



(10) **DE 10 2010 038 955 B4** 2019.08.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 038 955.2**
(22) Anmeldetag: **05.08.2010**
(43) Offenlegungstag: **24.02.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2019**

(51) Int Cl.: **G01S 7/497 (2006.01)**
G01S 17/08 (2006.01)
G01S 17/32 (2006.01)
G01S 7/481 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
61/232,222 07.08.2009 US

(73) Patentinhaber:
Faro Technologies, Inc., Lake Mary, Fla., US

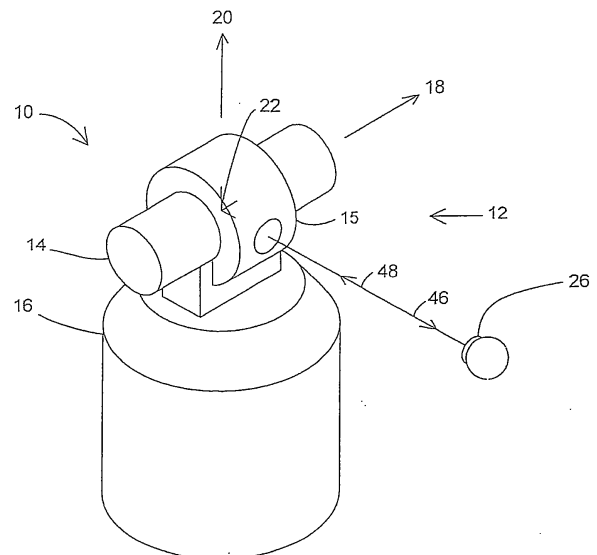
(74) Vertreter:
Beissel, Jean, Strassen, LU

(72) Erfinder:
Bridges, Robert E., Kennett Square, Pa., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Absolutentfernungsmessvorrichtung mit optischem Schalter**

(57) Hauptanspruch: Absolutentfernungsmessvorrichtung , die eine Entfernung zu einem Ziel (26) bestimmt, weist auf: eine Lichtquelle (102), die einen emittierten Lichtstrahl (108, 46) emittiert;
ein Faserschaltnetzwerk (200) mit mindestens einem optischen Schalter (500), der mindestens zwischen zwei Positionen in Antwort auf ein Schaltersteuersignal schaltet, wobei eine erste der Positionen einen Messmodus aktiviert, in welchem der emittierte Lichtstrahl (108, 46) von dem Faserschaltnetzwerk (200) zu dem Ziel (26) emittiert wird und als ein Messlichtstrahl (48) in das Faserschaltnetzwerk (200) zurück reflektiert wird, wobei eine zweite der Positionen einen Referenzmodus aktiviert, in welchem der Lichtstrahl einen Referenzlichtstrahl innerhalb des Faserschaltnetzwerks (200) aufweist, wobei das Faserschaltnetzwerk (200) weiterhin einen Teilfaser-Retroreflektor (505) aufweist sowie mindestens einen faseroptischen Koppler (206), durch welchen der emittierte Lichtstrahl (108, 46) und die Mess- (48) und Referenzlichtstrahlen passieren;
einen Einkanal-detektor (322), der die Mess- (48) und Referenzlichtstrahlen in einer temporär beabstandeten, gemultiplizierten Weise detektiert und ein elektrisches Signal bereitstellt, welches mit den detektierten Mess-(48) und Referenzlichtstrahlen korrespondiert, wobei der mindestens eine faseroptische Koppler (206) optisch mit dem Einkanal-detektor (322), mit der Lichtquelle (102) und mit dem mindestens einen optischen Schalter (500) verbunden wird;
einen ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 369 880	B1
US	6 463 393	B1
US	6 727 985	B2
US	6 765 653	B2
US	6 847 436	B2
US	6 859 744	B2
US	6 864 966	B2
US	7 095 490	B2
US	7 196 776	B2
US	7 224 444	B2
US	7 262 863	B2
US	7 336 346	B2
US	7 339 655	B2
US	7 352 446	B2
US	7 471 377	B2
US	7 474 388	B2
US	7 492 444	B2
US	7 518 709	B2
US	7 738 083	B2
US	2009 / 0 009 747	A1
US	2009 / 0 046 271	A1
US	3 900 260	A
US	4 297 030	A
US	5 455 670	A
US	5 764 360	A
US	4 113 381	A
US	4 790 651	A
US	5 991 011	A
US	3 914 052	A
US	5 880 822	A
US	4 498 764	A
US	3 728 025	A
US	3 779 645	A
US	3 813 165	A
US	4 453 825	A
US	3 832 056	A
US	3 365 717	A
US	5 886 777	A
US	3 619 058	A
US	5 002 388	A
US	5 737 068	A
US	4 689 489	A
US	4 714 339	A
US	5 742 379	A
WO	2006/ 039 682	A1
WO	2007/ 084 209	A2

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Absolutentfernungsmessvorrichtungen und genauer eine Absolutentfernungsmessvorrichtung, die ein optisches Faserschaltnetzwerk aufweist, das eine ungewünschte Drift innerhalb der Absolutentfernungsmessvorrichtung reduziert und dadurch werden genauere Entfernungsmessvorrichtungen bereitgestellt.

Hintergrund

[0002] Im Allgemeinen ist eine Absolutentfernungsmessvorrichtung (absolute distance meter, ADM) eine Vorrichtung, welche die Entfernung zu einem fernen Ziel bestimmt. Sie führt dies aus durch Senden von Laserlicht an das Ziel und dann durch Auf sammeln von Licht, welches das Ziel reflektiert oder streut. Eine ADM kann verwendet werden, um Entfernungen in einer Dimension zu messen, wie es zum Beispiel in einem Konsumprodukt, das in einem Elektrogeschäft verfügbar ist, gesehen werden kann. Es kann zum Beispiel in einer komplexeren Vorrichtung hinzugefügt sein, welche die Fähigkeit zum Messen von Größen korrespondierend mit zusätzlichen Dimensionen aufweist (Freiheitsgrade).

[0003] Ein Beispiel für eine Vorrichtung des letzteren Typs ist der Lasertracker, welcher dreidimensionale räumliche Koordinaten misst. Beispielhafte Systeme werden durch US 4 790 651 A von Brown et al. und US 4 714 339 A von Lau et al. beschrieben. Der Lasertracker sendet einen Laserstrahl an ein Retroreflektorziel, das gegen eine Oberfläche von Interesse gehalten wird, oder in eine feste Aufnahme platziert wird. Der am meisten verwendete Typ eines Retroreflektorziels ist ein sphärisch angebrachter Retroreflektor (spherically mounted retroreflector, SMR), welcher einen Würfeckenretroreflektor aufweisen kann, der innerhalb einer Sphäre mit dem Scheitelpunkt der Würfecke an dem Sphären-Mittelpunkt angebracht ist.

[0004] Eine Vorrichtung, die nah verwandt ist mit dem Lasertracker ist der Laserscanner. Der Laserscanner schreitet mit einem oder mehreren Laserstrahlen zu Punkten auf einer diffusen Oberfläche. Der Lasertracker und der Laserscanner sind beide Koordinatenmessvorrichtungen. Es ist heute übliche Praxis den Begriff Lasertracker zu verwenden, die auch als Laserscannervorrichtungen bezeichnet werden, die eine Entfernungs- und Winkelmess-Fähigkeit aufweisen. Eine andere Vorrichtung, die nah mit dem Lasertracker verwandt ist, ist die Totalstation, die üblicherweise von Vermessern verwendet wird. Die breite Definition eines Lasertrackers, welche Laserscanner und Totalstationen einschließt, wird durchgehend in diesem Dokument verwendet.

[0005] Eine Radarvorrichtung ist ähnlich einem Lasertracker indem, dass sie elektromagnetische Wellen abstrahlt und empfängt und die empfangenen Wellen analysiert, um die Entfernung zu einem Ziel zu erfahren. Radarvorrichtungen strahlen üblicherweise Wellen in dem RF-, Mikrowellen- oder Millimeter-Bereich des elektromagnetischen Spektrums ab, wobei Lasertracker üblicherweise Wellen in dem sichtbaren oder nahen Infrarot-Bereich abstrahlen. Radarvorrichtungen können entweder bistatisch oder monostatisch sein. Monostatische Radarvorrichtungen strahlen ab und empfangen elektromagnetische Energie entlang eines gemeinsamen Weges, wobei bistatische Radarvorrichtungen auf verschiedenen Wegen abstrahlen und empfangen. Totalstationen können entweder bistatisch oder monostatisch sein. Lasertracker werden für industrielle Messung mit hoher Genauigkeit verwendet, jedoch sind sie monostatisch.

