



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 120 166.7**

(22) Anmeldetag: **03.08.2021**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2022**

(51) Int Cl.: **G01S 17/32 (2020.01)**

**G01S 7/491 (2020.01)**

**G01S 7/497 (2006.01)**

**G01B 9/02 (2022.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2020-145594 31.08.2020 JP**

(74) Vertreter:  
**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann  
Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE**

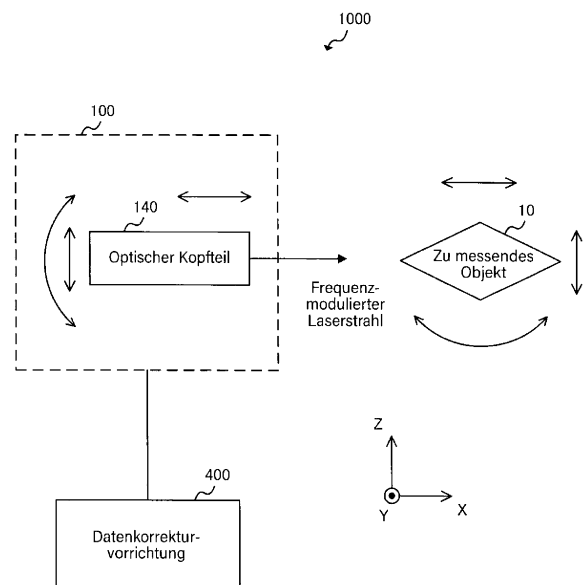
(71) Anmelder:  
**Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Kanagawa, JP**

(72) Erfinder:  
**Ujihara, Hiroki, Tsukuba, Ibaraki, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **DATENKORREKTURVORRICHTUNG, MESSSYSTEM, PROGRAMM UND  
KORREKTURVERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Eine Datenkorrekturvorrichtung 400, die einen Erfassungsteil 410, der von einer Messvorrichtung 100, die eine Entfernung periodisch messen kann, während (i) ein zu messendes Objekt 10 und/oder (ii) mindestens ein Teil der Messvorrichtung 100 bewegt wird, Messdaten erfasst, in denen ein erstes Messergebnis der Entfernung in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch Messen der Entfernung erhalten wird, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist, und einen Korrekturteil 430, der einen Fehler, der in den Messdaten enthalten ist, durch Anwenden der Messdaten auf eine Rekursionsformel auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung eines Messergebnisses der Messvorrichtung 100 korrigiert, enthält.



**Beschreibung**

## MITTEL ZUM LÖSEN DER PROBLEME

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Datenkorrekturvorrichtung, ein Messsystem, ein Programm und ein Korrekturverfahren.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Ein Laser mit frequenzverschobener Rückkopplung (FSFL), der mit einem Frequenzschieber in einem Hohlraum (Resonator) versehen ist und mehrere Longitudinalmodenlaser ausgibt, deren Schwingungsfrequenzen im Zeitablauf geradlinig variieren, ist bekannt. Außerdem ist ein optischer Entfernungsmesser unter Verwendung eines derartigen FSFL bekannt (siehe z. B. Patentedokument 1, die Spezifikation des japanischen Patents Nr. 3583906 und Nichtpatentedokument 1, „Distance Sensing by FSF Laser and Its Application“, von Takefumi HARA, Optonews, Bd. 7, Nr. 3, 2012, S. 25-31).

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

## DURCH DIE ERFINDUNG ZU LÖSENDE PROBLEME

**[0003]** Ein optischer Entfernungsmesser teilt den Laser mit frequenzverschobener Rückkopplung in ein Bezugslicht und ein Messlicht und erzeugt ein Schwebungssignal durch Mischen des Bezugslichts und eines reflektierten Lichts, das durch Abstrahlen des Messlichts auf ein zu messendes Objekt reflektiert wird. Dann misst der optische Entfernungsmesser eine Entfernung vom optischen Entfernungsmesser zum zu messenden Objekt durch Festlegen einer Frequenz des Schwebungssignals. Mit einem derartigen optischen Entfernungsmesser kann eine dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts gemessen werden, indem z. B. die Entfernung anhaltend gemessen wird, während das zu messende Objekt bewegt wird. Allerdings kann sich, da Licht eine wellenartige Natur besitzt und aufgrund einer Relativgeschwindigkeit zwischen einer Lichtquelle und dem zu messenden Objekt eine Doppler-Verschiebung auftritt, die Frequenz des reflektierten Lichts, das vom zu messenden Objekt reflektiert wird, ändern. Da sich die Frequenz des Schwebungssignals in diesem Fall ändert, bestand das Problem, dass eine Verringerung einer Messgenauigkeit des optischen Entfernungsmessers auftrat.

**[0004]** Die vorliegende Offenbarung wurde im Hinblick auf diesen Punkt gemacht und ihre Aufgabe ist, eine dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts mit dem optischen Entfernungsmesser einfach zu messen, während, während eine Verringerung der Messgenauigkeit unterdrückt wird.

**[0005]** Ein erster Aspekt der Offenbarung schafft eine Datenkorrekturvorrichtung, die Folgendes enthält: einen Erfassungsteil, der Messdaten von einer Messvorrichtung erfasst, die eine Entfernung von einer Bezugsposition zu einem zu messenden Objekt unter Verwendung eines frequenzmodulierten Laserstrahls misst und die Entfernung periodisch messen kann, während (i) das zu messende Objekt und/oder (ii) mindestens ein Teil der Messvorrichtung bewegt wird, wobei ein erstes Messergebnis der Entfernung in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das erhalten wird, indem die Messvorrichtung die Entfernung misst, wenn das zu messende Objekt und die Messvorrichtung sich in einem ortsfesten Zustand befinden, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist; und einen Korrekturteil, der einen Fehler, der in den Messdaten enthalten ist und auf einer Bewegung des zu messenden Objekts und/oder mindestens eines Teils der Messvorrichtung basiert, durch Anwenden der Messdaten, die durch den Erfassungsteil erfasst wurden, auf eine Rekursionsformel auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung eines Messergebnisses der Messvorrichtung korrigiert.

**[0006]** Der Korrekturteil kann gemäß einem positiven Vorzeichen und einem negativen Vorzeichen einer Chirp-Rate auf der Grundlage einer Änderungsrate der Frequenz pro Zeiteinheit des frequenzmodulierten Laserstrahls, der durch die Messvorrichtung verwendet wird, verschiedenen Rekursionsformeln verwenden.

**[0007]** Der Erfassungsteil kann die Messdaten, in denen die zweiten Messdaten am Anfang der ersten Messdaten angeordnet sind, erfassen, wenn die Chirp-Rate negativ ist, und der Korrekturteil kann eine Rekursionsformel verwenden, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil erfasst wurde, angeordnet sind, in der Reihenfolge der Zeitreihen der Anordnung korrigiert.

**[0008]** Der Korrekturteil kann als die Rekursionsformel eine erste Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n-1}' + \frac{s-1}{s} L_{n-1} \quad (1)$$

ausgedrückt wird, oder eine zweite Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n-1} \quad (2)$$

ausgedrückt wird, verwenden, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der

Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung die Entfernung misst,

$k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist und  $\gamma$  die Chirp-Rate ist.

**[0009]** Der Korrekturteil kann als die Rekursionsformel eine dritte Rekursionsformel verwenden, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n-i} \quad (3)$$

ausgedrückt wird, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist,  $\gamma$  die Chirp-Rate ist und Koeffizienten ( $a_0, a_1, \dots, a_m, b$ ) Koeffizienten sind, die verwendet werden, um Zeitdifferenzdaten der Messdaten als Zeitdifferenzdaten unter Verwendung eines Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  anzunähern.

**[0010]** Der Erfassungsteil kann die Messdaten jedes Mal erfassen, wenn die Messvorrichtung die Entfernung misst, und der Korrekturteil kann ein Korrigieren der Messdaten, die durch den Erfassungsteil erfasst wurden, starten, um die Messdaten sequenziell zu korrigieren, während die Messvorrichtung fortsetzt, die Entfernung zu messen.

**[0011]** Der Erfassungsteil kann die Messdaten, in denen die zweiten Messdaten beim Ende der ersten Messdaten angeordnet sind, erfassen, wenn die Chirp-Rate positiv ist, und der Korrekturteil kann eine Rekursionsformel verwenden, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil erfasst wurde, angeordnet sind, in einer umgekehrten Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert.

**[0012]** Der Korrekturteil kann als die Rekursionsformel eine vierte Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n+1} \quad (4)$$

ausgedrückt wird, oder eine fünfte Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung ausgedrückt wird

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n+1}' + \frac{s-1}{s} L_{n+1} \quad (5)$$

verwenden, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist und  $\gamma$  die Chirp-Rate ist.

**[0013]** Der Korrekturteil kann als die Rekursionsformel, eine sechste Rekursionsformel verwenden, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n+i} \quad (6)$$

ausgedrückt wird, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist,  $\gamma$  die Chirp-Rate ist und Koeffizienten ( $a_0, a_1, \dots, a_m, b$ ) Koeffizienten sind, die verwendet werden, um Zeitdifferenzdaten der Messdaten als Zeitdifferenzdaten unter Verwendung eines Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  anzunähern.

**[0014]** Der Erfassungsteil kann die Messdaten, in denen das zweite Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt und die Messvorrichtung sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, als zweite Daten  $m$  Stücke vom Anfang oder  $m$  Stücke vom Ende angeordnet ist, erfassen und der Korrekturteil kann den Fehler, der in  $p$  Stücken von ersten Daten enthalten ist, durch Anwenden der Messdaten, die  $m$  Stücke der zweiten Daten und  $p$  Stücke der ersten Daten, die im ersten Messergebnis enthalten sind, enthalten, auf die Rekursionsformel korrigieren.

**[0015]** Der Erfassungsteil kann ferner von der Messvorrichtung, Informationen bezüglich  $m'$  erfassen, was die Anzahl von Datenstücken des zweiten Messergebnisses, die in den Messdaten enthalten sind, ist, und der Korrekturteil kann lediglich  $m - m'$  Kopien der Daten des zweiten Messergebnisses erstellen

und dann den Fehler der Messdaten korrigieren, wenn  $m'$ , was die Anzahl von Datenstücken des zweiten Messergebnisses, die in den Messdaten enthalten sind, ist, kleiner als eine Ordnung  $m$  des Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  ist.

**[0016]** Ein zweiter Aspekt der Offenbarung schafft ein Messsystem, das Folgendes enthält: die Messvorrichtung, die die Entfernung von einer Bezugsposition zum zu messenden Objekt misst und eine Laservorrichtung, die den frequenzmodulierten Laserstrahl ausgibt, einen Verzweigungsteil, der den frequenzmodulierten Laserstrahl, der von der Laservorrichtung ausgehen wird, in (i) ein Bezugslicht, das ein Anteil des frequenzmodulierten Laserstrahls ist, und (ii) ein Messlicht, das mindestens ein Teil des verbleibenden Anteils des frequenzmodulierten Laserstrahls ist, teilt, einen Schwebungssignal-Erzeugungsteil, der ein Taktsignal durch Mischen des Bezugslichts und eines reflektierten Lichts, das durch Abstrahlen des Messlichts auf ein zu messendes Objekt reflektiert wird, erzeugt, einen Frequenzanalyseteil, der das Schwebungssignal frequenzanalysiert, und einen Berechnungsteil, der die Entfernung zwischen der Bezugsposition und dem zu messenden Objekt auf der Grundlage eines Ergebnisses einer Frequenzanalyse, die am Schwebungssignal durch den Frequenzanalyseteil durchgeführt wird, berechnet, enthält; und die Datenkorrekturvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt, wobei die Messvorrichtung die Messdaten erzeugt, in denen das erste Messergebnis, das ein Messergebnis eines periodischen Messens der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung enthält, in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt und die Messvorrichtung sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist.

