照光の波長または周波数と補正値との対応関係を規定するテーブルまたは関数のデータであってもよい。処理回路１４０は、検出信号から、第１期間に対応する第１信号と、第２期間に対応する第２信号とを抽出し、第１補正用データにおける補正値に基づいて第１信号を補正することによって第１補正信号を生成し、処理回路１４０は、第２補正用データにおける補正値に基づいて第２信号を補正することによって第２補正信号を生成してもよい。処理回路１４０は、第１補正信号と、第２補正信号とに基づいて、各チャープ期間におけるビート周波数を決定し、対象物３００の距離および／または速度を決定することができる。

【０１３７】

＜実施形態の効果を説明するための実験例＞

図２７は、本開示の実施形態の効果を検証するための実験例における計測装置２６０１を示す図である。計測装置２６０１では、図２に示した計測装置１００の構成とは異なり、光検出器１３０からの検出信号の代わりに、外部の信号生成器２６０２から出力されるダミー検出信号が処理回路１４０に入力されている。信号生成器２６０２は、処理回路１４０から光源１１０へと出力される制御信号を取得し、光源１１０が出力するレーザ光の周波数変調と同期したダミー検出信号を生成する。ここで、ダミー検出信号は周波数が変動する疑似正弦波であり、その振幅および中心周波数は、それぞれ本来の検出信号の振幅および周波数に近いもの（例えば１Ｖｐｐと５０ＭＨｚ）に設定されている。また、ダミー検出信号は、レーザ光の周波数変調のアップチャープ期間に同期する検出信号と、ダウンチャープ期間に同期する検出信号とを含み、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とでは、周波数の変動幅と変動のタイミングが異なる。

【０１３８】

本実験例における記憶装置１５０にも、上述の実施形態と同様にアップチャープ用とダウンチャープ用とで異なる補正テーブルが記憶されている。ダミー検出信号を処理回路１４０に入力し、且つアップチャープ用およびダウンチャープ用の補正テーブルを適用した状態で、計測装置２６０１の計測動作を実行させた場合を想定する。このとき計測される距離値は、アップチャープ期間に計測された距離値とダウンチャープ期間に計測された距離値とを平均した値であるため、距離値のばらつきは、アップチャープ期間におけるばら

つきと、ダウンチャープ期間におけるばらつきとを合わせたものとなる。

【０１３９】

まず、ダミー検出信号の周波数変動幅をアップチャープ期間においてもダウンチャープ期間においてもゼロとした場合、すなわちダミー検出信号が一定の周波数の正弦波信号である場合を想定する。このとき、ダミー検出信号に対し、アップチャープ用の補正テーブルとダウンチャープ用の補正テーブルのそれぞれに応じた補正が行われるため、距離値には当該補正に応じたばらつきが発生する。このとき複数回の計測で得られる距離値のばらつきをσ_{00}とする。

【０１４０】

次に、ダミー検出信号のアップチャープ期間における周波数変動と、ダウンチャープ期間における周波数変動とを異ならせる場合を想定する。ダミー検出信号のアップチャープ期間のみ周波数変動幅をａとし、ダウンチャープ期間の周波数変動幅をゼロとしたときに、複数回の計測で得られる距離値のばらつきをσ_{a0}とする。一方、ダミー検出信号のダウンチャープ期間のみ周波数変動幅をａとし、アップチャープ期間の周波数変動幅をゼロとしたときに、複数回の計測で得られる距離値のばらつきをσ_{0a}とする。ここで、周波数変動幅がaである期間における周波数変動のパタンは、アップチャープ期間であってもダウンチャープ期間であっても同一に設定されている。

【０１４１】

以上のような実験を実施した場合、距離値のばらつきは$\sigma_{a0} \neq \sigma_{0a}$となるはずである。その理由は、周波数変動の幅および変動パタンが同じであるダミー検出信号に対して異なる補正テーブルを適用すると、補正された検出信号のスペクトル線幅が変化し、その線幅の変化に応じて、距離値のばらつきも変化するからである。上述の２種類のダミー検出信号を入力する場合を比較すると、アップチャープ期間に生じる距離値のばらつきが互いに異なり、ダウンチャープ期間で生じる距離値のばらつきも互いに異なるため、両者を平均して求める距離値のばらつきも異なる。

一方、従来のように周波数分析後のビート信号周波数に補正を適用する装置では、アップチャープ期間とダウンチャープ期間とで異なる補正を適用したとしても元々のビート信号のスペクトル線幅は変化していないため、距離値のばらつきは$\sigma_{a0} = \sigma_{0a}$となるはずである。

【０１４２】

以上のような実験により、本開示の実施形態における計測装置では、周波数分析前の検出信号におけるアップチャープ期間とダウンチャープ期間とで異なる補正テーブルを適用することにより、距離値のばらつきが制御されていることが分かる。

【０１４３】

上述した本開示の実施形態においては、周波数分析の前の検出信号に対して補正を行うことにより、レーザ光の周波数変調における非線形性に起因する計測精度の低下を抑制することができる。同様の課題に対しては、レーザ光を周波数変調するための制御信号そのものを補正して非線形性を解消する手法もあり得る。しかしながら、そのような手法では、光源への制御信号を非線形に補正する必要がある。非線形な制御信号の生成と、当該制御信号による電流または電圧の制御は困難であるのに比べ、周波数分析の前の検出信号に対する補正は信号処理のレベルで実行されるため、簡易であり且つ精度が高い。従って、本開示の実施形態によれば、従来に比べて簡易で且つ精度の高い計測を行うことが可能となる。