[0006] Um zu verstehen warum Lasertracker monostatisch sind, wird ein durch den Lasertracker abgestrahlter Strahl betrachtet, der zu einem Retroreflektorziel reist und wird zurück auf sich selbst retroreflektiert. Falls ein bistatischer Modus in dem Tracker verwendet wurde, würde der einfallende Laserstrahl über den Mittelpunkt des Retroreflektors streichen und der reflektierte Laserstrahl würde sich relativ zu dem einfallenden Laserstrahl verschieben. Retroreflektorziele mit kleiner Größe von der Sorte, die oft mit Lasertrackern verwendet wird, würde nicht kompatibel mit solch einer bistatischen Vorrichtung sein. Zum Beispiel ist ein üblicher Typ eines Retroreflektorziels der 0,5 Inch Durchmesser eines SMR. Der Würfecken-Retroreflektor in solch einem SMR hat üblicherweise einen freien Blendendurchmesser von ungefähr 0,3 Inch, welcher ungefähr 7,5 mm entspricht. Der $1/e^2$ Strahlungsdichtedurchmesser eines Laserstrahls von einem Tracker könnte ungefähr diese Größe haben oder größer sein. Folglich würde jede Verschiebung in dem Laserstrahl bewirken, dass der Strahl durch den SMR begrenzt wird. Dies würde in einem unakzeptabel großen Abfall der an den Tracker zurückkehrenden optischen Leistung resultieren.

[0007] Eine bistatische Geometrie würde auch für ein faseroptik-basiertes ADM-System problematisch sein. In einem monostatischen Lasertracker, der Laserlicht aus einer optischen Faser ausgibt, kann ein Laser-Kollimator hergestellt werden durch Anordnen der Endfläche der optischen Faser an den Brennpunkt einer Kollimationslinse. Auf dem Rückkehrweg von dem entfernten Retroreflektor streift kollimiertes Laserlicht wieder die Kollimationslinse, obgleich im Allgemeinen der zurückkehrende Laserstrahl außerhalb des Mittelpunkts bezogen auf das ausgehende Laserlicht sein kann. Die Faserendoberfläche ist in dem Fokus der Kollimationslinse angeordnet, welches die Wirkung hat, dass das Licht von dem Re-

troreflektorziel effizient zurück in die Faser gekoppelt wird, unabhängig von wo der Strahl die Linse streift. In einer bistatischen Vorrichtung ist eine Anordnung der faseroptik-empfangenden Optik vielmehr herausfordernd und eine Koppelungseffizienz ist viel niedriger.

[0008] Ein Typ von Lasertracker enthält nur ein Interferometer (IFM) ohne eine Absolutentfernungsmessvorrichtung. Falls ein Gegenstand den Weg des Laserstrahls von einem dieser Tracker blockiert, verliert der IFM seine Entfernungreferenz. Der Betreiber muss dann den Retroreflektor auf die Spur eines bekannten Orts bringen zum Rücksetzen einer Referenzentfernung bevor die Messung fortgesetzt wird. Eine Möglichkeit, um diese Begrenzung zu umgehen, ist es eine ADM in den Tracker einzuführen. Die ADM kann eine Entfernung in einer Punkt-und-Schuss-Weise messen wie unten detaillierter beschrieben. Einige Lasertracker enthalten nur eine ADM ohne ein Interferometer. Ein beispielhafter Lasertracker dieses Typs wird im US 5 455 670 A von Payne, et al. beschrieben. Andere Lasertracker enthalten üblicherweise sowohl eine ADM als auch ein Interferometer. Ein beispielhafter Lasertracker dieses Typs wird im US 5 764 360 A von Meier, et al. beschrieben.

[0009] Ein Kardan-Mechanismus innerhalb des Lasertrackers kann verwendet werden, um einen Laserstrahl von dem Tracker auf den SMR zu richten. Ein Teil des Lichts, das durch den SMR retroreflektiert wird, tritt in den Lasertracker ein und passiert ihn zu einem Positionsdetektor. Ein Steuerungssystem innerhalb des Lasertrackers kann die Position des Lichts auf dem Positionsdetektor verbinden, um die Drehwinkel der mechanischen Azimut- und Zenitachsen des Lasertrackers anzupassen, um den Laserstrahl zentriert auf den SMR zu halten. Auf diese Weise ist es möglich einem SMR zu folgen (auf der Spur zu bleiben), der über die Oberfläche eines in Frage kommenden Gegenstands bewegt wird.

[0010] Winkel-Encoder, die auf den mechanischen Azimut- und Zenitachsen des Trackers angebracht sind, können die Azimut- und Zenitwinkel des Laserstrahls (mit Bezug auf den Tracker-Rahmen der Referenz) messen. Die eine Entfernungsmessung und zwei Winkelmessungen, die durch den Lasertracker durchgeführt werden, sind ausreichend, um vollständig die dreidimensionale Position des SMR zu spezifizieren.

[0011] Eine der Hauptanwendungen für Lasertracker ist es die Oberflächenmerkmale von Objekten zu scannen, um ihre geometrischen Eigenschaften zu bestimmen. Ein Betreiber kann zum Beispiel den Winkel zwischen zwei Oberflächen durch Scannen jede der Oberflächen bestimmen und dann eine geometrische Ebene an jede anpassen. Ein Betreiber kann in einem anderen Beispiel den Mittelpunkt und

Radius einer Sphäre durch Scannen der Sphärenoberfläche bestimmen.

[0012] Vor der US 7 352 446 B2 von Bridges et al., wurde eher ein Interferometer als eine ADM für den Lasertracker benötigt, um sich bewegende Ziele zu scannen. Bis zu dieser Zeit waren Absolutentfernungsmessvorrichtungen zu langsam um genau die Position eines sich bewegenden Ziels zu finden. Um die volle Funktionalität mit sowohl scannender als auch Punkt-und-Schuss-Fähigkeit zu erhalten, benötigten die früheren Lasertracker sowohl ein Interferometer als auch eine ADM.

[0013] Es folgt ein allgemeiner Vergleich einer interferometrischen Entfernungsmessung und einer Absolutentfernungsmessung. In dem Lasertracker kann ein Interferometer (falls vorhanden) die Entfernung von einem Startpunkt bis zu einem Endpunkt durch Zählen der Anzahl von Inkrementen bekannter Länge (üblicherweise die halbe Wellenlänge des Laserlichts) bestimmen, das passiert, wenn ein Retroreflektorziel zwischen den zwei Punkten bewegt wird. Falls der Strahl während der Messung unterbrochen wird, kann die Anzahl der Zähler nicht genau bekannt sein, das bewirkt, dass die Entfernungsinformation verloren geht. Durch Vergleich bestimmt die ADM in einem Lasertracker die absolute Entfernung zu einem Retroreflektorziel ohne Rücksicht auf Strahlunterbrechungen, welches auch ein Schalten zwischen einer Mehrzahl von Zielen ermöglicht. Deswegen wird gesagt, dass die ADM eine „Punkt-und-Schuss“-Messung ermöglicht.

[0014] Obgleich es mehrere Fehlerquellen in einer Interferometer-Messung gibt, liegt in den meisten Fällen der Hauptfehler in dem Wert der durchschnittlichen Wellenlänge des Laserlichts über seinen Weg durch die Luft. Die Wellenlänge an einem Punkt im Raum ist gleich der Vakuumwellenlänge des Laserlichts geteilt durch den Brechungsindex der Luft an diesem Punkt. Die Vakuumwellenlänge des Lasers ist üblicherweise mit hoher Genauigkeit bekannt (besser als ein Teil aus 10.000.000), aber der durchschnittliche Brechungsindex von Luft ist weniger genau bekannt. Der Brechungsindex von Luft wird gefunden durch ein erstes Benutzen von Sensoren um die Temperatur, Druck und Luftfeuchtigkeit der Luft zu messen und dann diese gemessenen Werte in eine geeignete Gleichung einzuführen wie zum Beispiel der Ciddor-Gleichung oder der Edlin-Gleichung.

[0015] Jedoch sind die Temperatur, der Druck und die Luftfeuchtigkeit über den Raum nicht gleichförmig und ebenso sind die Sensoren nicht perfekt genau. Ein Fehler der durchschnittlichen Temperatur von einem Grad Celsius verursacht zum Beispiel einen Fehler in dem Brechungsindex von ungefähr einem Teil pro Million (PPM). Wie oben erwähnt ist die

Wellenlänge von Licht in Luft umgekehrt proportional zu dem Luftbrechungsindex.

[0016] Ähnlich ist in einer ADM die so genannte ADM-Wellenlänge der Amplitudemodulationshüllkurve (auch bekannt als Mehrdeutigkeitsbereich) umgekehrt proportional zu dem Luft-Gruppenbrechungsindex. Wegen dieser Ähnlichkeit führen Fehler beim Messen der Temperatur, des Drucks und der Feuchtigkeit zu Fehlern in der berechneten Entfernung, die ungefähr gleich sind für ADM- und Interferometer-Systeme.

[0017] Jedoch sind ADMs anfällig für Fehler, die nicht in Interferometern gefunden werden. Um eine Entfernung zu messen verwendet ein Interferometer einen elektrischen Zähler um eine Spur mit der Anzahl von Zeiten zu verfolgen, die beide Lichtstrahlen innerhalb und außerhalb einer Phase verlaufen sind. Der Zähler ist eine digitale Vorrichtung, die nicht auf kleine analoge Unterschiede reagieren muss. Im Vergleich sind ADMs üblicherweise zum Messen von analogen Werten wie z.B. Phasenverschiebung oder Zeitverzögerung für hohe Präzision erforderlich.