**[0017]** Ein dritter Aspekt der Offenbarung schafft ein Programm, das einen Computer veranlasst, als die Datenkorrekturvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt zu arbeiten, wenn es durch den Computer ausgeführt wird.

**[0018]** Ein vierter Aspekt der Offenbarung schafft ein Korrekturverfahren, das die folgenden Schritte enthält: Erfassen von einer Messvorrichtung, die eine Entfernung von einer Bezugsposition zu einem zu messenden Objekt unter Verwendung eines frequenzmodulierten Laserstrahls misst, von Messdaten, in denen ein erstes Messergebnis, das ein Messergebnis eines periodischen Messens der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts und/oder (ii) mindestens eines Teils

der Messvorrichtung enthält, in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt und die Messvorrichtung sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist, und Korrigieren eines Fehlers, der in den Messdaten enthalten ist und auf einer Bewegung des zu messenden Objekts und/oder mindestens eines Teils der Messvorrichtung basiert, durch Anwenden der Messdaten auf eine Rekursionsformel auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung eines Messergebnisses der Messvorrichtung, die durch einen Computer ausgeführt werden.

## WIRKUNG DER ERFINDUNG

**[0019]** Gemäß der vorliegenden Offenbarung kann eine Wirkung eines einfachen Messens einer dreidimensionalen Geometrie eines zu messenden Objekts mit einem optischen Entfernungsmesser erreicht werden, während eine Verringerung der Messgenauigkeit niedergehalten wird.

### Figurenliste

**Fig. 1** zeigt ein Konfigurationsbeispiel eines Messsystems 1000 gemäß der vorliegenden Ausführungsform gemeinsam mit einem zu messenden Objekt 10.

**Fig. 2** zeigt ein Konfigurationsbeispiel einer Messvorrichtung 100 und eine Datenkorrekturvorrichtung 400 gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

**Fig. 3** zeigt ein Konfigurationsbeispiel einer Laservorrichtung 110 gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

**Fig. 4** zeigt ein Beispiel eines Laserstrahls, der von der Laservorrichtung 110 gemäß der vorliegenden Ausführungsform ausgehen wird.

## GENAUE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[Konfigurationsbeispiel eines Messsystems 1000]

**[0020]** **Fig. 1** zeigt ein Konfigurationsbeispiel eines Messsystems 1000 gemäß der vorliegenden Ausführungsform gemeinsam mit einem zu messenden Objekt 10. Das Messsystem 1000 misst eine dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts 10, während es eine Verringerung einer Messgenauigkeit aufgrund der Doppler-Verschiebung niederhält. Das Messsystem 1000 enthält eine Messvorrichtung 100 und eine Datenkorrekturvorrichtung 400.

**[0021]** Die Messvorrichtung 100 misst optisch eine Entfernung von einer Bezugsposition zum zu messenden Objekt 10. Die Messvorrichtung 100 ist eine

Einrichtung, die eine dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts 10 durch periodisches Messen der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 10 messen kann. Hier ist die Bezugsposition z. B. eine Position in der Messvorrichtung 100. Die Bezugsposition ist als Beispiel ein Laserstrahlausgabeende eines optischen Kopfteils 140, der den Laserstrahl auf das zu messende Objekt 10 abstrahlt, um die Entfernung zu messen.

**[0022]** Zum Beispiel bewegt die Messvorrichtung 100 den optischen Kopfteil 140 derart, dass der optische Kopfteil 140 eine Position, bei der eine Oberfläche des zu messenden Objekts 10 durch den Laserstrahl bestrahlt wird, abtastet. In diesem Fall ist bevorzugt, dass der optische Kopfteil 140 derart vorgesehen ist, dass er parallel zum zu messenden Objekt 10 beweglich ist.

**[0023]** Der optische Kopfteil 140 ist z. B. in einer X-Richtung, einer Y-Richtung und einer Z-Richtung, die senkrecht zueinander sind, beweglich. Ferner ist der optische Kopfteil 140 drehbar vorgesehen, derart, dass er um mindestens eine Richtung unter der X-Richtung, der Y-Richtung und der Z-Richtung als eine Achse drehbar ist. Alternativ oder zusätzlich kann der optische Kopfteil 140 durch Bewegungen einer optischen Komponente wie z. B. eines Spiegels, einer Linse oder dergleichen die Position, bei der der Laserstrahl das zu messende Objekt 10 bestrahlt, abtasten.

**[0024]** Alternativ oder zusätzlich kann die Messvorrichtung 100 derart konfiguriert sein, dass sie beweglich ist. In diesem Fall enthält die Messvorrichtung 100 ferner eine Vorrichtungsstufe, an der die Messvorrichtung 100 montiert ist, und tastet die Position, bei der der Laserstrahl das zu messende Objekt 10 bestrahlt, durch Bewegungen der Vorrichtungsstufe ab. Die Vorrichtungsstufe bewegt die Messvorrichtung 100 z. B. in der X-Richtung, der Y-Richtung und der Z-Richtung. Außerdem kann die Vorrichtungsstufe die Messvorrichtung 100 um mindestens eine Richtung unter der X-Richtung, der Y-Richtung und der Z-Richtung als eine Achse drehen.

**[0025]** Alternativ oder zusätzlich kann das zu messende Objekt 10 beweglich sein. In diesem Fall enthält die Messvorrichtung 100 ferner einen Objektisch, auf dem das zu messende Objekt 10 montiert ist, und tastet die Position, bei der der Laserstrahl das zu messende Objekt 10 bestrahlt, durch Bewegungen des Objektischs ab. Der Objektisch bewegt z. B. das zu messende Objekt 10 in der X-Richtung, der Y-Richtung und der Z-Richtung. Ferner kann der Objektisch sich um mindestens eine Richtung unter der X-Richtung, der Y-Richtung und der Z-Richtung als eine Achse drehen.

**[0026]** Wie oben beschrieben ist, misst die Messvorrichtung 100 die dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts 10 durch Bewegungen (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 und Fortsetzen, die Entfernung zu messen, während die Position, bei der der Laserstrahl das zu messende Objekt 10 bestrahlt, abgetastet wird. Dann korrigiert die Datenkorrekturvorrichtung 400 ein Messergebnis der Messvorrichtung 100. Nachfolgend sind die Messvorrichtung 100 und die Datenkorrekturvorrichtung 400 genau beschrieben.

[Konfigurationsbeispiel der Messvorrichtung 100]

**[0027]** Fig. 2 zeigt ein Konfigurationsbeispiel der Messvorrichtung 100 und der Datenkorrekturvorrichtung 400 gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Die Messvorrichtung 100 enthält eine Laservorrichtung 110, einen Verzweigungsteil 120, einen optischen Zirkulator 130, einen optischen Kopfteil 140, einen Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150, einen Frequenzanalyseteil 160, einen Berechnungsteil 170, einen Anzeigeteil 180 und einen Steuerteil 190.

**[0028]** Die Laservorrichtung 110 besitzt einen optischen Hohlraum (einen Laserresonator) und gibt einen frequenzmodulierten Laserstrahl mit mehreren Modi aus. Die Laservorrichtung 110 ist mit einem Frequenzschieber in einem Hohlraum (einem Resonator) versehen und gibt mehrere Längsmodenlaser, deren Schwingungsfrequenzen sich im Zeitablauf geradlinig ändern, aus. Die Laservorrichtung 110 ist z. B. ein Laser mit frequenzverschobener Rückkopplung (FSFL). Der FSFL wird später beschrieben.

**[0029]** Der Verzweigungsteil 120 teilt den frequenzmodulierten Laserstrahl, der von der Laservorrichtung 110 ausgeht, in (i) ein Bezugslicht, das ein Anteil des frequenzmodulierten Laserstrahls ist, und (ii) ein Messlicht, das mindestens ein Teil des verbleibenden Anteils des frequenzmodulierten Laserstrahls ist. Der Verzweigungsteil 120 ist z. B. ein faseroptischer Koppler mit einem Eingang und zwei Ausgängen. Im Beispiel von Fig. 2 liefert der Verzweigungsteil 120 das Messlicht zum optischen Zirkulator 130 und das Bezugslicht zum Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150.

**[0030]** Der optische Zirkulator 130 besitzt mehrere Ein-/Ausgangsanschlüsse. Zum Beispiel gibt der optische Zirkulator 130 ein Licht aus, das von einem Anschluss in den nächsten Anschluss eingegeben wird, und gibt ferner ein Licht aus, das vom nächsten Anschluss in den übernächsten Anschluss eingegeben wird. Fig. 2 zeigt ein Beispiel, in dem der optische Zirkulator 130 drei Eingangs-/Ausgangsanschlüsse besitzt. In diesem Fall gibt der optische Zirkulator 130 das Messlicht, das vom Verzweigungsteil 120 geliefert wird, zum optischen Kopfteil 140 aus.

Außerdem gibt der optische Zirkulator 130 ein Licht, das vom optischen Kopfteil 140 eingegeben wird, zum Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 aus.

**[0031]** Der optische Kopfteil 140 strahlt das Licht, das vom optischen Zirkulator 130 eingegeben wurde, zum zu messenden Objekt 10 ab. Der optische Kopfteil 140 enthält z. B. eine Kollimatorlinse. In diesem Fall passt der optische Kopfteil 140 zunächst unter Verwendung einer Kollimatorlinse das Licht, das vom optischen Zirkulator 130 mittels einer Lichtleiterfaser eingegeben wurde, in eine Strahlform an und gibt dann das Licht aus.

**[0032]** Außerdem empfängt der optische Kopfteil 140 ein reflektiertes Licht des Messlichts, das auf das zu messende Objekt 10 abgestrahlt wird. Der optische Kopfteil 140 fokussiert mit einer Kollimatorlinse das empfangene reflektierte Licht auf die Lichtleiterfaser und liefert es zum optischen Zirkulator 130. In diesem Fall kann der optische Kopfteil 140 eine gemeinsame Kollimatorlinse enthalten und kann die Kollimatorlinse das zu messende Objekt 10 mit dem Messlicht bestrahlen und das reflektierte Licht vom zu messenden Objekt 10 empfangen. Die Entfernung zwischen dem optischen Kopfteil 140 und dem zu messenden Objekt 10 ist als  $L$  definiert.

**[0033]** Alternativ kann der optische Kopfteil 140 eine Fokussierlinse enthalten. In diesem Fall fokussiert der optische Kopfteil 140 das Licht, das vom optischen Zirkulator 130 mittels der Lichtleiterfasern eingegeben wird, auf die Oberfläche des zu messenden Objekts 10. Der optische Kopfteil 140 empfängt mindestens einen Teil des reflektierten Lichts, das an der Oberfläche des zu messenden Objekts 10 reflektiert wurde. Der optische Kopfteil 140 fokussiert das empfangene reflektierte Licht unter Verwendung der Fokussierlinse auf eine Lichtleiterfaser und liefert das Licht zum optischen Zirkulator 130. Außerdem kann der optische Kopfteil 140 in diesem Fall eine gemeinsame Fokussierlinse enthalten und kann die Fokussierlinse das zu messende Objekt 10 mit dem Messlicht bestrahlen und das reflektierte Licht vom zu messenden Objekt 10 empfangen.