【産業上の利用可能性】

【０１４４】

本開示における計測装置は、例えば無人搬送車（ＡＧＶ）、自動車、無人航空機、もしくは産業ロボットなどの移動体、または監視装置に搭載されるＦＭＣＷライダーシステムなどの用途に利用できる。

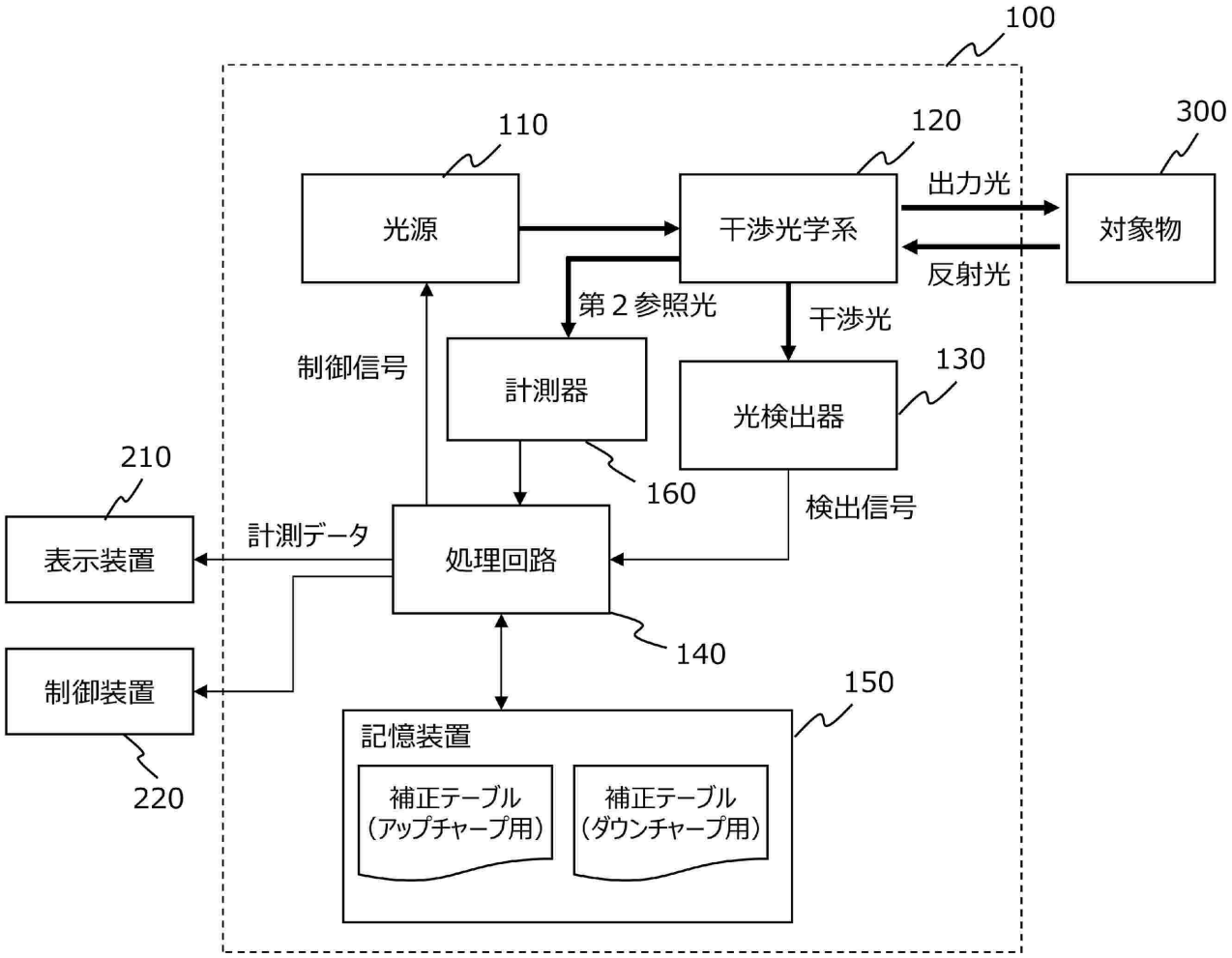
【符号の説明】

【０１４５】

１００　測距装置
１１０　光源
１１１　駆動回路
１１２　発光素子
１２０　干渉光学系
１２１　分岐器
１２２　ミラー
１２３　コリメータ
１２４　コリメートレンズ
１２５　第１ファイバスプリッタ
１２６　第２ファイバスプリッタ
１２７　光サーキュレータ
１３０　光検出器
１４０　処理回路
１５０　記憶装置
１６０　計測器
１７０　光偏向器
２１０　表示装置
２２０　制御装置
３００　対象物

【手続補正３】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図２５
【補正方法】変更
【補正の内容】

【図２５】


100
110
120
300
光源
干渉光学系
出力光
対象物
反射光
第２参照光
干渉光
制御信号
計測器
光検出器
130
160
210
検出信号
表示装置
計測データ
処理回路
140
制御装置
150
記憶装置
補正テーブル
（アップチャープ用）
補正テーブル
（ダウンチャープ用）
220