[0018] In den meisten hoch-leistungsfähigen ADMs wird Laserlicht entweder durch Anlegen eines elektrischen Signals an die Laserquelle oder durch Senden des Laserlichts durch einen externen Modulator wie zum Beispiel einen akusto-optischen Modulator oder einen elektro-optischen Modulator moduliert. Dieses modulierte Laserlicht wird von der ADM an ein fernes Ziel ausgesendet, welches ein Retroreflektor oder eine diffuse Oberfläche sein kann. Licht reflektiert von oder streut an dem fernen Ziel und passiert zumindest teilweise zurück in die ADM.

[0019] Um die Schwierigkeiten zu verstehen, denen man durch ADMs ausgesetzt ist, betrachten wir zwei allgemeine ADM-Architekturen: eine temporär inkohärente Architektur und eine temporär kohärente Architektur. In einigen temporär kohärenten Systemen wird das zurückkehrende Laserlicht mit Laserlicht von einem anderen Ort gemischt bevor es an einen optischen Detektor gesendet wird, der das Licht in ein elektrisches Signal umwandelt. Dieses Signal wird decodiert, um die Entfernung von der ADM an das ferne Ziel zu finden. In solchen Systemen kann eine Modulation auf die Amplitude, Phase oder Wellenlänge des Laserlichts angewendet werden. In anderen temporär kohärenten Systemen werden mehrere reine Laserlinien, die verschiedene Wellenlängen aufweisen, kombiniert bevor sie an den Retroreflektor gesendet werden. Diese verschiedenen Lichtwellenlängen werden an dem Detektor kombiniert, dadurch wird eine „synthetische“-Modulation bereitgestellt.

[0020] In temporär inkohärenten optischen Systemen wird Licht üblicherweise nicht in einem optischen Detektor mit Licht einer anderen Wellenlänge ge-

mischt. Der einfachste Typ von einem temporär inkohärenten System verwendet einen einzelnen Messkanal und keinen Referenzkanal. Üblicherweise wird Laserlicht in solchen Systemen mit optischer Leistung moduliert. Licht, das von dem Retroreflektor zurückkehrt, streift einen optischen Detektor, der das Licht in ein elektrisches Signal, das dieselbe Modulationsfrequenz aufweist, umwandelt. Diese Signale werden elektrisch verarbeitet, um die Entfernung von dem Tracker zu dem Ziel zu finden. Der Hauptnachteil dieses Systemtyps ist, dass Variationen in der Reaktion von elektrischen und optischen Bauteilen über die Zeit Jitter und Drift in der berechneten Entfernung verursacht.

[0021] Um diese Fehler in einem temporär inkohärenten System zu reduzieren, ist es ein Ansatz einen Referenzkanal zusätzlich zu dem Messkanal zu kreieren. Dieses wurde unternommen durch Kreieren von zwei Elektronikätzen. Ein Elektronikatz befindet sich in dem Messkanal. Moduliertes Laserlicht, das von dem entfernten Retroreflektor zurückkehrt, wird durch einen optischen Detektor zu einem elektrischen Signal umgewandelt und passiert durch diesen Elektronikatz. Der andere Elektronikatz befindet sich in dem Referenzkanal. Das elektrische Modulationssignal wird direkt an diesen zweiten Elektronikatz angelegt. Durch Subtraktion der Entfernung, die in dem Referenzkanal gemessen wird, von der Entfernung, die in dem Messkanal gefunden wird, werden Jitter und Drift in ADM-Ablesungen reduziert. Diese Art von Ansatz entfernt viel von der Variabilität, die durch elektrische Bauteile verursacht wird, insbesondere als eine Temperaturfunktion. Jedoch kann es nicht eine Variabilität, die sich aus Unterschieden in elektro-optischen Bauteilen wie zum Beispiel den Laser und Detektor ergibt, entfernen.

[0022] Um diese Fehler weiter zu reduzieren, kann ein Teil des modulierten Laserlichts aufgeteilt werden und an einen optischen Detektor in dem Referenzkanal gesendet werden. Die meisten der Variationen in dem modulierten Laserlicht der Mess- und Referenzkanäle sind im Gleichtakt und werden abgebrochen, wenn die Referenzentfernung von der gemessenen Entfernung subtrahiert wird.

[0023] Trotz dieser Verbesserungen kann eine Drift in solchen ADM-Systemen noch relativ groß sein, insbesondere über lange Zeitspannen oder über große Temperaturänderungen. Alle der oben diskutierten Architekturen sind einer Drift unterworfen und Wiederholungsfehler, die durch Variationen in optischen und elektrischen Bauelementen verursacht werden, die nicht identisch in den Mess- und Referenzkanälen sind. Optische Fasern, die in ADM-Systemen verwendet werden, ändern eine optische Weglänge mit der Temperatur. Elektrische Anordnungen, die in ADM-Systemen verwendet werden wie zum Beispiel

Verstärker und Filter ändern eine elektrische Phase mit der Temperatur.

[0024] Ein Verfahren und eine Vorrichtung zum außerordentlichen Reduzieren der Wirkungen einer Drift in einer ADM innerhalb eines Lasertrackers wird in US 6 847 436 B2 von Bridges gelehrt, deren Inhalte hiermit per Verweis eingebunden sind. Dieses Verfahren umfasst eine Verwendung einer Zerhackeranordnung, um alternierend zurückkehrendes Laserlicht auf einem Mess- oder Referenzweg um zu lenken. Obgleich dieses Verfahren gut funktioniert, gibt es eine Begrenzung in der maximalen Rate der Drehung der Schwingblende und daher in der Datensammelrate der ADM.

[0025] Ein Verfahren eines Messens der Entfernung zu einem sich bewegenden Retroreflektor wird in US 7 352 446 B2 von Bridges et al. gelehrt, deren Inhalte hiermit per Verweis eingebunden sind. Um die höchstmögliche Leistung unter Verwendung des Verfahrens der US 7 352 446 B2 zu erhalten, werden die Entfernungen bei einer hohen Rate neu gerechnet, vorzugsweise bei einer Rate von mindestens 10 kHz. Es ist schwierig eine mechanische Schwingblende wie in US 6 847 436 B2 mit einer Datenrate dieser Höhe herzustellen. Daher muss ein anderes Verfahren gefunden werden, um das ADM-Driftproblem zu lösen.

[0026] Es ist möglich eine Drift in einem Entfernungsmesser durch mechanisches Schalten eines optischen Strahls zwischen zwei freien räumlichen optischen Wegen zu korrigieren. Ein als der Referenzweg bezeichneter optischer Weg ist innen in dem Instrument. Der zweite als Messweg bezeichnete optische Weg reist aus von dem Instrument zu dem zu messenden Objekt und dann zurück zu dem Instrument. Licht von den Mess- und Referenzwegen streift einen einzelnen optischen Detektor. Wegen der Tätigkeit des mechanischen Schalters streift das Licht von den zwei Referenzwegen nicht den einzelnen optischen Detektor zu derselben Zeit. Der mechanische Schalter kann eine mechanisch betätigte optische Komponente wie zum Beispiel ein Spiegel, ein Prisma, ein Strahlensplitter oder eine Schwingblende sein. Das Stellglied kann eine Magnetspule, ein Motor, eine Schwingpule, ein manueller Einsteller oder eine ähnliche Vorrichtung sein. Weil der optische Detektor und die elektrische Schaltung für die Mess- und Referenzwege dieselben sind, ist beinahe jeder Driftfehler gleich getaktet und gleicht sich aus. Beispiele von Erfindungen, die auf diesem Verfahren basieren, umfassen US 3 619 058 A von Hewlett et al. ; US 3 728 025 A von Madigan et al.; US 3 740 141 A von DeWitt; US 3 779 645 A von Nakazawa et al.; US 3 813 165 A von Hines et al.; US 3 832 056 A von Shipp et al.; US 3 900 260 A von Wendt; US 3 914 052 A von Wiklund; US 4 113 381 A von Epstein; US 4 297 030 A

von Chaborski; US 4 453 825 A von Buck et al.; US 5 002 388 A von Ohishi et al.; US 5 455 670 A von Payne et al.; US 5 737 068 A von Kaneko et al.; US 5 880 822 A von Kubo; US 5 886 777 A von Hirunuma; US 5 991 011 A von Damm; US 3 740 141 A von Shirai et al.; US 6 847 436 B2 von Bridges; US 7 095 490 B2 von Ohtomo et al.; US 7 196 776 B2 von Ohtomo et al.; US 7 224 444 B2 von Stierle et al.; US 7 262 863 B2 von Schmidt et al.; US 7 336 346 B2 von Aoki et al.; US 7 339 655 B2 von Nakamura et al.; US 7 471 377 B2 von Liu et al.; US 7 474 388 B2 von Ohtomo et al.; US 7 492 444 B2 von Osada; US 7 518 709 B2 von Oishi et al.; US 7 738 083 B2 von Luo et al.; und die veröffentlichte US 2009 / 0 009 747 A1 von Wolf et al. Weil alle diese Patente mechanische Schalter verwenden, welche langsam sind, kann keines schnell genug schalten, um in einer ADM verwendet zu werden, die einen in sich bewegenden Retroreflektor genau misst.