**[0034]** Der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 empfängt vom optischen Zirkulator 130 das reflektierte Licht, das durch Abstrahlen des Messlichts auf ein zu messendes Objekt 10 reflektiert wird. Außerdem empfängt der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 das Bezugslicht vom Verzweigungsteil 120. Der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 enthält einen Optokoppler oder dergleichen und mischt das reflektierte Licht und das Bezugslicht, um ein Schwebungssignal zu erzeugen. Der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 enthält z. B. ein fotoelektrisches Umsetzelement, wandelt das Schwebungssignal in ein elektrisches Signal um und gibt das elektrische Signal aus. Der Schwebungssignal-Er-

zeugungsteil 150 kann auch das reflektierte Licht und das Bezugslicht quadraturdetektieren.

**[0035]** Hier tritt, da das reflektierte Licht sich über die Entfernung vom optischen Kopfteil 140 zum zu messenden Objekt 10 hin- und herbewegt, eine Differenz in einer Ausbreitungsentfernung, die mindestens der Entfernung  $2L$  entspricht, im Vergleich zum Bezugslicht auf. Da die Schwingungsfrequenz des Lichts, das aus der Laservorrichtung 110 ausgegeben wird, sich im Zeitablauf geradlinig ändert, tritt eine Frequenzdifferenz, die von einer Ausbreitungsverzögerung, die der Differenz der Ausbreitungsentfernung entspricht, abhängig ist, zwischen der Schwingungsfrequenz des Bezugslichts und der Schwingungsfrequenz des reflektierten Lichts auf. Der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 erzeugt ein Schwebungssignal, das einer derartigen Frequenzdifferenz entspricht.

**[0036]** Der Frequenzanalyseteil 160 führt an dem Schwebungssignal, das durch den Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 erzeugt wurde, eine Frequenzanalyse durch. Zum Beispiel wandelt der Frequenzanalyseteil 160 das Schwebungssignal in ein digitales Signal um und wandelt das umgesetzte digitale Signal in ein Frequenzsignal um. Dann detektiert der Frequenzanalyseteil 160 die Frequenz des Schwebungssignals durch Analysieren des Frequenzsignals, das durch Umsetzen des Schwebungssignals in ein Frequenzdomänensignal erzeugt wurde. Der Frequenzanalyseteil 160 detektiert z. B. eine Spitzenwertfrequenz des Schwebungssignals. Hier sind die Frequenzen der Schwebungssignale als  $\nu_B$  definiert.

**[0037]** Der Berechnungsteil 170 berechnet eine Differenz der Ausbreitungsentfernung zwischen dem Bezugslicht und dem Messlicht auf der Grundlage eines Ergebnisses der Frequenzanalyse, die der Frequenzanalyseteil 160 an den Schwebungssignalen durchgeführt hat. Der Berechnungsteil 170 berechnet die Entfernung  $L$  vom optischen Kopfteil 140 zum zu messenden Objekt 10 auf der Grundlage der Frequenz  $\nu_B$  des Schwebungssignals.

**[0038]** Der Anzeigeteil 180 zeigt das Berechnungsergebnis des Berechnungsteils 170 an. Der Anzeigeteil 180 kann eine Anzeigevorrichtung oder dergleichen enthalten und das Berechnungsergebnis anzeigen. Außerdem kann der Anzeigeteil 180 das Berechnungsergebnis in einem Speicherteil oder dergleichen speichern. Der Anzeigeteil 180 kann das Berechnungsergebnis über ein Netz oder dergleichen zu einer externen Einrichtung liefern.

**[0039]** Der Steuerteil 190 steuert jeden Teil der Messvorrichtung 100. Der Steuerteil 190 steuert z. B. die Laservorrichtung 110, den frequenzmodulierten Laserstrahl auszugeben. Ferner steuert der

Steuerteil 190 den Frequenzanalyseteil 160 und den Berechnungsteil 170, die Entfernung L vom optischen Kopfteil 140 zum zu messenden Objekt 10 zu berechnen. Der Steuerteil 190 kann den Anzeigeteil 180 steuern, das Berechnungsergebnis der Entfernung L anzuzeigen. Der Steuerteil 190 kann Messdaten zu und von der Datenkorrekturvorrichtung 400 senden bzw. empfangen. Zum Beispiel liefert der Steuerteil 190 die Messdaten zur Datenkorrekturvorrichtung 400. Der Steuerteil 190 empfängt auch die Messdaten, die durch die Datenkorrekturvorrichtung 400 korrigiert wurden.

**[0040]** Es ist bevorzugt, dass mindestens ein Teil des Frequenzanalyseteils 160, des Berechnungsteils 170 und des Steuerteils 190 durch eine integrierte Schaltung oder dergleichen gebildet sind. Mindestens ein Teil des Frequenzanalyseteils 160, des Berechnungsteils 170 und des Steuerteils 190 enthält z. B. ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA), einen digitalen Signalprozessor (DSP) und/oder eine Zentraleinheit (CPU). Ferner können der Frequenzanalyseteil 160, der Berechnungsteil 170 und der Steuerteil 190 einteilig gebildet sein. Ein derartiger Steuerteil 190 besitzt den Speicherteil.

**[0041]** Der Speicherteil kann Zwischendaten, Berechnungsergebnisse, Sollwerte, Schwellenwerte, Parameter und dergleichen speichern, die in einem Betätigungsprozess des Frequenzanalyseteils 160, des Berechnungsteils 170 und des Steuerteils 190 erzeugt oder verwendet werden. Der Speicherteil kann die gespeicherten Daten in Reaktion auf eine Anforderung jedes Teils der Messvorrichtung 100 zu einer Anforderungsquelle liefern.

**[0042]** Der Speicherteil kann ein Betriebssystem (OS) und verschiedene Stücke von Informationen wie z. B. Programme, die als der Frequenzanalyseteil 160, der Berechnungsteil 170 und der Steuerteil 190 arbeiten, wenn die CPU oder dergleichen als mindestens ein Teil des Frequenzanalyseteils 160, des Berechnungsteils 170 und des Steuerteils 190 arbeitet, speichern. Der Speicherteil kann auch verschiedene Typen von Daten, die eine Datenbank enthalten, auf die während der Ausführung der Programme Bezug genommen werden soll, speichern. Außerdem kann der Speicherteil verschiedene Typen von Daten, die eine Datenbank enthalten, auf die während der Ausführung der Programme Bezug genommen werden soll, speichern. Zum Beispiel arbeitet ein Computer durch Ausführen der Programme, die im Speicherteil gespeichert sind, als der Frequenzanalyseteil 160, der Berechnungsteil 170 und der Steuerteil 190.

**[0043]** Der Speicherteil enthält z. B. einen Festwertspeicher (ROM), der ein System für grundlegende Eingabe/Ausgabe (BIOS) oder dergleichen eines Computers oder dergleichen speichert, und einen

Schreib-/Lese-Speicher (RAM), der als ein Arbeitsbereich dient. Der Speicherteil kann eine Speichereinrichtung mit großer Kapazität wie ein Festplattenlaufwerk (HDD) und/oder ein Festkörperlaufwerk (SSD) enthalten. Außerdem kann der Computer ferner eine Grafikverarbeitungseinheit (GPU) oder dergleichen enthalten.

**[0044]** Die Messvorrichtung 100, die oben beschrieben ist, kann die Entfernung L zwischen der Messvorrichtung 100 und dem zu messenden Objekt 10 durch Analysieren der Frequenzdifferenz zwischen dem Bezugslicht und dem reflektierten Licht des Messlichts, das auf das zu messende Objekt 10 abgestrahlt wird, messen. Das heißt, die Messvorrichtung 100 kann einen berührungslosen und zerstörungsfreien optischen Entfernungsmesser bilden.

[Konfigurationsbeispiel der Laservorrichtung 110]

**[0045]** Fig. 3 zeigt ein Konfigurationsbeispiel der Laservorrichtung 110 gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Die Laservorrichtung 110 von Fig. 3 zeigt ein Beispiel des FSFL. Die Laservorrichtung 110 enthält einen optischen Hohlraum und oszilliert einen Laserstrahl im optischen Hohlraum. Der optische Hohlraum der Laservorrichtung 110 enthält einen Frequenzschieber 112, ein Verstärkungsmedium 114, einen WDM-Koppler 116, eine Pumplichtquelle 117 und einen Ausgangskoppler 118.

**[0046]** Der Frequenzschieber 112 verschiebt eine Frequenz eines Lichts, das eingegeben werden soll, um eine etwa konstante Frequenz. Der Frequenzschieber 112 ist z. B. ein akustisch/optischer Frequenzschieber (AOFS), der akustisch/optische Elemente besitzt. Hier ist der Betrag der Frequenzverschiebung durch den Frequenzschieber 112 als  $+v_s$  definiert. Das heißt, der Frequenzschieber 112 verschiebt die Frequenz des Lichts, das um den Hohlraum zirkuliert, um die Frequenz in jedem Umlauf um  $v_s$  zu erhöhen.

**[0047]** Das Verstärkungsmedium 114 wird mit einem Pumplicht versorgt und verstärkt das Eingangslicht. Das Verstärkungsmedium 114 ist z. B. eine Lichtleiterfaser, die mit Verunreinigungen dotiert ist. Die Verunreinigungen sind z. B. Seltenerd-elemente wie z. B. Erbium, Neodym, Ytterbium, Terbium, Thulium oder dergleichen. Das Verstärkungsmedium 114 wird mittels des WDM-Kopplers 116 mit dem Pumplicht aus der Pumplichtquelle 117 versorgt. Der Ausgangskoppler 118 gibt einen Teil des Lichts, das im Hohlraum durch einen Laser in Schwingungen versetzt wurde, zu einer externen Einrichtung aus.

**[0048]** Das heißt, die Laservorrichtung 110, die in Fig. 3 gezeigt ist, enthält einen Faserringlaser, der den Frequenzschieber 112 im Hohlraum besitzt. Die

Laservorrichtung 110 enthält ferner bevorzugt einen Isolator im Hohlraum. Außerdem kann die Laservorrichtung 110 ein optisches Bandpassfilter besitzen, das Licht eines vorgegebenen Wellenlängenbands in den Hohlraum durchleitet. Im Folgenden werden Frequenzgänge des Laserstrahls, der von der Laservorrichtung 110 ausgehen wird, beschrieben.

**[0049]** Fig. 4 zeigt ein Beispiel des Laserstrahls, der von der Laservorrichtung 110 gemäß der vorliegenden Ausführungsform ausgehen wird. Fig. 4 zeigt links ein Lichtspektrum des Laserstrahls, der von der Laservorrichtung 110 zum Zeitpunkt  $t_0$  ausgehen wird. Im Lichtspektrum gibt die horizontale Achse die Lichtintensität an und gibt die vertikale Achse die Frequenz des Lichts an. Außerdem werden mehrere Longitudinalmoden des Lichtspektrums durch die Zahlen  $q$  bezeichnet. Die Frequenzen der mehreren Longitudinalmoden sind in annähernd konstanten Frequenzintervalle angeordnet. Unter der Annahme, dass  $T_{RT}$  ( $= 1/v_C$ ) die Zeit bezeichnet, die Licht benötigt, um einmal um den Hohlraum zu laufen, sind die mehreren Longitudinalmoden in Intervallen von  $1/T_{RT}$  ( $= v_C$ ) angeordnet, wie durch die folgende Gleichung repräsentiert ist. Es ist festzuhalten, dass  $v_0$  die Anfangsfrequenz des Lichtspektrums zum Zeitpunkt  $t_0$  ist. Außerdem ist  $v_C$  eine Hohlraumfrequenz (eine Resonatorfrequenz)  $v_C$  des optischen Hohlraums.

$$v_q(t_0) = v_0 + \frac{1}{T_{RT}} \quad \text{[Gleichung 1]}$$

**[0050]** Fig. 4 zeigt rechts Änderungen von Frequenzen im Zeitablauf der mehreren Longitudinalmoden, die durch die Laservorrichtung 110 ausgegeben werden. Auf der rechten Seite von Fig. 4 gibt die horizontale Achse die Zeit an und gibt die vertikale Achse die Frequenz an. Das heißt, Fig. 4 zeigt auf der rechten Seite eine Änderung im Zeitablauf der Frequenz des Laserstrahls, der von der Laservorrichtung 110 ausgegeben wird, und zeigt auf der linken Seite eine Momentanfrequenz des Laserstrahls zum Zeitpunkt  $t_0$ .

**[0051]** In der Laservorrichtung 110 erhöht der Frequenzschieber 112 jedes Mal, wenn das Licht im Hohlraum um den Hohlraum läuft, die Frequenz des Lichts, das im Hohlraum umläuft, um  $v_s$ . Das heißt, da die Frequenz jeder Mode sich für jeden Durchlauf von  $T_{RT}$  um  $v_s$  erhöht, ist die Änderungsrate der Frequenz  $dv/dt$  (d. h. die Chirp-Rate) annähernd gleich  $v_s/T_{RT}$ . Deshalb ändern sich die mehreren Longitudinalmoden, die durch Gleichung 1 repräsentiert sind, mit dem Ablauf der Zeit  $t$ , wie in der folgenden Gleichung gezeigt ist.

$$v_q(t) = v_0 + \frac{v_s}{T_{RT}}t + \frac{q}{T_{RT}} \quad \text{[Gleichung 2]}$$

[Details eines Entfernungsmessprozesses]

**[0052]** Die Messvorrichtung 100 gemäß der vorliegenden Ausführungsform misst die Entfernung  $L$  zwischen dem optischen Kopfteil 140 und dem zu messenden Objekt 10 unter Verwendung der Laservorrichtung 110, die die Frequenzelemente, die durch Gleichung 2 repräsentiert werden, ausgibt. Es sei angenommen, dass eine Differenz der optischen Pfade zwischen dem Bezugslicht und dem reflektierten Licht lediglich die Entfernung  $2L$ , die die wechselseitig durchlaufene Entfernung  $L$  ist, ist und die Ausbreitungsverzögerung, die der Entfernung  $2L$  entspricht,  $\Delta t$  ist. Das heißt, wenn das Messlicht reflektiert wird und vom zu messenden Objekt 10 zum Zeitpunkt  $t$  zurückgeführt wird, stimmt die Frequenz des zurückgeführten reflektierten Lichts annähernd mit der früheren Frequenz, die um eine Zeit  $\Delta t$  früher als die Zeit  $t$  ist, überein und kann deshalb durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden.

$$v_q(t - \Delta t) = v_0 + \frac{v_s}{T_{RT}}(t - \Delta t) + \frac{q}{T_{RT}} \quad \text{[Gleichung 3]}$$

**[0053]** Andererseits kann das Bezugslicht zum Zeitpunkt  $t$  durch die folgende Gleichung auf eine ähnliche Weise wie mit Gleichung 2 ausgedrückt werden, wobei das Bezugslicht  $v_{q'}(t)$  ist.

$$v_{q'}(t) = v_0 + \frac{v_s}{T_{RT}}t + \frac{q'}{T_{RT}} \quad \text{[Gleichung 4]}$$

**[0054]** Weil der Schwebungssignal-Erzeugungsteil 150 das reflektierte Licht und das Bezugslicht überlagert, werden mehrere Schwebungssignale zwischen den mehreren Longitudinalmoden, die durch Gleichung 3 ausgedrückt werden, und den mehreren Longitudinalmoden, die durch Gleichung 4 ausgedrückt werden, erzeugt. Unter der Annahme, dass die Frequenzen derartiger Schwebungssignale  $v_B$  sind, kann  $v_B$  durch die folgende Gleichung aus den Gleichungen 3 und 4 ausgedrückt werden. Es ist festzuhalten, dass  $M$  eine Differenz der Längsmodenzahlen ( $= q - q'$ ) ist,  $\Delta t = 2L/c$ ,  $c = c_0/n$  und  $1/T_{RT} = v_C$ . Im Übrigen ist  $\gamma$  ( $= v_s \cdot v_C$ ) ein Parameter auf der Grundlage der Änderungsrate der Frequenz pro Zeiteinheit eines frequenzmodulierten Laserstrahls und wird als eine Chirp-Rate bezeichnet. Zusätzlich ist  $n$  ein Brechungsindex von Luft und ist  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum. Zur Vereinfachung wird unten ein Fall beschrieben, in dem  $M = 0$ .

$$v_B = v_{q'}(t) - v_q(t - \Delta t) = \frac{2v_s v_C}{c}L - Mv_C = 2\gamma \frac{nL}{c_0} \quad \text{[Gleichung 5]}$$

**[0055]** Aus Gleichung 5 wird die Entfernung  $L$  durch die folgende Gleichung ausgedrückt.



$$L = \frac{c_0}{2\gamma n} v_B \quad [\text{Gleichung 6}]$$

**[0056]** Aus Gleichung 6 ist ersichtlich, dass die Entfernung  $L$  aus einem Beobachtungsergebnis der Frequenz  $v_B$  des Schwebungssignals berechnet werden kann. Wenn die Differenz  $M$  nicht 0 ist, kann die Entfernung  $L$  berechnet werden, indem der Wert von  $M$  durch Detektieren einer Änderung des Schwebungssignals, wenn der Betrag der Frequenzverschiebung  $v_s$  der Laservorrichtung 110 geändert wird, identifiziert wird. Da ein derartiges Verfahren des Bestimmens der Differenz  $M$  bekannt ist, wie in Patentdokument 1 oder dergleichen beschrieben ist, wird seine genaue Beschreibung ausgelassen.

**[0057]** Wie oben beschrieben ist, kann die Messvorrichtung 100 die Entfernung  $L$  vom optischen Kopfteil 140 zum zu messenden Objekt 10 messen. Ferner kann die Messvorrichtung 100 eine Entfernung von der Bezugsposition zum zu messenden Objekt 10 durch Hinzufügen eines Versatzwertes, der der Bezugsposition entspricht, zur Entfernung  $L$  berechnen und ausgeben.

**[0058]** Unter Verwendung einer derartigen Messvorrichtung kann die dreidimensionale Geometrie des zu messenden Objekts 10 gemessen werden, wie oben beschrieben ist. Allerdings tritt, da der Laserstrahl eine wellenartige Natur besitzt, die Dopplerverschiebung aufgrund der Relativgeschwindigkeit zwischen dem optischen Kopfteil 140 und dem zu messenden Objekt 10 auf und die Frequenz des reflektierten Lichts, das vom zu messenden Objekt 10 reflektiert wird, kann sich ändern. In diesem Fall kann eine Verringerung der Messgenauigkeit auftreten, wenn sich die Frequenz des reflektierten Lichts ändert, da die Messvorrichtung 100 die Entfernung auf der Grundlage der Frequenzdifferenz zwischen dem Bezugslicht und dem reflektierten Licht misst, wie oben beschrieben ist.

**[0059]** Im Allgemeinen wird ein Betrag der Dopplerverschiebung  $v_D$  der optischen Frequenz durch die folgende Gleichung ausgedrückt, wobei  $V$  eine Relativgeschwindigkeit zwischen einer Lichtquelle und einem Beobachter ist und die Richtung, in der die Lichtquelle und der Beobachter sich zueinander bewegen, ein positiver Wert ist.  $\lambda$  ist die Lichtwellenlänge.

$$v_D = \frac{V}{\lambda} \quad [\text{Gleichung 7}]$$

**[0060]** Weil die Messvorrichtung 100 den FSFL zwischen dem optischen Kopfteil 140 und dem zu messenden Objekt 10 hin- und herbewegt, wird der Dopplerverschiebungsbetrag  $V_D$  der Frequenz des reflektierten Lichts durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$v_D = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{dL}{dt} \quad [\text{Gleichung 8}]$$

**[0061]** Unter der Annahme, dass die Schwebungsfrequenz  $v_B$  ist, wenn die Dopplerverschiebung auftritt, wird  $v_B'$  durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$v_B' = v_B + v_D \quad [\text{Gleichung 9}]$$

**[0062]** Hier wird die folgende Gleichung über Vereinfachung durch Einsetzen von Gleichung 6 und Gleichung 8 in Gleichung 9 erhalten. Hier zeigt  $L'$  ein Messergebnis der Messvorrichtung 100, wenn sie durch die Dopplerverschiebung beeinflusst wird, und  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ .

$$L' = L - k \frac{dL}{dt} \quad [\text{Gleichung 10}]$$

**[0063]** Wie oben beschrieben ist, ist dann, wenn die Messung der Entfernung durch die Messvorrichtung 100 durch Bewegen (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 ausgeführt wird, ersichtlich, dass das Messergebnis einen Fehler auf der Grundlage der Dopplerverschiebung enthält. Um einen derartigen Fehler zu verringern, ist es denkbar, die Bewegungsgeschwindigkeit des zu messenden Objekts 10, mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 oder dergleichen zu detektieren und den Dopplerverschiebungsbetrag auf der Grundlage des Detektionsergebnisses zu berechnen und zu korrigieren. Allerdings verursacht ein Montieren eines Geschwindigkeitsmessers oder dergleichen in der Messvorrichtung 100 ferner eine Zunahme der Kosten und eine Zunahme des Umfangs der Vorrichtung.

[Konfigurationsbeispiel der Datenkorrekturvorrichtung 400]

**[0064]** Deshalb korrigiert die Datenkorrekturvorrichtung 400 gemäß der vorliegenden Ausführungsform den Fehler auf der Grundlage der Dopplerverschiebung, der im Messergebnis der Messvorrichtung 100 enthalten ist, ohne Verwendung eines Messergebnis eines Geschwindigkeitssystems. Die Datenkorrekturvorrichtung 400 ist z. B. in die Messvorrichtung 100 aufgenommen und ist mit der Messvorrichtung 100 einteilig gebildet. In diesem Fall ist bevorzugt, dass die Datenkorrekturvorrichtung 400 durch eine integrierte Schaltung oder dergleichen auf eine ähnliche Weise wie der Steuerteil 190 oder dergleichen gebildet ist. Ferner kann die Datenkorrekturvorrichtung 400 mit dem Steuerteil 190 oder dergleichen einteilig gebildet sein. In diesem Fall arbeitet z. B. die Messvorrichtung 100 durch Ausführen der Programme, die im Speicherteil der Messvorrichtung 100 gespeichert sind, als der Berechnungsteil 170,

der Steuerteil 190 und die Datenkorrekturvorrichtung 400.

**[0065]** Alternativ kann die Datenkorrekturvorrichtung 400 eine von der Messvorrichtung 100 unabhängige Einrichtung sein. In diesem Fall ist bevorzugt, dass die Datenkorrekturvorrichtung 400 durch einen Computer, der einen Prozessor besitzt, gebildet ist. Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, enthält die Datenkorrekturvorrichtung 400 einen Erfassungsteil 410, einen Speicherteil 420 und einen Korrekturteil 430.