[0027] Eine andere Möglichkeit ist eine Drift nur in dem elektrischen und nicht in dem optischen Abschnitt eines Entfernungsmessers zu korrigieren. In diesem Fall wird Licht von dem optischen Referenzweg an den optischen Referenzdetektor gesendet und Licht von dem optischen Messweg wird an den optischen Messdetektor gesendet. Die elektrischen Signale von den Referenz- und optischen Detektoren reisen zu einem elektrischen Schalter, welcher alternierend die elektrischen Signale von den zwei Detektoren an eine einzelne elektrische Einheit weiterleitet. Die elektrische Einheit verarbeitet die Signale, um die Entfernungen zu dem Ziel zu finden. Beispiele von Erfindungen, die auf diesem Verfahren basieren, umfassen US 3 365 717 A von Hölscher; US 5 742 379 A von Reifer; US 6 369 880 B1 von Steinlechner; US 6 463 393 B1 von Giger; US 6 727 985 B2 von Giger; US 6 859 744 B2 von Giger; und US 6 864 966 B2 von Giger. Obgleich die Verwendung eines elektrischen Schalters Drift in dem elektrischen Abschnitt eines ADM-Systems reduzieren kann, kann es nicht Drift von dem optischen Abschnitt entfernen, welche üblicherweise als groß oder größer als die Drift in dem elektrischen Abschnitt ist. Zusätzlich ist es schwierig ein elektrisches Schaltersystem zu implementieren, dass schnell genug schalten kann, um eine Phasenverschiebung in elektrischen Signalen, die bei mehreren GHz moduliert sind, zu verhindern. Wegen ihrer begrenzten Nutzbarkeit und Schwierigkeit der Implementierung, sind elektrische Schalter keine gute Lösung zum Korrigieren von Drift in einer ADM.

[0028] Für einen bistatischen Entfernungsmesser gibt es zwei Referenzen, welche die Verwendung von Faseroptikschaltern diskutieren. Die veröffentlichte US 2009 / 0 046 271 A1 von Constantikes lehrt ein Verfahren, in welchem ein Faserschalter in dem ausgehenden Strahlenweg platziert wird und ein zweiter Faserschalter wird in dem zurückkehrenden Strahlenweg platziert. Diese zwei Faseroptikschal-

ter werden zur selben Zeit geschaltet um entweder Licht von dem Messweg oder dem Referenzweg zu erlauben den optischen Detektor zu erreichen. Die US 4 689 489 A von Cole lehrt eine Verwendung eines Faserschalters, in welchem Licht von dem Rückkehrport des bistatischen Entfernungsmessers in einen Port eines Schalters hinein und Licht von dem ausgehenden Strahl in dem zweiten Port des Schalters eingespeist wird. Die Faserschalter-Architekturen, die in diesen Referenzen beschrieben werden, sind nur für bistatische Vorrichtungen anzuwenden und können aus Gründen, die früher diskutiert wurden, nicht mit Lasertrackern verwendet werden.

[0029] Die US 4 498 764 A offenbart ein Entfernungsmessgerät mit einem Sender, der unmodulierte kurzzeitige Lichtpulse aussendet, einem ersten Lichtweg vom Sender zu einer Lichtwegweiche, einem zweiten Lichtweg von der Lichtwegweiche zu einem optischen Übertragungsmittel, einem optischen Empfangsmittel zum empfangen von Lichtpulsen, die von einem Ziel reflektiert wurden, einem dritten Lichtweg vom optischen Empfangsmittel zu einem elektrooptischen Empfänger sowie einem Referenz-Lichtweg von der Lichtwegweiche zum elektrooptischen Empfänger.

[0030] Die WO 2006/039682 A1 offenbart einen Lasertracker mit einer Laserlichtquelle, die moduliertes Laserlicht zu einem Ziel sendet, eine optoelektronische Komponente, die vom Ziel zurückgeworfenes Laserlicht in ein erstes elektrisches Signal umwandelt, eine Aufbereitungselektronik, die aus dem ersten elektrischen Signal ein zweites elektrisches Signal erzeugt, sowie eine Digitalisierungselektronik, die digitale Werte des zweiten elektrischen Signals erzeugt. Ein digitaler Signalprozessor empfängt die digitalen Werte, wobei ein Phasenextraktionsmodul des digitalen Signalprozessors eine geschwindigkeitsabhängige Phasenextraktionsfunktion auf die digitalen Werte anwendet und wobei der digitale Signalprozessor einer Absolutdistanz des sich bewegenden Ziels errechnet. Wenigstens zwei Winkelkodierer bestimmten Winkelkoordinaten zum Ziel, wobei der Signalprozessor dreidimensionale Koordinaten des Ziels errechnet.

[0031] Die WO 2007/084209 A2 betrifft einen Transceiver mit einem Objektiv, einer Lichtquelle, die eine Quellenapertur bildet, die nahe dem Brennpunkt des Objektivs angeordnet ist, so dass das Objektiv Licht zu einem Beleuchtungsstrahl formt, sowie einem Detektorelement, das nahe der Lichtquelle angeordnet ist, um eine Detektorapertur zu bilden, um von einem Ziel reflektiertes Licht zu empfangen. Die Quellenapertur und die Detektorapertur sind voneinander um weniger als ungefähr das Zwanzigfache der Wellenlänge des Lichts beabstandet.

[0032] Es besteht ein Bedarf für eine ADM, die sich bewegende Ziele genau mit wenig Drift misst. Sie muss monostatisch sein und Drift minimieren sowohl in optischen als auch elektrischen Komponenten.

Zusammenfassung

[0033] Gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst eine Absolutentfernungsmessvorrichtung (ADM), die eine Entfernung zu einem Ziel bestimmt, eine Lichtquelle, die einen emittierten Lichtstrahl emittiert. Die ADM umfasst auch ein Faserschaltnetzwerk mit mindestens einem optischen Schalter, der mindestens zwischen zwei Positionen in Antwort auf ein Schaltersteuersignal schaltet, wobei eine erste der Positionen einen Messmodus aktiviert, in welchem der emittierte Lichtstrahl von dem Faserschaltnetzwerk zu dem Ziel emittiert wird und als ein Messlichtstrahl in das Faserschaltnetzwerk zurück reflektiert wird, wobei eine zweite der Positionen einen Referenzmodus aktiviert, in welchem der Lichtstrahl einen Referenzlichtstrahl innerhalb des Faserschaltnetzwerks aufweist, wobei das Faserschaltnetzwerk weiterhin einen Teilfaser-Retroreflektor aufweist sowie mindestens einen faseroptischen Koppler, durch welchen der emittierte Lichtstrahl und die Mess- und Referenzlichtstrahlen passieren. Die ADM umfasst weiterhin einen Einkanal-detektor, der die Mess- und Referenzlichtstrahlen in einer temporär beabstandeten, gemultiplexten Weise detektiert und ein elektrisches Signal bereitstellt, welches mit den detektierten Mess- und Referenzlichtstrahlen korrespondiert, wobei der mindestens eine faseroptische Koppler optisch mit dem Einkanal-detektor, mit der Lichtquelle und mit dem mindestens einen optischen Schalter verbunden wird. Die ADM umfasst auch einen Einkanalsignalprozessor, der das elektrische Signal verarbeitet und ein konditioniertes elektrisches Signal in Antwort darauf bereitstellt, und einen Datenprozessor, der das konditionierte elektrische Signal verarbeitet, um die Entfernung zu dem Ziel zu bestimmen. In dem Messmodus wird der emittierte Lichtstrahl von der Lichtquelle durch den mindestens einen faseroptischen Koppler an den mindestens einen optischen Schalter, der sich in der Messmodusposition befindet, und an das Ziel gesendet, wobei der Messlichtstrahl von dem Ziel durch den mindestens einen optischen Schalter, der sich in der Messmodusposition befindet, und durch den mindestens einen faseroptischen Koppler und an den Einkanal-detektor passiert. In dem Referenzmodus wird der emittierte Lichtstrahl von der Lichtquelle durch den mindestens einen faseroptischen Koppler an den mindestens einen optischen Schalter, der sich in der Referenzmodusposition befindet, und an den Teilfaser-Retroreflektor gesendet, wobei der Referenzlichtstrahl, der von dem Teilfaser-Retroreflektor reflektiert wird, durch den mindestens einen optischen Schalter, der sich in der Referenzmodusposition befindet, und durch den mindestens

einen faseroptischen Koppler und an den Einkanal-detektor passiert.