**[0066]** Der Erfassungsteil 410 erfasst die Messdaten, die die Messvorrichtung 100 durch periodisches Messen der Entfernung von der Bezugsposition zum zu messenden Objekt 10 während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 erhalten hat. Es ist festzuhalten, dass das Zeitintervall, in dem die Messvorrichtung 100 die Entfernung misst,  $\Delta t$  ist. Außerdem soll ein Messergebnis der Entfernung, das durch die Messvorrichtung 100 während eines Messzeitraums, der einen Zeitraum enthält, in dem die Messvorrichtung 100 die relativen Positionen der Messvorrichtung 100 und des zu messenden Objekts 10 bewegt hat, ausgegeben wird, ein erstes Messergebnis sein.

**[0067]** Hier sind (i) Daten bei einem Anfang der Messdaten und/oder (ii) Daten bei einem Ende der Messdaten, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst werden, Daten, die ein Ergebnis des Messens der Entfernung angeben, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden. Das Ergebnis des Messens der Entfernung durch die Messvorrichtung 100, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, sollen ein zweites Messergebnis sein. Der Erfassungsteil 410 erfasst dann Messdaten, in denen das erste Messergebnis in einer Zeitreihe angeordnet ist und das zweite Messergebnis bei dem Anfang oder dem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist.

**[0068]** Mit anderen Worten erzeugt die Messvorrichtung 100 die Messdaten, in denen das erste Messergebnis, das durch periodisches Messen der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 erhalten wird, in einer Zeitreihe angeordnet ist und das zweite Messergebnis, das durch Messen der Entfernung erhalten wird, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, bei dem Anfang oder dem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist. Der Erfassungsteil 410 kann derartige Messdaten von der Messvorrichtung 100 erfassen oder kann alternativ derartige Messdaten aus einer Außendatenbank oder dergleichen

erfassen. Der Erfassungsteil 410 ist bevorzugt mittels eines Netzes mit einer Datenbank verbunden.

**[0069]** Der Speicherteil 420 speichert mindestens einige von Zwischendaten, Berechnungsergebnissen, Sollwerten, Schwellenwerten, Parametern und dergleichen, die in einem Betätigungsprozess der Datenkorrekturvorrichtung 400 erzeugt oder verwendet werden. Der Speicherteil 420 speichert z. B. die Messdaten, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurden. Der Speicherteil 420 kann die gespeicherten Daten in Reaktion auf eine Anforderung von jedem Teil der Datenkorrekturvorrichtung 400 zu einer Anforderungsquelle liefern.

**[0070]** Der Speicherteil 420 kann ein Betriebssystem (OS) und verschiedenen Stücke von Daten wie z. B. Programme, die als der Erfassungsteil 410 und der Korrekturteil 430 wirken, wenn die CPU oder dergleichen als mindestens ein Teil des Erfassungsteils 410 und des Korrekturteils 430 arbeitet, speichern. Der Speicherteil 420 kann auch verschiedenen Typen von Daten, die eine Datenbank enthalten, auf die während des Ausführens der Programme Bezug genommen werden soll, speichern. Zum Beispiel wirkt ein Computer durch Ausführen der Programme, die im Speicherteil 420 gespeichert sind, als der Erfassungsteil 410 und der Korrekturteil 430.

**[0071]** Der Speicherteil 420 enthält z. B. einen Festwertspeicher (ROM), der ein System für grundlegende Eingabe/Ausgabe (BIOS) oder dergleichen eines Computers oder dergleichen speichert, und einen Schreib-/Lese-Speicher (RAM), der als ein Arbeitsbereich dient. Der Speicherteil 420 kann eine Speichereinrichtung mit großer Kapazität wie ein Festplattenlaufwerk (HDD) und/oder ein Festkörperlaufwerk (SSD) enthalten. Außerdem kann der Computer ferner eine Grafikerarbeitungseinheit (GPU) oder dergleichen enthalten. Der Speicherteil 420 kann mindestens einen Teil der Funktionen des Speicherteils der Messvorrichtung 100 aufweisen. Zum Beispiel ist dann, wenn die Messvorrichtung 100 und die Datenkorrekturvorrichtung 400 einteilig gebildet sind, bevorzugt, dass der Speicherteil 420 als der Speicherteil der Messvorrichtung 100 arbeitet.

[Beispiel einer Fehlerkorrektur durch den Korrekturteil 430]

**[0072]** Der Korrekturteil 430 wendet die Messdaten, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurden, auf eine Rekursionsformel an, um einen Fehler zu korrigieren, der in den Messdaten enthalten ist, die die Bewegung (i) des zu messenden Objekts 10 und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung 100 als Grundlage verwenden. Im Folgenden wird eine vorgegebene Rekursionsformel beschrieben, die durch den Korrekturteil 430 verwendet wird. Im Allgemeinen kann die Ableitung einer Funktion  $f(x)$

in Bezug auf  $x$  durch ein Vorwärtsdifferenzverfahren wie in der folgenden Gleichung angenähert werden.

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad [\text{Gleichung 11}]$$

**[0073]** Die Ableitung der Funktion  $f(x)$  in Bezug auf  $x$  kann auch durch ein Rückwärtsdifferenzverfahren wie in der folgenden Gleichung angenähert werden.

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{f(x) - f(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad [\text{Gleichung 12}]$$

**[0074]** Unter Verwendung von Gleichung 11 werden Zeitdifferenzdaten  $dL_n/d\Delta t$ , die Messdaten  $L_n$  der  $n$ -ten Entfernung sind, durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$\frac{dL_n}{dt} \approx \frac{L_{n+1} - L_n}{\Delta t} \quad [\text{Gleichung 13}]$$

Ähnlich werden unter Verwendung von Gleichung 12 die Zeitdifferenzdaten  $dL_n/d\Delta t$  durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$\frac{dL_n}{dt} \approx \frac{L_n - L_{n-1}}{\Delta t} \quad [\text{Gleichung 14}]$$

**[0075]** Die folgenden Gleichungen werden über Vereinfachen durch Einsetzen von Gleichung 13 in Gleichung 10 und Einsetzen von Gleichung 14 in Gleichung 10 erhalten.

$$L_n' = L_n - \frac{k}{\Delta t} (L_{n+1} - L_n) \quad [\text{Gleichung 15}]$$

$$L_n' = L_n - \frac{k}{\Delta t} (L_n - L_{n-1}) \quad [\text{Gleichung 16}]$$

**[0076]** Hier werden, wenn die Chirp-Rate  $\gamma > 0$ , die folgenden Gleichungen durch Vereinfachen der Gleichungen 15 und 16 erhalten, da  $s = k/\Delta t$ . Es ist festzuhalten, dass Gleichung 18 ein Ergebnis des Verwendens einer Ersetzung von  $n \rightarrow n + 1$  zeigt.

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n+1} \quad [\text{Gleichung 17}]$$

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n+1}' + \frac{s-1}{s} L_{n+1} \quad [\text{Gleichung 18}]$$

**[0077]** Der Korrekturteil 430 korrigiert einen Fehler, der in den Messdaten enthalten ist, unter Verwendung einer Rekursionsformel, wie in den Gleichungen 17 und 18 gezeigt ist, auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung des Messergebnisses der Messvorrichtung 100. Die Rekursionsformel, die in den Gleichungen 17 und 18 gezeigt ist, ist eine Gleichung, die zum Korrigieren der Messdaten  $L_n$  der  $n$ -ten Entfernung unter Verwendung von Messdaten

$L_{n+1}$  der  $n+1$ -ten Entfernung verwendet wird. Um ein bestimmtes Messdatenstück zu korrigieren, werden die nächsten Messdaten verwendet und deshalb ist bevorzugt, dass mindestens das letzte Stück der Messdaten unter den Messdaten das zweite Messergebnis ist, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird.

**[0078]** Mit anderen Worten erfasst der Erfassungsteil 410 dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  positiv ist, Messdaten, in denen das zweite Messergebnis beim Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist, und der Korrekturteil 430 verwendet eine Rekursionsformel, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurde, angeordnet sind, in einer umgekehrten Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert. In diesem Fall korrigiert die Datenkorrekturvorrichtung 400 die Messdaten, nachdem die Messvorrichtung 100 alle Messdaten erzeugt hat.

**[0079]** Die folgende Gleichung zeigt ein konkreteres Beispiel, wenn der Korrekturteil 430 die Messdaten unter Verwendung von Gleichung 17 als die Rekursionsformel korrigiert.  $L_n'$  der folgenden Gleichung zeigt ein Beispiel des zweiten Messergebnisses.

$$\begin{aligned} L_{n-1} &= \frac{1}{s+1} L_{n-1}' + \frac{s}{s+1} L_n' \\ L_{n-2} &= \frac{1}{s+1} L_{n-2}' + \frac{s}{s+1} L_{n-1}' \\ &\vdots \\ L_1 &= \frac{1}{s+1} L_1' + \frac{s}{s+1} L_2' \end{aligned} \quad [\text{Gleichung 19}]$$

**[0080]** Wie oben beschrieben ist, kann die Datenkorrekturvorrichtung 400 gemäß der vorliegenden Ausführungsform den Fehler auf der Grundlage der Doppler-Verschiebung durch Anwenden der Messdaten auf die vorgegebene Rekursionsformel verringern. Deshalb kann die Datenkorrekturvorrichtung 400 den Fehler ohne Verwendung des Geschwindigkeitsmessers oder dergleichen einfach verringern. Natürlich kann das erste Messergebnis das Messergebnis des Messens der Entfernung, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, ein Messergebnis, wenn die Richtung der Relativgeschwindigkeit des zu messenden Objekts 10 und der Messvorrichtung 100 geändert wird, und dergleichen enthalten.

**[0081]** In der oben beschriebenen Datenkorrekturvorrichtung wurde ein Beispiel beschrieben, in dem die Chirp-Rate  $\gamma$  positiv ist, jedoch ist die vorliegende Ausführungsform nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel werden, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  negativ ist ( $\gamma <$

0), die folgenden Gleichungen durch Vereinfachen jeder der Gleichungen 15 und 16 erhalten, da  $s = -k/\Delta t$ . Es ist festzuhalten, dass Gleichung 20 ein Ergebnis unter Verwendung einer Ersetzung von  $n \rightarrow n - 1$  zeigt.

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n-1}' + \frac{s-1}{s} L_{n-1} \quad \text{[Gleichung 20]}$$

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n-1} \quad \text{[Gleichung 21]}$$

**[0082]** Der Korrekturteil 430 korrigiert einen Fehler, der in den Messdaten enthalten ist, unter Verwendung einer Rekursionsformel wie in den Gleichungen 20 und 21 auf der Grundlage der zeitlichen Ableitung des Messergebnisses der Messvorrichtung 100. Auf diese Weise verwendet der Korrekturteil 430 verschiedene Rekursionsformeln gemäß dem positiven und dem negativen Vorzeichen der Chirp-Rate des frequenzmodulierten Laserstrahls, der durch die Messvorrichtung 100 verwendet wird. Die Rekursionsformel, die in den Gleichungen 20 und 21 gezeigt ist, ist eine Gleichung, die zum Korrigieren der Messdaten  $L_n$  der n-ten Entfernung unter Verwendung von Messdaten  $L_{n-1}$  der n-1-ten Entfernung verwendet wird. Um ein bestimmtes Messdatenstück zu korrigieren, werden die vorhergehenden Messdaten verwendet, weshalb bevorzugt ist, dass mindestens das erste Messdatenstück unter den Messdaten das zweite Messergebnis ist, das durch Messen der Entfernung erhalten wird, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden.