Figurenliste

[0034] Ausführungsformen werden jetzt in beispielhafter Weise beschrieben mit Referenz zu den begleitenden Zeichnungen, welche als beispielhaft und nicht begrenzend verstanden werden, und wobei gleiche Elemente in einigen Figuren gleich nummeriert sind, in welchen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines beispielhaften Lasertrackers darstellt, der einen Laserstrahl an einen externen Retroreflektor sendet; und

Fig. 2A ein Blockdiagramm einer tracker-elektrooptischen Anordnung ist, die eine ADM mit einem optischen Faserschalternetzwerk, einen sichtbaren Laser und einer Trackeroptik umfasst; und

Fig. 2B ein Blockdiagramm einer tracker-elektrooptischen Anordnung ist, die eine ADM mit einem optischen Faserschalternetzwerk, einer inkrementalen Entfernungsmessanordnung und einer Trackeroptik umfasst; und

Fig. 3 ein Blockdiagramm einer tracker-elektrooptischen Anordnung ist, die eine ADM mit einem optischen Faserschalternetzwerk und einer Trackeroptik umfasst; und

Fig. 4 ein Blockdiagramm einer tracker-elektrooptischen Anordnung ist, die eine ADM mit einem optischen Faserschalternetzwerk und einer vereinfachten Optik umfasst; und

Fig. 5 ein optisches Faserschalternetzwerk zeigt, das einen Faseroptikschalter, einen optischen Koppler und einen Teilfaser-Retroreflektor gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst; und

Fig. 6 ein optisches Faserschalternetzwerk zeigt, das einen Faseroptikschalter, einen optischen Zirkulator und einen Teilfaser-Retroreflektor gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst; und

Fig. 7 ein optisches Faserschalternetzwerk zeigt, das zwei Faseroptikkoppler und einen Faseroptikschalter gemäß noch einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst; und

Fig. 8 ein optisches Faserschalternetzwerk zeigt, in welchem mehrfache Faseroptikschalter kombiniert werden, um optische Isolation gemäß noch einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu kombinieren; und

Fig. 9 ein optisches Faserschalternetzwerk zeigt, in welchem die Schaltetätigkeit durch op-

tische Modulatoren oder optische Dämpfer gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung durchgeführt wird; und

Fig. 10 ein Blockdiagramm einer beispielhaften ADM-Elektronik ist, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet wird; und

Fig. 11 ein Blockdiagramm des Datenprozessors ist, der in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet wird; und

Fig. 12 eine Grafik eines beispielhaften Signals von einem ADM-System ist; und

Fig. 13 eine Grafik eines beispielhaften Schaltersignals ist; und

Fig. 14 eine Grafik eines beispielhaften Gattersignals ist; und

Fig. 15 ein Blockdiagramm eines Verarbeitungssystems ist, das in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet wird; und

Fig. 16 ein Blockdiagramm einer ADM-Elektronik ist, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0035] Ein beispielhafter Lasertracker **10** ist in **Fig. 1** veranschaulicht. Ein beispielhafter kardanartiger, strahlgesteuerter Mechanismus **12** des Lasertrackers **10** umfasst einen Zenit-Trägerwagen **14**, der auf eine Azimut-Basis **16** montiert ist, und um eine Azimut-Achse **20** gedreht wird. Eine Nutzlast **15** ist auf den Zenit-Trägerwagen **14** montiert und wird um eine Zenit-Achse **18** gedreht. Die Zenitmechanische Drehachse **18** und die Azimutmechanische Drehachse **20** schneiden sich miteinander orthogonal intern zu dem Tracker **10** an einem Kardanpunkt **22**, welcher typischerweise der Ursprung für Entfernungsmessungen ist. Ein Laserstrahl **46** passiert virtuell durch den Kardanpunkt **22** und ist orthogonal auf die Zenit-Achse **18** gerichtet. In anderen Worten ist der Laserstrahl **46** in der Ebene normal zu der Zenit-Achse **18**. Der Laserstrahl **46** wird in der gewünschten Richtung durch Drehung der Nutzlast **15** um die Zenit-Achse **18** und durch Drehung des Zenit-Trägerwagens **14** um die Azimut-Achse **20** gerichtet. Zenit- und Azimut-Winkel-Encoder, intern zu dem Tracker (nicht dargestellt), sind an der Zenitmechanischen Achse **18** und Azimutmechanischen Achse **20** angebracht und geben mit hoher Genauigkeit die Winkel einer Drehung an. Der Laserstrahl **46** reist zu einem externen Retroreflektor **26** wie zum Beispiel der sphärisch montierte Retroreflektor (SMR), der oben beschrieben ist. Durch Messen der radialen Entfernung zwischen dem Kardanpunkt **22** und dem Retroreflektor **26** und die Drehwinkel um die Zenit- und Azimut-Achsen **18**, **20**, wird die Position des Retro-

reflektors **26** innerhalb des sphärischen Koordinatensystems des Trackers gefunden.

[0036] Der Laserstrahl **46** kann eine oder mehrere Laserwellenlängen aufweisen wie es in der Diskussion, die folgt, beschrieben wird. Aus Gründen der Klarheit und Einfachheit wird in der folgenden Diskussion ein Steuermechanismus von der in **Fig. 1** dargestellten Art angenommen. Jedoch sind andere Typen von Steuermechanismen möglich. Zum Beispiel würde es möglich sein einen Laserstrahl von einem Spiegel, der um die Azimut- und Zenit-Achsen gedreht wird, zu reflektieren. Die hier beschriebenen Techniken sind anwendbar unabhängig von dem Typ des Steuermechanismus.

Bauelemente des Lasertrackers

[0037] Eine tracker-elektrooptische Anordnung **250A** ist in **Fig. 2A** dargestellt. Sie umfasst eine ADM-Anordnung **2000**, einen sichtbaren Laser **110** und eine optische Anordnung **190**. Die ADM-Anordnung **2000** umfasst eine ADM-Elektronik **300**, einen ADM-Laser **102**, ein optisches Faserschaltnetzwerk **200** und einen Datenprozessor **400**. Die optische Anordnung **190** umfasst einen ADM-Strahlkollimator **140**, eine Einkopplung eines sichtbaren Strahls **150**, eine Tracking-Anordnung **170** und einen Strahlaufweiter **160**.

[0038] Es gibt viele Möglichkeiten Licht zu modulieren. Ein Modulationstyp ist optische Leistung mit dem Modulationssignal, das üblicherweise entweder sinusförmig oder getaktet ist. Ein anderer Modulationstyp ist von optischer Wellenlänge. Dieser Modulationstyp wird manchmal in kohärenten Laserentfernungsmessern verwendet. Modulation kann direkt auf die Lichtquelle oder einen externen Modulator, wie z.B. ein elektrooptischer Modulator, angewandt werden, um die Leistung, Polarisierung oder Phase des Laserlichts zu variieren. Das in dieser Offenbarung beschriebene Verfahren ist für jeden dieser Modulationstypen anwendbar. Licht kann von einem Laser, einer Superlumineszenzdiode, oder irgendeinem anderen Typ eines optischen Emitters kommen. In dem unteren Text wird die Lichtquelle oft als ein Laser bezeichnet, aber dies sollte nicht dazu verwendet werden, um den Typ von Lichtquelle, der verwendet werden könnte, darauf zu begrenzen.

[0039] Licht von dem ADM-Laser **102** wird in die optische Faser **104** injiziert und reist zu dem Faserschaltnetzwerk **200**. Etwas Licht von dem Faserschaltnetzwerk **200** reist durch ein faser-optisches Kabel **501** an den ADM-Strahlkollimator **140**. Der ADM-Strahlkollimator **140** weist eine stabile Zwinde **142** und eine Positivlinse **144** auf. Optische Fasern sind vorzugsweise von dem Einzelmodus-Typ.

[0040] Im Falle, dass der ADM-Laser **102** bei einer Infrarotwellenlänge operiert, ist es passend einen sichtbaren Laserstrahl bereitzustellen, um dabei zu unterstützen den Strahl leichter zu finden. Der sichtbare Laser **110** sendet sichtbares Licht durch ein faser-optisches Kabel **215** an den sichtbaren Strahlaustritt **150**, welcher eine stabile Zwinde **152**, eine Positivlinse **154** und einen dichroitischen Strahlenteiler **114** umfasst. Der dichroitische Strahlenteiler **114** sendet den ADM-Strahl **108** aber reflektiert den sichtbaren Strahl **112**. Rechts von dem Strahlenteiler **114** weist ein Verbundlaserstrahl **116**, den sichtbaren Laserstrahl **112** und den ADM-Laserstrahl **108** auf, welcher im Wesentlichen kollinear sind. Der Laserstrahl **116** passiert durch den Strahlenteiler **118** und den Strahlaufweiter **160**, wobei er als größerer kollimierter Laserstrahl **46** erscheint. Der Strahlaufweiter **160** weist eine Negativlinse **162** und die Positivlinse **164** auf.

[0041] In einigen Anwendungen ist es wünschenswert ein Interferometer (IFM) zusätzlich zu einer ADM einzufügen. Eine tracker-elektrooptische Anordnung **250B** ist in **Fig. 2B** dargestellt. Sie weist dieselben Bauelemente wie die elektrooptische Anordnung **250A** auf, außer, dass der sichtbare Laser **110** durch eine inkrementale Entfernungsmessanordnung **180** ersetzt ist. Die inkrementale Entfernungsmessanordnung **180** weist einen stabilen Laser **182** und eine Interferometer (IFM)-Anordnung **184** auf. Der stabile Laser **182** ist vorzugsweise ein frequenzstabilisierter Helium-Neon-Laser, die einen roten Strahl erzeugt. Die IFM-Anordnung **184** weist Optik und Elektronik (nicht dargestellt) auf, welche die inkrementale Änderung in der Entfernung zum Retroreflektor **26** ist.