**[0083]** Mit anderen Worten erfasst dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  negativ ist, der Erfassungsteil 410 Messdaten, in denen das zweite Messergebnis beim Anfang des ersten Messergebnisses angeordnet ist, und der Korrekturteil 430 verwendet eine Rekursionsformel, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurde, angeordnet sind, in der Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert. In diesem Fall korrigiert die Datenkorrekturvorrichtung 400 z. B. die Messdaten, nachdem die Messvorrichtung 100 alle Messdaten erzeugt hat.

**[0084]** Alternativ kann die Messvorrichtung 100 das Messergebnis erzeugen, während die Entfernung gemessen wird, und die Datenkorrekturvorrichtung 400 kann das Messergebnis, das durch die Messvorrichtung 100 erzeugt wird, erfassen und sequenziell korrigieren. Auf diese Weise ist es, da die Datenkorrekturvorrichtung 400 das Messergebnis sequenziell korrigieren kann, während die Messvorrichtung 100 die Entfernungsmessung mehrmals durchführt, möglich, die Zeit zwischen dem Start der Messung und der Ausgabe eines Korrekturergebnisses zu verringern.

**[0085]** Die folgende Gleichung zeigt ein konkreteres Beispiel, wenn der Korrekturteil 430 Gleichung 21 als die Rekursionsformel verwendet, um die Messdaten zu korrigieren.  $L_1'$  der folgenden Gleichung zeigt ein Beispiel des zweiten Messergebnisses.

$$L_2 = \frac{1}{s+1} L_2' + \frac{s}{s+1} L_1'$$

$$L_3 = \frac{1}{s+1} L_3' + \frac{s}{s+1} L_2' \quad \text{[Gleichung 22]}$$

⋮

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n-1}'$$

**[0086]** Es wurde ein Beispiel beschrieben, in dem die Datenkorrekturvorrichtung 400 gemäß der vorliegenden Ausführungsform die Rekursionsformel auf der Grundlage der Zeitdifferenzdaten  $dL_n/d\Delta t$ , die in den Gleichungen 13 und 14 gezeigt sind, verwendet, jedoch ist die vorliegende Ausführungsform nicht darauf beschränkt. Die Datenkorrekturvorrichtung 400 kann ein Differenzverfahren mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  verwenden, um die Genauigkeit der Annäherung der Zeitdifferenzdaten  $dL_n/d\Delta t$  zu erhöhen. Das Differenzverfahren mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  nähert die Ableitung der Funktion  $f(x)$  in Bezug auf  $x$  als die folgende Gleichung an.

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{\sum_{i=0}^m a_i f(x+i\Delta x)}{b\Delta x} \quad \text{[Gleichung 23]}$$

oder

$$\frac{df}{dx} \approx -\frac{\sum_{i=0}^m a_i f(x-i\Delta x)}{b\Delta x} \quad \text{[Gleichung 24]}$$

**[0087]** Die Kombination von Koeffizienten ( $a_0, a_1, \dots, a_m, b$ ) ist weithin bekannt und ist z. B.  $(-3, 4, -1, 2)$ , wenn  $m = 2$ . Der Korrekturteil 430 kann den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung unter Verwendung von Rekursionsformeln auf der Grundlage von Gleichung 23 und Gleichung 24 genauer korrigieren. Die Rekursionsformel auf der Grundlage von Gleichung 23 und die Rekursionsformel auf der Grundlage von Gleichung 24 sind verschiedene Rekursionsformeln gemäß dem positiven und dem negativen Vorzeichen der Chirp-Rate  $\gamma$ , wie oben beschrieben ist.

**[0088]** Zum Beispiel wird dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  positiv ist, die entsprechende Rekursionsformel als die folgende Gleichung, die über Vereinfachen durch Einsetzen von Gleichung 23 in Gleichung 10 erhalten wird, ausgedrückt. Hier  $s = k/\Delta t$ .

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n+i}$$

[Gleichung 25]

[0089] Ferner wird dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  negativ ist, die entsprechende Rekursionsformel als die folgende Gleichung, die über Vereinfachen durch Einsetzen von Gleichung 24 in Gleichung 10 erhalten wird, ausgedrückt. Hier  $s = -k/\Delta t$ .

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n-i}$$

[Gleichung 26]

[0090] Wenn das Differenzverfahren mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  verwendet wird, erfasst der Erfassungsteil 410 Messdaten, in denen das zweite Messergebnis gezeigt ist, als die zweiten Daten, die  $m$  Datenstücke vom Anfang oder  $m$  Datenstücke vom Ende der Messdaten sind. Zum Beispiel misst die Messvorrichtung 100 die Entfernung  $m$  mal, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden, um Messdaten zu erzeugen, in denen  $m$  Stücke der zweiten Daten bei dem Anfang oder dem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet sind. Dann erfasst der Erfassungsteil 410 derartige Messdaten.

[0091] Insbesondere erfasst dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  positiv ist, der Erfassungsteil 410 Messdaten, in denen  $m$  Stücke der zweiten Daten beim Ende des ersten Messergebnisses angeordnet sind, und verwendet der Korrekturteil 430 die Rekursionsformel, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurde, angeordnet sind, in einer umgekehrten Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert. Ferner erfasst dann, wenn die Chirp-Rate  $\gamma$  negativ ist, der Erfassungsteil 410 Messdaten, in denen  $m$  Stücke der zweiten Daten beim Anfang des ersten Messergebnisses angeordnet sind, und verwendet der Korrekturteil 430 die Rekursionsformel, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil 410 erfasst wurde, angeordnet sind, in der Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert.

[0092] Die folgende Gleichung zeigt ein konkreteres Beispiel, wenn der Korrekturteil 430 Gleichung 25 als die Rekursionsformel verwendet, um die Messdaten zu korrigieren. Es ist festzuhalten, dass in der folgenden Gleichung  $m = 2$  und  $L_n'$  und  $L_{n-1}'$  der folgenden Gleichung jeweils ein Beispiel des zweiten Messergebnisses zeigen.

$$L_{n-2} = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_{n-2}' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_{n-1}' - \frac{1}{2}L_n' \right)$$

$$L_{n-3} = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_{n-3}' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_{n-2}' - \frac{1}{2}L_{n-1}' \right)$$

$$L_{n-4} = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_{n-4}' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_{n-3}' - \frac{1}{2}L_{n-2}' \right)$$

⋮

$$L_1 = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_1' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_1' - \frac{1}{2}L_3' \right)$$

[Gleichung 27]

[0093] Die folgende Gleichung zeigt ein konkreteres Beispiel, wenn der Korrekturteil 430 Gleichung 26 als die Rekursionsformel verwendet, um die Messdaten zu korrigieren. Es ist festzuhalten, dass in der folgenden Gleichung  $m = 2$  und  $L_1'$  und  $L_2'$  der folgenden Gleichung jeweils ein Beispiel des zweiten Messergebnisses zeigen.

$$L_3 = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_3' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_2' - \frac{1}{2}L_1' \right)$$

$$L_4 = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_4' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_3' - \frac{1}{2}L_2' \right)$$

$$L_5 = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_5' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_4' - \frac{1}{2}L_3' \right)$$

⋮

$$L_n = \frac{1}{\frac{3}{2}s+1} L_n' + \frac{s}{\frac{3}{2}s+1} \left( 2L_{n-1}' - \frac{1}{2}L_{n-2}' \right)$$

[Gleichung 28]

[0094] Im Übrigen kann die Messvorrichtung 100 Messdaten, die  $m'$  Stücke der zweiten Daten enthalten, erzeugen, indem die Entfernung  $m'$  mal, was kleiner als  $m$  mal ist ( $0 < m' < m$ ), gemessen wird, wenn das zu messende Objekt 10 und die Messvorrichtung 100 sich in einem ortsfesten Zustand befinden. In diesem Fall erstellt der Erfassungsteil 410 lediglich  $m - m'$  Kopien von Daten, die in  $m'$  Stücken der zweiten Daten enthalten sind, und erzeugt z. B. Messdaten, in denen insgesamt  $m$  Datenstücke bei dem Anfang oder dem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet sind.

[0095] Hier ist ein Beispiel beschrieben, in dem die Messvorrichtung 100 Messdaten erzeugt, in denen ein Stück der zweiten Daten beim Ende des ersten Messergebnisses, das  $p$  Stücke von ersten Daten enthält, angeordnet ist. In diesem Fall kann der Steuerteil 190 dem Erfassungsteil 410 mitteilen,

dass ein Stück der zweiten Daten beim Ende der Messdaten angeordnet ist. Der Erfassungsteil 410 erfasst Messdaten, die  $1 + p$  Datenstücke von der Messvorrichtung 100 enthalten, erstellt lediglich 4 Kopien eines Stücks der zweiten Daten beim Ende und erzeugt Messdaten, die  $5 + p$  Datenstücke enthalten, wobei insgesamt 5 Stücke der zweiten Daten beim Ende des ersten Messergebnisses angeordnet sind.

**[0096]** Dadurch kann der Korrekturteil 430 einen Fehler, der in  $p$  Stücken der ersten Daten enthalten ist, durch Anwenden der Messdaten, die (i)  $m$  ( $= 5$ ) Stücke der zweiten Daten und (ii)  $p$  Stücke der ersten Daten, die im ersten Messergebnis enthalten sind, enthalten, auf eine Rekursionsformel, die durch Gleichung 25, wenn  $m = 5$ , ausgedrückt wird, korrigieren. Mit anderen Worten kann selbst dann, wenn die Messvorrichtung 100 die Stückzahl von zweiten Daten, die im zweiten Messergebnis enthalten sind, nicht zu zwei oder mehr erhöht, die Datenkorrekturvorrichtung 400 durch Vervielfältigen der zweiten Daten die Genauigkeit der Korrektur unter Verwendung des Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  weiter erhöhen.

**[0097]** Der Korrekturteil 430 liefert die korrigierten Messdaten zur Messvorrichtung 100. Die Messvorrichtung 100 zeigt die korrigierten Messdaten am Anzeigeteil 180 an. Außerdem kann die Datenkorrekturvorrichtung 400 ferner eine Anzeigeeinrichtung enthalten, die die korrigierten Messdaten anzeigt.

**[0098]** Die vorliegende Offenbarung ist auf der Grundlage der beispielhaften Ausführungsformen erläutert. Der technische Umfang der vorliegenden Offenbarung ist nicht auf den Umfang, der in den oben beschriebenen Ausführungsformen erläutert ist, beschränkt und es ist möglich, verschiedene Änderungen und Modifikationen im Umfang der Erfindung vorzunehmen. Zum Beispiel kann die Vorrichtung vollständig oder teilweise mit einer beliebigen Einheit, die funktionell oder physisch verteilt oder integriert ist, konfiguriert sein. Ferner sind neue beispielhafte Ausführungsformen, die durch ihre beliebigen Kombinationen erzeugt werden, in den beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung enthalten. Ferner weisen Wirkungen der neuen Ausführungsform, die durch die Kombinationen erbracht werden, zugleich auch die Wirkung der ursprünglichen beispielhaften Ausführungsform auf.