[0042] Der Laserstrahl **46** reist zu dem externen Retroreflektor **26** wie in **Fig. 1** dargestellt. Der Strahl **46** wird von dem Retroreflektor **26** reflektiert und kehrt zu dem Lasertracker **10** als Strahl **48** zurück. Falls der Laserstrahl **46** die Mitte des Retroreflektors **26** streift, verfolgt der reflektierte Laserstrahl **48** den Weg des einfallenden Strahls **46**. Falls der Laserstrahl **46** den Retroreflektor **26** außerhalb der Mitte streift, kehrt der reflektierte Laserstrahl **48** parallel zu dem einfallenden Strahl **46** aber versetzt von ihm zurück. Der reflektierte Laserstrahl **48** tritt wieder in den Tracker **10** durch den Strahlaufweiter **160** ein und verfolgt wieder den Weg durch das optische System zurück.

[0043] Die Tracking-Anordnung **170** weist den Strahlenteiler **118**, ein optionales optisches Filter **128** und einen Positionsdetektor **130** auf. Ein Teil des reflektierten Laserstrahls **48** wird von dem Strahlenteiler **118** abgelenkt und passiert durch das optionale optische Filter **128**, um den Positionsdetektor **130** zu streifen. Das optische Filter **128** blockiert ungewünschte Lichtwellenlängen wie zum Beispiel Umgebungslicht in der Nähe des Retroreflektors **26**.

[0044] Der Positionsdetektor **130** erzeugt ein elektrisches Signal, das die Position des Lichtspots an den Positionsdetektor **130** angibt. Der Positionsdetektor **130** kann von irgendeinem Detektortyp sein, der die Position des zurückkehrenden Lichtstrahls angibt. Es kann zum Beispiel ein positionsempfindlicher Detektor wie zum Beispiel ein Lateraleffektdetektor oder Quadrantendetektor oder es kann ein fotoempfindliches Feld wie zum Beispiel ein **CCD**- oder **CMOS**-Feld sein. Der Rücklaufpunkt des Positionsdetektors ist definiert als der Punkt, den der Laserstrahl **126** streift, falls der Laserstrahl **46** die Mitte des Retroreflektors **26** streift. Wenn der Laserstrahl **46** sich von der Mitte des Retroreflektors **26** bewegt, bewegt sich der Laserstrahl **126** weg von dem Rücklaufpunkt und veranlasst den Positionsdetektor **130** ein elektrisches Fehlersignal zu erzeugen. Ein Servosystem (nicht dargestellt) verarbeitet dieses Fehlersignal um Motoren (nicht dargestellt) zu aktivieren, welche den Laserstrahl **46** von dem Lasertracker **10** zu der Mitte des externen Retroreflektors **26** hin drehen. Auf diese Weise wird der Laserstrahl vom Tracker **10** veranlasst die Bewegung des Retroreflektors **26** zu verfolgen.

[0045] Der dichroitische Strahlenteiler **114** sendet das zurückkehrende ADM-Laserlicht durch den ADM-Strahlkollimator **140**, wo er in eine optische Faser **501** eingekoppelt wird. Das Laserlicht reist zurück in das Faserschaltnetzwerk **200** und ein Teil von ihm reist durch eine optische Faser **230** zu der **ADM**-Elektronik **300**. Die **ADM**-Elektronik **300** wandelt das optische Signal in ein elektrisches Signal um und konditioniert das elektrische Signal in einer Weise, die geeignet ist für einen besonderen Modulationstyp, der auf das Laserlicht angewandt wird. Das Signal von der **ADM**-Elektronik **300** wird an den Datenprozessor **400** gesendet, welcher das Signal verarbeitet um ein Ergebnis **420** zu finden, die Entfernung von dem Tracker-Kardanpunkt **22** zu dem Retroreflektorziel **26**.

[0046] Die Komponenten der tracker-elektrooptischen Anordnung **250A**, **250B** können in Gänze innerhalb der Tracker-Nutzlast **15** angeordnet sein, teilweise innerhalb der Tracker-Nutzlast **15** und teilweise innerhalb der Azimut-Basis **16** angeordnet sein, oder in Gänze innerhalb der Azimut-Basis **16** angeordnet sein. Falls die **ADM**- oder Interferometer-Komponenten in der Azimut-Basis **16** angeordnet sind, können diese mit optischen Komponenten durch Weiterführen von faseroptischen Kabeln durch die mechanischen Azimut- und Zenit-Achsen in die Nutzlast **15** hinein verbunden werden. Dieses Verfahren ist in WO 2003/062744 dargestellt, deren Inhalt hiermit per Verweis eingebunden ist. Alternativ, falls die **ADM**- oder Interferometer-Komponenten in der Azimut-Basis **16** angeordnet sind, kann das Licht, das durch den **ADM**-Laser **102** oder stabilen Laser **182** emittiert wird, durch freien Raum zu einem Strahl-Steuerspie-

gel, der in der Nutzlast angeordnet ist, gesendet werden. Dieses Verfahren ist im U.S. Patent Nr. 4,714, 339 von Lau et al. dargestellt.

[0047] Das optische Faserschaltnetzwerk **200** stellt ein Mittel zum Weiterleiten und Schalten von optischen Signalen an oder von der optischen Anordnung **190** bereit. Das Faserschaltnetzwerk **200** wird unten detailliert beschrieben.

[0048] Es ist möglich den Laser mit sichtbarem Licht **110** in **Fig. 2A** oder die inkrementale Entfernungsmessanordnung **180** in **Fig. 2B** auszusondern. In diesem Fall ist eine Einkopplung eines sichtbaren Strahls **150** nicht notwendig. Die sich daraus ergebende elektro-optische Anordnung **350** ist in **Fig. 3** dargestellt. Diese Architektur könnte geeignet sein, falls ein IFM nicht gebraucht wurde und falls der **ADM**-Laser **102** sichtbares Laserlicht emittierte. Es könnte auch geeignet sein, falls ein IFM nicht gebraucht wurde und falls ein sichtbarer Zeigestrahl nicht gebraucht wurde.

[0049] Für handgehaltene Entfernungsmesser oder andere Instrumente, die nicht einer Spur folgen, kann die Architektur durch Weglassen der Tracking-Anordnung **170** und möglicherweise des Strahlaufl weiters **160** weiter vereinfacht sein. Der sich daraus ergebende **ADM**-Entfernungsmesser **450** ist in **Fig. 4** dargestellt.

[0050] **Fig. 2A**, **Fig. 2B**, **Fig. 3** und **Fig. 4** enthalten alle die **ADM**-Anordnung **2000**, welche das optische Faserschaltnetzwerk **200** enthält. Der Nutzen eines Faserschaltnetzwerks **200** ist, dass es eine Reduktion in der Drift der **ADM**-Entfernungsablesungen ermöglicht. Der Grund für diese Reduktion kann verstanden werden durch detaillierte Betrachtung einer **ADM**-Elektronik **300**. Eine spezifische Ausführungsform für die **ADM**-Elektronik wird in der Diskussion betrachtet, welche die **Fig. 10** und **Fig. 11** begleitet; d.h. in Verbindung mit einem Lasertracker. Die Vorteile des Faserschaltnetzwerks zum Reduzieren von Drift in einem **ADM**-System werden jedoch allgemeiner auf **ADM**-Systeme angewandt und können zum Beispiel getaktete Laufzeit-**ADM**s, Chirp-**ADM**s und kohärente genauso wie inkohärente **ADM**s aufweisen. Um zu erklären wie ein Faserschaltnetzwerk **200** die Reduktion bei Drift ermöglicht, wird jetzt Bezug auf **Fig. 16** genommen, welches die Bauelemente deren **ADM**-Elektronik **300** in allgemeineren Worten beschreibt.

[0051] In **Fig. 16** weist die **ADM**-Elektronik **300** einen Laser-Übertrager **310**, einen Einkanal-Laser-Empfänger **320**, eine Einkanalsignalleitung **332** und Verbindungsleitungen **330**, **334** und **336** auf. Der Laser-Übertrager **310** kann eine Vielzahl von Signalen erzeugen. Ein Signal von der Verbindungsleitung **330** wird verwendet um den **ADM**-Laser **102** zu modu-

lieren. Zusätzlich erzeugen die meisten Typen von ADM-Systemen einen oder mehrere zusätzliche Signale, die verwendet werden beim Verarbeiten des Signals in dem Einkanalempfänger **320**. Die Kombination von solchen Signalen wird hier als das Einkanalsignal **332** bezeichnet, aus Gründen, die in der folgenden Diskussion klar werden.

[0052] Der Einkanalempfänger **320** weist einen einzelnen Detektor **322** und eine Einkanal-Elektronik **324** auf. Licht kommt über die Verbindungsleitung **336**, welche ein faser-optisches Kabel ist, das an dem Faserschaltnetzwerk **200** angeschlossen ist, an dem einzelnen Detektor **322** an. Der einzelne Detektor **322** wandelt das optische Signal von **336** in ein elektrisches Signal um. Dieses elektrische Signal wird durch Einkanal-Elektronik verarbeitet und das sich daraus ergebende verarbeitete Signal wird über die Verbindungsleitung **334** an den Datenprozessor **400** gesendet.

[0053] Die in ADM-Systemen gesehene Drift ist im Allgemeinen das Ergebnis von Änderungen in den elektrischen und optischen Systemen über eine Zeit uns insbesondere mit Bezug auf Temperaturänderungen. In den Hintergrundabschnitt dieses Dokuments wurde erklärt, dass **ADM**-Systeme oft versuchen die Wirkungen von solchen Änderungen durch Subtrahieren der Ablesungen von einem Referenzkanal von jenen von einem Messkanal zu entfernen. Wie erläutert, kann das Signal in dem Referenzkanal optisch oder elektrisch sein mit einem optischen Referenzsignal, welches im Allgemeinen die höchste Leistung bereitstellt. Die Verwendung von zwei Kanälen auf diese Weise kann Drift nur in einem begrenzten Grad korrigieren, weil zwei getrennte elektrische Kanäle in der Empfangseinheit erforderlich sind - einen für den Messkanal und einen für den Referenzkanal. Falls das Referenzsignal optisch ist, muss die Empfangseinheit auch zwei getrennte optische Detektoren bereitstellen - einen für den Messkanal und einen für den Referenzkanal. Jedoch sind die elektrischen und optischen Komponenten innerhalb der zwei Kanäle nicht identisch und ebenso wenig sind es auch die Temperaturen der Komponenten in jedem der Kanäle. Folglich ist die innerhalb der Mess- und Referenzkanäle gesehene Drift nicht vollständig im Gleichtakt und lässt sich nicht vollständig aufheben.

[0054] Unter Verwendung eines Faserschaltnetzwerks zum Multiplexen von optischen Signalen ist es möglich einen einzelnen Detektor zu verwenden, um beide Mess- und Referenzkanäle zu bedienen. Es ist auch eher möglich einen einzelnen elektrischen Kanal als zwei elektrische Kanäle in dem Empfänger zu verwenden. Weil es dort nur einen einzelnen elektrischen Empfangskanal gibt, braucht jedes elektrische Signal, das durch den Übertrager **310** geliefert wird, nur in einem einzelnen Kanal bereitgestellt zu werden. Das Ergebnis des einzelnen optischen Detek-

tors, des einzelnen elektrischen Empfangskanals und der Einkanalsignale von dem Übertrager ist eine beinahe vollständige Aufhebung von Drift-Effekten. Das sich daraus ergebende ADM-System ist beinahe driftfrei.

Faserschaltnetzwerk

[0055] Mehrere mögliche Ausführungsformen eines optischen Faserschaltnetzwerks **200** in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung werden hier diskutiert. Diese sind jeweils als **200A** bis **200E** in **Fig. 5** bis **Fig. 9** gekennzeichnet. **Fig. 5** zeigt ein ADM-System **550**, welches den ADM-Laser **102**, das Faserschaltnetzwerk **200A**, die ADM-Elektronik **300** und eine stabile Zwinde **142** aufweist. Das Faserschaltnetzwerk **200A** weist einen faser-optischen Koppler **206**, einen faseroptischen Schalter **500**, einen Teilfaser-Retroreflektor **505**, optische Verbindungsfasern **104**, **230**, **501**, **502**, **503**, **510** und eine elektrische Verbindung **470** auf. Licht reist von dem ADM-Laser **102** durch die optische Faser **104** in den optischen Koppler **206** hinein. Ein Teil des Lichts von dem Faser-Koppler **206** reist zu einem reflektionsarmen Abschluss (low-reflection termination, LRT) **208**, welcher beinahe alles von dem Licht absorbiert. Vorzugsweise ist die Reflektion des LRT **208** kleiner als $1/50000$. Der Rest des Lichts von dem Faserkoppler **206** reist durch die optische Faser **503** an den optischen Schalter **500**. In diesem Falle ist der faser-optische Schalter **500** ein einpoliger Wechselschalter (single-pole double throw, SPDT), jedoch könnten andere Typen von Schaltern verwendet werden.

[0056] Die elektrische Verbindung **470** sendet an den faser-optischen Schalter **500** ein elektrisches Signal, das steuert, ob das optische Signal an die optische Faser **501** oder die optische Faser **502** geleitet wird. Falls der Schalter **500** Licht an die optische Faser **501** leitet, passiert Licht von der stabilen Zwinde **142** durch den Tracker und hinaus an den Retroreflektor **26**. Das zurückkehrende Laserlicht reist zu den faser-optischen Schalter **500**, durch den Koppler **206**, durch die Faser **230** und in die **ADM**-Elektronik **300** hinein. Licht, das entlang dieses Weges zu und von dem Retroreflektor reist, wird als in dem Messweg bezeichnet und während dieser Zeit wird der Tracker als in dem Messmodus bezeichnet.

[0057] Falls der Schalter **500** Licht an die optische Faser **502** leitet, passiert Licht an den Teilfaser-Retroreflektor **505**, welcher einen Bruchteil des Laserlichts zurück durch den Koppler **206**, durch die Faser **230** und in die **ADM**-Elektronik **300** reflektiert. Licht, das intern an den Tracker durch Reflektieren von dem Teilfaser-Retroreflektor **505** reist, wird als in dem Referenzweg bezeichnet und während dieser Zeit wird der Tracker als in dem Referenzmodus bezeichnet.

[0058] Der Faserkoppler **206** ist vorzugsweise ein 50/50-Koppler, auch als 3 dB-Koppler bekannt. Für Licht, das in einem 50/50-Koppler **206** durch den ADM-Laser **102** injiziert wird, geht 50% des Laserlichts an die optische Faser **510** und 50% geht an die optische Faser **503**. Für Licht, das in den Koppler **206** von der umgekehrten Richtung injiziert wird, geht 50% des zurückkehrenden Lichts an den ADM-Laser **102** und 50% des zurückkehrenden Lichts geht an die ADM-Elektronik **300**. Eine Faraday'sche Isolation wird innerhalb des ADM-Lasers **102** bereitgestellt, um Licht, das durch den Faserkoppler **206** an den ADM-Laser **102** passiert, an einer Destabilisierung des Lasers zu hindern.

[0059] Die Lichtmenge, die an die optische Faser **501** zurückkehrt nach dem das Licht an den Retroreflektor **26** gereist ist, hängt von einer Zahl von Faktoren ab einschließlich der Entfernung zu dem Retroreflektor, dem Durchmesser und der Neigung des Retroreflektors und der Kopplungseffizienz des ADM-Strahlkollimators **140**. Die Reflektion des Teilfaser-Retroreflektors **505** wird vorzugsweise ausgewählt, um Laserleistung ungefähr gleich zu den Durchschnittleistungen, die durch den Retroreflektor **26** unter verschiedenen Messbedingungen zurückkehren, zu reflektieren.

[0060] Der faser-optische Schalter **500** sollte vorzugsweise eine optische Isolation zwischen den zwei Schalterpositionen von wenigstens 20 dB aufweisen. Das bedeutet, dass, wenn der Schalter sich in einer Oben-Position befindet, der Betrag an optischer Leistung, der in der Unten-Position verloren geht, um einem Faktor von mindestens 100 geringer ist als der, welcher in der Oben-Position angelegt ist. Nach Reflektieren und Zurückfolgen des Wegs wird die Isolation bei einem weiteren Faktor um 100 reduziert, so dass die gesamte effektive Isolation einen Faktor von 10^4 oder 40 dB aufweist. Schalter mit niedrigeren Isolationsniveaus können auch durch deren Kombination verwendet werden, um ihre gesamte Isolation wie unten erläutert zu erhöhen.

[0061] Zusätzlich zur optischen Isolation sollte der faser-optische Schalter **500** vorzugsweise einen optischen Reflektionsverlust von mindestens 40 dB aufweisen. Das bedeutet, dass das Licht, das durch den Schalter zurück reflektiert wird, um einen Faktor von mindestens 10.000 verglichen mit dem einfallenden Licht reduziert werden sollte. Dies stellt sicher, dass exzessives ungewünschtes Licht nicht auf das Licht, das auf den gewünschten Weg reist, reflektiert wird und dadurch die Genauigkeit der Messung reduziert.

[0062] Ein zweites Faserschalternetzwerk **200B** ist in einem ADM-System **650** der **Fig. 6** dargestellt. Das ADM-System **650** weist den ADM-Laser **102**, das Faserschalternetzwerk **200B**, die ADM-Elektronik **300** und die stabile Zwinge **142** auf. Das Faser-

schalternetzwerk **200B** weist einen optischen Zirkulator **610**, den faseroptischen Schalter **500**, den Teilfaser-Retroreflektor **505**, die optischen Verbindungsfasern **104**, **230**, **501**, **502**, **503** und die elektrische Verbindung **470** auf. Licht reist von dem ADM-Laser **102** durch die optische Faser **104** in einen Port **601** und aus einem Port **602** zu der Faser **503**. Von der Faser **503** reist das Licht wie oben für das ADM-System **550** beschrieben. Zurückkehrendes Licht passiert zurück durch das Port **602** und ein Ausgangsport **603** an die optische Faser **230**.

[0063] Der Vorteil eines Drei-Port-Zirkulators, wie zum Beispiel **610** in **Fig. 6** verglichen mit einem Vier-Port-Faseroptischen Koppler wie zum Beispiel **206** in **Fig. 5**, ist, dass keine Leistung an dem vierten Port verloren geht, welche in **206** der **Fig. 5** in dem reflektionsarmen Abschluss **208** verschwendet wird. Der Nachteil eines Zirkulators ist, dass er im Allgemeinen einige Polarisationsmodidispersions (Polarization mode dispersion, PMD)-Niveaus aufweist. Was dazu führte, dass jede Änderung im Polarisationszustands von Licht, das auf der optischen Faser **501** oder **502** zurückkehrt, zu einer Verzögerung in der Phase des modulierten Lichts führen kann und dadurch einen Fehler in der berichteten ADM-Entfernung erzeugt.