114	Verstärkungsmedium
116	WDM-Koppler
117	Pumplichtquelle
118	Ausgangskoppler
120	Verzweigungsteil
130	Optischer Zirkulator
140	Optischer Kopfteil
150	Schwebungssignal-Erzeugungsteil
160	Frequenzanalyseteil
170	Berechnungsteil
180	Anzeigeteil
190	Steuerteil
400	Datenkorrekturvorrichtung
410	Erfassungsteil
420	Speicherteil
430	Korrekturteil
1000	Messsystem

#### Bezugszeichenliste

10	Zu messendes Objekt
100	Messvorrichtung
110	Laservorrichtung
112	Frequenzschieber

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 3583906 [0002]

## Patentansprüche

1. Datenkorrekturvorrichtung (400), die Folgendes umfasst:

einen Erfassungsteil (410), der von einer Messvorrichtung (100), die eine Entfernung von einer Bezugsposition zu einem zu messenden Objekt (10) unter Verwendung eines frequenzmodulierten Laserstrahls misst und die Entfernung periodisch messen kann, während (i) das zu messende Objekt (10) und/oder (ii) mindestens ein Teil der Messvorrichtung (100) bewegt wird, Messdaten erfasst, in denen ein erstes Messergebnis der Entfernung in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch die Messvorrichtung (100) erhalten wird, die die Entfernung misst, wenn das zu messende Objekt (10) und die Messvorrichtung (100) sich in einem ortsfesten Zustand befinden, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist; und

einen Korrekturteil (430), der einen Fehler, der in den Messdaten enthalten ist, und auf einer Bewegung des zu messenden Objekts (10) und/oder mindestens eines Teils der Messvorrichtung (100) basiert, durch Anwenden der Messdaten, die durch den Erfassungsteil (410) erfasst wurden, auf eine Rekursionsformel auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung eines Messergebnisses der Messvorrichtung (100) korrigiert.

2. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 1, wobei der Korrekturteil (430) gemäß einem positiven Vorzeichen und einem negativen Vorzeichen einer Chirp-Rate, das auf einer Änderungsrate der Frequenz pro Zeiteinheit des frequenzmodulierten Laserstrahls, der durch die Messvorrichtung (100) verwendet wird, basiert, verschiedene Rekursionsformeln verwendet.

3. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 2, wobei der Erfassungsteil (410) die Messdaten, in denen die zweiten Messdaten am Anfang der ersten Messdaten angeordnet sind, erfasst, wenn die Chirp-Rate negativ ist, und der Korrekturteil (430) eine Rekursionsformel verwendet, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil (410) erfasst wurde, angeordnet sind, in der Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert.

4. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 3, wobei der Korrekturteil (430) als die Rekursionsformel eine erste Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n-1}' + \frac{s-1}{s} L_{n-1} \quad (1)$$

ausgedrückt wird, oder eine zweite Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n-1} \quad (2)$$

ausgedrückt wird, verwendet, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung (100) die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist und  $\gamma$  die Chirp-Rate ist.

5. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 3, wobei der Korrekturteil (430) als die Rekursionsformel eine dritte Rekursionsformel verwendet, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n-i} \quad (3)$$

ausgedrückt wird, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung (100) die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist,  $\gamma$  die Chirp-Rate ist und Koeffizienten ( $a_0, a_1, \dots, a_m, b$ ) Koeffizienten sind, die verwendet werden, um Zeitdifferenzdaten der Messdaten als Zeitdifferenzdaten unter Verwendung eines Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  anzunähern.

6. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei der Erfassungsteil (410) die Messdaten jedes Mal erfasst, wenn die Messvorrichtung (100) die Entfernung misst, und der Korrekturteil (430) ein Korrigieren der Messdaten, die durch den Erfassungsteil (410) erfasst wurden, startet, um die Messdaten sequenziell zu korrigieren, während die Messvorrichtung (100) fortsetzt, die Entfernung zu messen.

7. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 2, wobei der Erfassungsteil (410) die Messdaten, in denen die zweiten Messdaten beim Ende der ersten Messdaten angeordnet sind, erfasst, wenn die Chirp-Rate positiv ist, und der Korrekturteil (430) eine Rekursionsformel verwendet, die die Messdaten, die in einer Zeitreihe, die durch den Erfassungsteil (410) erfasst wurde, angeordnet sind, in einer umgekehrten Reihenfolge der Zeitreihe der Anordnung korrigiert.



8. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 7, wobei der Korrekturteil (430) als die Rekursionsformel eine vierte Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s+1} L_n' + \frac{s}{s+1} L_{n+1} \quad (4)$$

ausgedrückt wird, oder eine fünfte Rekursionsformel, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{s} L_{n+1}' + \frac{s-1}{s} L_{n+1} \quad (5)$$

ausgedrückt wird, verwendet, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung (100) die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist und  $\gamma$  die Chirp-Rate ist.

9. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 7, wobei der Korrekturteil (430) als die Rekursionsformel eine sechste Rekursionsformel verwendet, die durch die folgende Gleichung

$$L_n = \frac{1}{1 - \frac{a_0}{b} s} L_n' + \frac{\frac{s}{b}}{1 - \frac{a_0}{b} s} \sum_{i=1}^m a_i L_{n+i} \quad (6)$$

ausgedrückt wird, wobei  $L_n'$  das n-te Messergebnis ist, das den Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung enthält,  $L_n$  das n-te Messergebnis ist, in dem der Fehler aufgrund der Doppler-Verschiebung korrigiert wurde,  $s = k/\Delta t$ ,  $\Delta t$  ein Zeitintervall ist, in dem die Messvorrichtung (100) die Entfernung misst,  $k = 2c_0/\lambda n \gamma$ ,  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum ist,  $\lambda$  eine Wellenlänge des frequenzmodulierten Laserstrahls ist,  $n$  ein Brechungsindex von Luft ist,  $\gamma$  die Chirp-Rate ist und Koeffizienten ( $a_0, a_1, \dots, a_m, b$ ) Koeffizienten sind, die verwendet werden, um Zeitdifferenzdaten der Messdaten als Zeitdifferenzdaten unter Verwendung eines Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  anzunähern.

10. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 8 oder 9, wobei der Erfassungsteil (410) die Messdaten, in denen das zweite Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt (10) und die Messvorrichtung (100) sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, als zweite Daten  $m$  Stücke vom Anfang oder  $m$  Stücke vom Ende angeordnet ist, erfasst und der Korrekturteil (430) den Fehler, der in  $p$  Stücken

von ersten Daten enthalten ist, durch Anwenden der Messdaten, die  $m$  Stücke der zweiten Daten und  $p$  Stücke der ersten Daten, die im ersten Messergebnis enthalten sind, enthalten, auf die Rekursionsformel korrigiert.

11. Datenkorrekturvorrichtung (400) nach Anspruch 10, wobei der Erfassungsteil (410) ferner von der Messvorrichtung (100) Informationen bezüglich  $m'$  erfasst, was die Anzahl von Datenstücken des zweiten Messergebnisses, die in den Messdaten enthalten sind, ist, und der Korrekturteil (430) lediglich  $m - m'$  Kopien der Daten des zweiten Messergebnisses erstellt und dann den Fehler der Messdaten korrigiert, wenn  $m'$ , was die Anzahl von Datenstücken des zweiten Messergebnisses, die in den Messdaten enthalten sind, ist, kleiner als eine Ordnung  $m$  des Differenzverfahrens mit einer Genauigkeit der Ordnung  $m$  ist.

12. Messsystem (1000), das Folgendes umfasst: die Messvorrichtung (100), die die Entfernung von einer Bezugsposition zum zu messenden Objekt (10) misst und Folgendes enthält: eine Laservorrichtung (110), die den frequenzmodulierten Laserstrahl ausgibt, einen Verzweigungsteil (120), der den frequenzmodulierten Laserstrahl, der von der Laservorrichtung (110) ausgehen wird, in (i) ein Bezugslicht, das ein Anteil des frequenzmodulierten Laserstrahls ist, und (ii) ein Messlicht, das mindestens ein Teil des verbleibenden Anteils des frequenzmodulierten Laserstrahls ist, teilt, einen Schwebungssignal-Erzeugungsteil (150), der ein Taktsignal durch Mischen des Bezugslichts und eines reflektierten Lichts, das durch Abstrahlen des Messlichts auf ein zu messendes Objekt (10) reflektiert wird, erzeugt, einen Frequenzanalyseteil (160), der das Schwebungssignal frequenzanalysiert, und einen Berechnungsteil (170), der die Entfernung zwischen der Bezugsposition und dem zu messenden Objekt (10) auf der Grundlage eines Ergebnisses einer Frequenzanalyse, die am Schwebungssignal durch den Frequenzanalyseteil (160) durchgeführt wird, berechnet; und die Datenkorrekturvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Messvorrichtung (100) die Messdaten erzeugt, in denen das erste Messergebnis, das ein Messergebnis eines periodischen Messens der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts (10) und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung (100) enthält, in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt (10) und die Messvorrichtung (100) sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist.

13. Programm, das einen Computer veranlasst, als die Datenkorrekturvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zu wirken, wenn es durch den Computer ausgeführt wird.

14. Korrekturverfahren, das die folgenden Schritte umfasst:

Erfassen von einer Messvorrichtung (100), die eine Entfernung von einer Bezugsposition zu einem zu messenden Objekt (10) unter Verwendung eines frequenzmodulierten Laserstrahls misst, von Messdaten, in denen ein erstes Messergebnis, das ein Messergebnis eines periodischen Messens der Entfernung während eines Bewegens (i) des zu messenden Objekts (10) und/oder (ii) mindestens eines Teils der Messvorrichtung (100) enthält, in einer Zeitreihe angeordnet ist und ein zweites Messergebnis, das durch Messen der Entfernung, wenn das zu messende Objekt (10) und die Messvorrichtung (100) sich in einem ortsfesten Zustand befinden, erhalten wird, bei einem Anfang oder einem Ende des ersten Messergebnisses angeordnet ist, und Korrigieren eines Fehlers, der in den Messdaten enthalten ist und auf einer Bewegung des zu messenden Objekts (10) und/oder mindestens eines Teils der Messvorrichtung (100) basiert, durch Anwenden der Messdaten auf eine Rekursionsformel auf der Grundlage einer zeitlichen Ableitung eines Messergebnisses der Messvorrichtung (100), die durch einen Computer ausgeführt werden.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

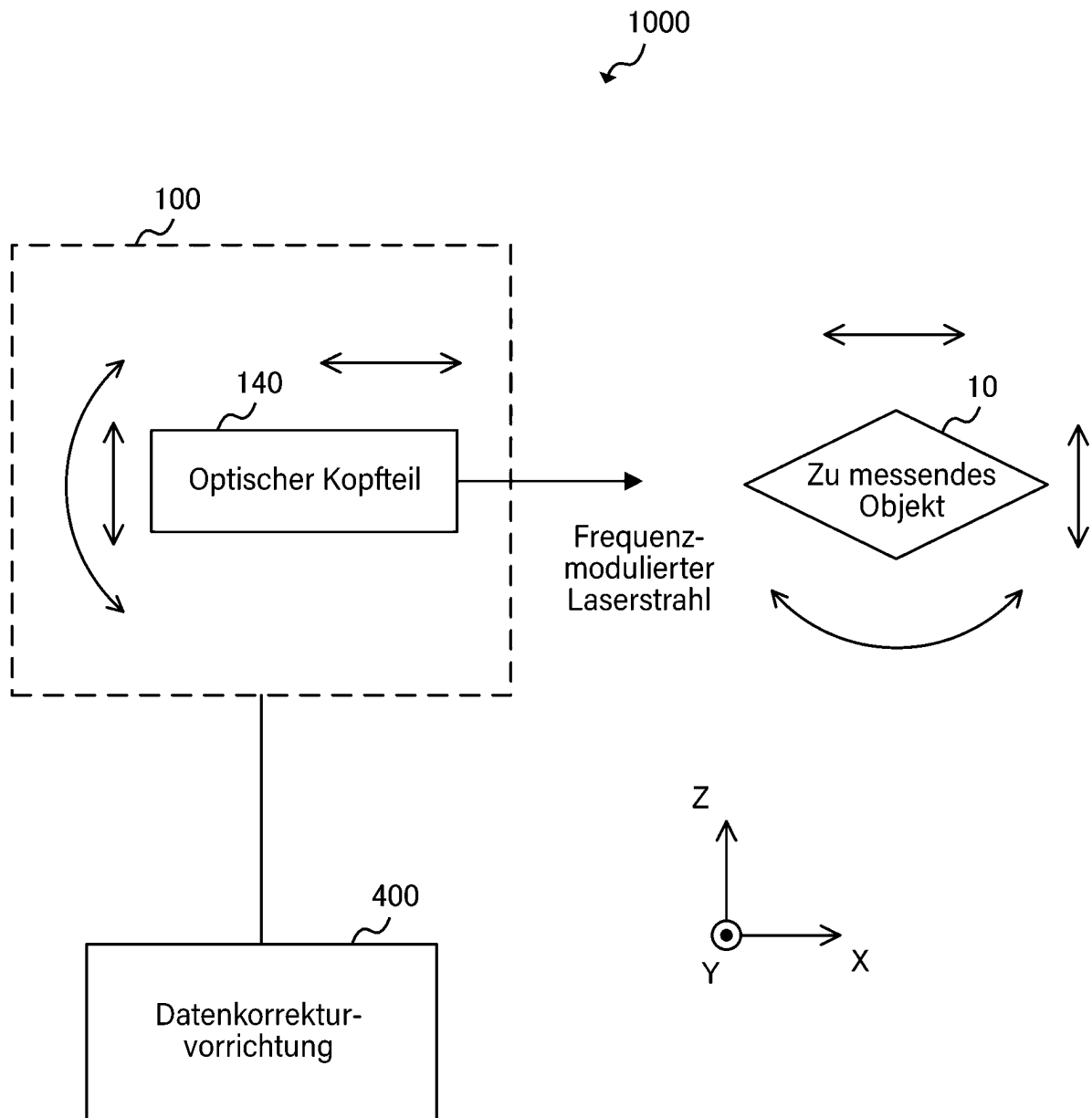


FIG. 1

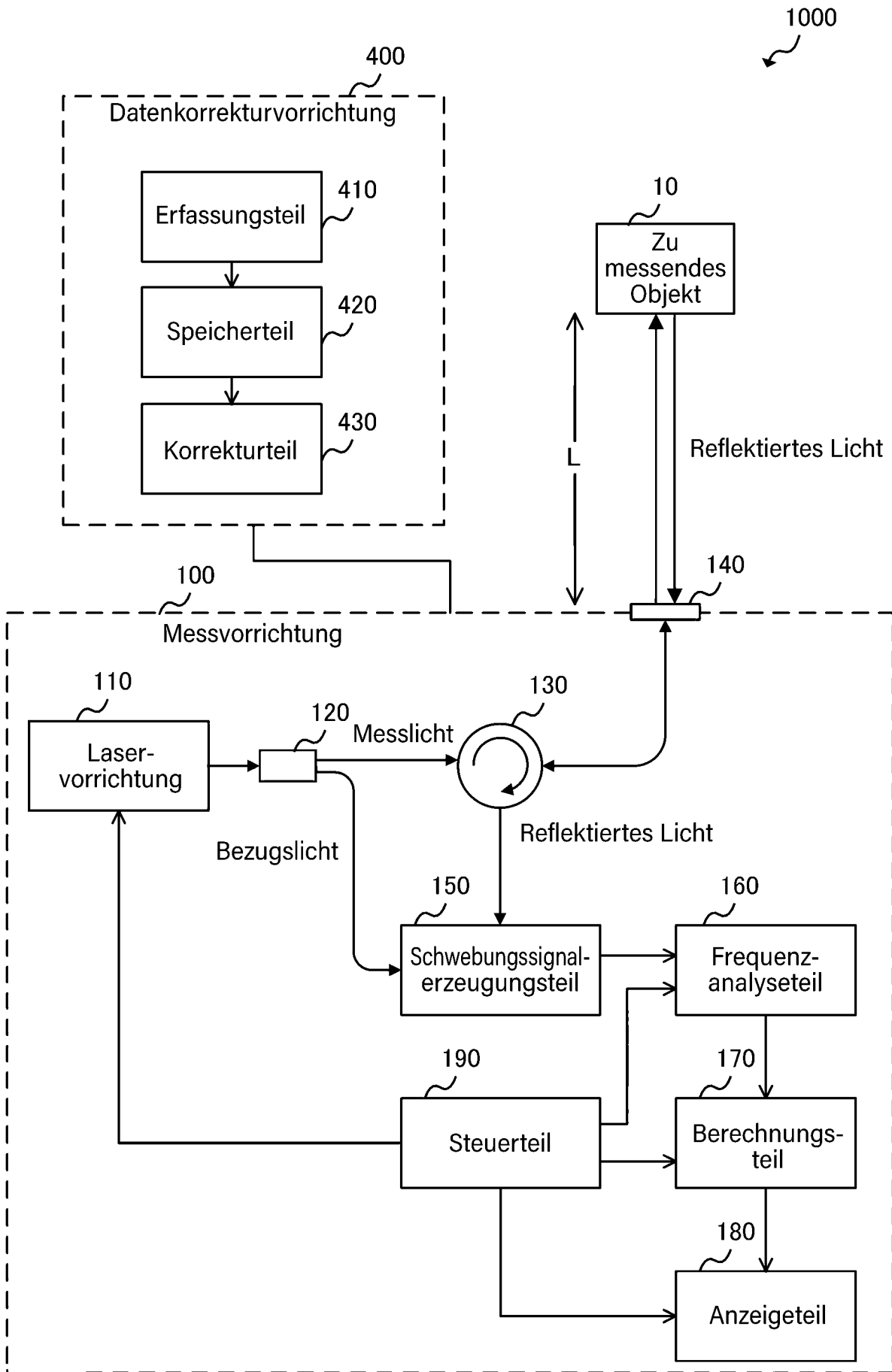


FIG. 2

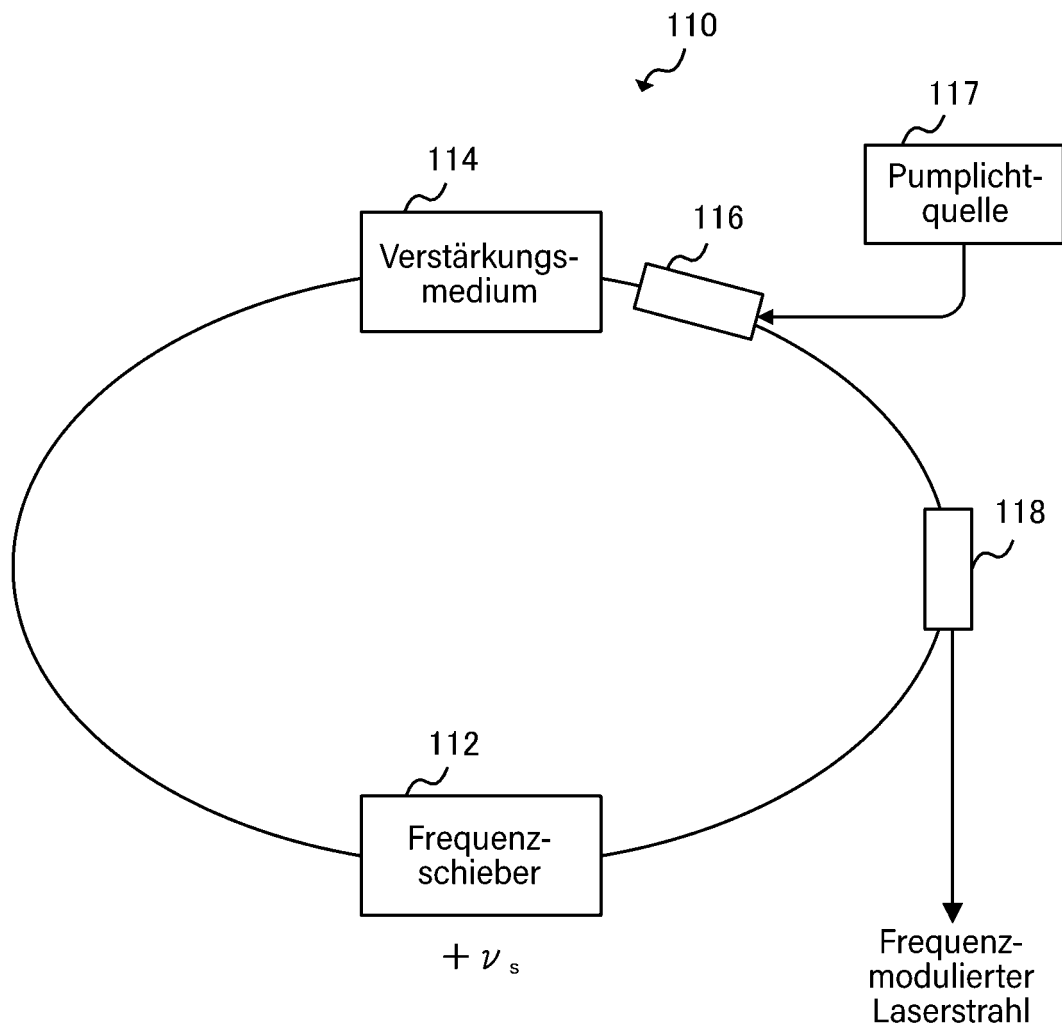


FIG. 3

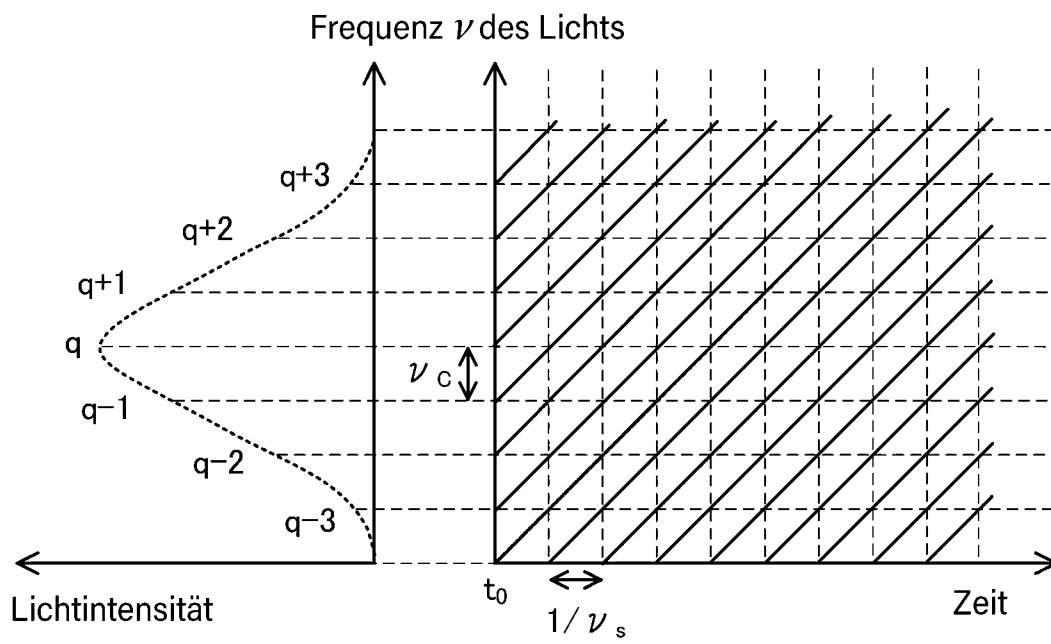


FIG. 4