[0064] Ein drittes Faserschalternetzwerk **200C** ist in einem ADM-System **750** der **Fig. 7** dargestellt. Das ADM-System **750** weist den ADM-Laser **102**, das Faserschalternetzwerk **200C**, die ADM-Elektronik **300** und die stabile Zwinge **142** auf. Das Faserschalternetzwerk **200C** weist einen faser-optischen Koppler **204**, den faseroptischen Koppler **206**, reflektionsarme Abschlüsse **208**, **715**, einen Faserschalter **700**, optische Verbindungsfasern **104**, **230**, **501**, **510**, **701** und **716**, und die elektrische Verbindung **470** auf. Licht reist von dem ADM-Laser **102** durch die optische Faser **104** an den ersten optischen Koppler **204**. Ein Teil des Lichts von dem ersten optischen Koppler **204** reist durch eine optische Referenzfaser **702** an den Schalter **700** und der andere Teil reist durch die optische Faser **716** an den zweiten optischen Koppler **206**. Ein Teil des Lichts von dem zweiten optischen Koppler **206** reist durch die optische Faser **510** an den reflektionsarmen Abschluss **208** und der andere Teil reist durch die optische Faser **501** an die stabile Zwinge **142**.

[0065] Licht, das an die stabile Zwinge **142** zurückkehrt, reist durch die optische Faser **501** zurück an den zweiten optischen Koppler **206**. Ein Teil des von dem zweiten optischen Koppler **206** zurückkehrenden Lichts reist zu dem optischen Schalter **700**. Ein anderer Teil des von dem zweiten optischen Koppler **206** zurückkehrenden Lichts reist durch die optische Faser **716** zurück an den ersten optischen Koppler **204**. Ein Teil von diesem zurückkehrenden Licht geht durch die optische Faser **104** an den ADM-Laser **102**,

wo es durch einen in den Laser hineingebauten Faraday-Isolator blockiert wird. Ein anderer Teil des zurückkehrenden Lichts reist durch die optische Faser **715** an den reflektionsarmen Abschluss **210**.

[0066] In dem Messmodus veranlasst die elektrische Verbindung **470** den Schalter **700** die optische Faser **701** mit der ADM-Elektronik **300** zu verbinden. In dem Referenzmodus veranlasst die elektrische Verbindung **470** den Schalter **700** die optische Faser **702** mit der ADM-Elektronik **300** zu verbinden. Verglichen mit dem ADM-System **550** hat das ADM-System **750** den Vorteil, dass es keinen Teilfaser-Retroreflektor **208** erfordert. Es hat den Nachteil, dass es einen zusätzlichen faser-optischen Koppler, einen zusätzlichen reflektionsarmen Abschluss und eine zusätzliche optische Faser **702** erfordert.

[0067] Ein viertes Faserschaltnetzwerk **200D** ist in einem ADM-System **850** der **Fig. 8** dargestellt. Das ADM-System **850** weist den ADM-Laser **102**, das Faserschaltnetzwerk **200D**, die ADM-Elektronik **300** und die stabile Zwinge **142** auf. Das Faserschaltnetzwerk **200D** weist den faser-optischen Koppler **206**, Faserschalter **500**, **810**, **820**, reflektionsarme Abschlüsse **208**, **816**, **826**, einen Teilfaser-Retroreflektor **505**, optische Verbindungsfasern **104**, **230**, **501**, **502**, **503**, **510**, **812**, **814**, **822**, **824** und die elektrische Verbindung **470** auf. Die vierte Faserschaltnetzwerk-Konfiguration **850** ist eine Modifizierung des ADM-Systems **550**, das in **Fig. 5** dargestellt ist, um die Isolation zwischen den Mess- und Referenzkanälen durch Hinzufügen von kaskadierten Schaltern **810** und **820** zu erhöhen.

[0068] In dem Messmodus verbindet der Schalter **500** die optische Faser **503** mit der optischen Faser **812**, und der Schalter **810** verbindet die optische Faser **812** mit der optischen Faser **501**. In dem Messmodus verbindet auch der Schalter **820** die optische Faser **502** mit der optischen Faser **822**, die zu einem reflektionsarmen Abschluss **826** führt. Angenommen, dass die Isolation von jedem Schalter **500**, **810**, **820** 20 dB beträgt. Das bedeutet zum Beispiel, dass weniger als 0,01 der optischen Leistung durch den ungewollten Weg in einen besonderen Schalter passieren wird. In diesem Fall wird weniger als 0,01 der optischen Leistung, die an der optischen Faser **503** vorhanden ist, an die optische Faser **502** passieren, und weniger als 0,0001 wird an die Faser **824** passieren. Dieses Licht, das durch den Teilfaser-Retroreflektor **505** reflektiert wird, wird durch einen Faktor von 0,0001 weiter reduziert beim Zurückpassieren an die optische Faser **503**. Mit anderen Worten wird die reflektierte optische Leistung durch einen Faktor von mindestens $10^{-8} = -80$ dB gesenkt verglichen mit der ausgehenden optischen Leistung an der optischen Faser **503**.

[0069] In dem Referenzmodus, verbindet der Schalter **500** die optische Faser **503** mit der optischen Faser **502**, und der Schalter **820** verbindet die optische Faser **502** mit der optischen Faser **824**, die zu dem Teilfaser-Retroreflektor **505** führt. In dem Referenzmodus verbindet auch der Schalter **810** die optische Faser **812** mit der optischen Faser **814**, die zu dem reflektionsarmen Abschluss **816** führt. Wie in dem vorhergehenden Fall, für Schalter von denen jeder eine Isolation von 20 dB aufweist, wird die sich daraus ergebende Leistung, die an die optische Faser **503** zurückkehrt, um weniger als $10^{-8} = 80$ dB mal des ursprünglichen Betrags.

[0070] Ein fünftes Faserschaltnetzwerk **200E** ist in einem ADM-System **950** der **Fig. 9** dargestellt. Das ADM-System **950** weist den ADM-Laser **102**, das Faserschaltnetzwerk **200E**, die ADM-Elektronik **300** und die stabile Zwinge **142** auf. Das Faserschaltnetzwerk **200E** weist den faser-optischen Koppler **206**, optische Modulatoren oder Dämpfungen **910**, **920**, den Teilfaser-Retroreflektor **505**, optische Verbindungsfasern **104**, **501**, **503**, **510**, **922**, **230** und die elektrische Verbindung **470** auf. Das ADM-System **950** entspricht dem ADM-System **550** der **Fig. 5**, außer dass **910**, **920** optische Modulatoren oder Dämpfungen sind, die zwischen minimalen und maximalen Niveaus betrieben werden, um als einpoliger Einschalter (single pole single throw, SPST) zu arbeiten. Falls **910**, **920** optische Modulatoren sind, sind diese vorzugsweise polarisationsunabhängig und bidirektional in ihrem Betrieb. Der Betrieb des ADM-Systems **950** entspricht dem des oben beschriebenen ADM **850**.

[0071] Eine spezifische Ausführungsform der ADM-Elektronik **300** wird jetzt betrachtet. Diese besondere Ausführungsform wird als ADM-Elektronik **3000** bezeichnet und ist in **Fig. 10** dargestellt. Die ADM-Elektronik **3000** wandelt das von dem Faserschaltnetzwerk **200** ausgegebene Licht entweder in dem Messmodus oder dem Referenzmodus in ein digitales elektrisches Signal um zur Verarbeitung durch den Datenprozessor **400** und erzeugt auch ein Modulationssignal für den ADM-Laser **102**. Die Eingabe an die ADM-Elektronik **3000** ist die Faseroptik **230** und die Ausgaben sind ein elektrisches Modulationssignal **360** und ein konditioniertes elektrisches Signal **460**. US Patent Nr. 7,352,446 von Bridges et. al., dessen Inhalt hiermit per Verweis eingebunden ist, offenbart Details zu einer ähnlichen ADM-Elektronik **3000**.

[0072] Die ADM-Elektronik **3000** der **Fig. 10** weist eine Bezugsfrequenz **3002**, einen Synthesizer **3004**, einen Detektor **3006**, Mischer **3010**, Verstärker **3014**, **3018**, einen Frequenzteiler **3024** und einen Analog-digitalwandler (ADC) **3022** auf. Die Bezugsfrequenz **3002** stellt die Zeitbasis für die ADM dar und sollte geringe Phasenstörung und geringe Frequenzdrift aufweisen. Die Bezugsfrequenz kann ein beheiz-

ter Quarzoszillator (oven-controlled crystal oscillator, OCXO), ein Rubidium-Oszillator, oder irgendeine andere sehr stabile Bezugsfrequenz sein. Vorzugsweise sollte die Oszillationsfrequenz genau und stabil innerhalb eines schmalen Bruchteils von einem Teil pro Million sein. Das Signal von der Bezugsfrequenz wird in einen Synthesizer eingegeben, welcher drei Signale erzeugt. Das erste Signal liegt bei einer Frequenz f_{RF} und moduliert die optische Leistung des ADM-Lasers **102**. Dieser Modulationstyp wird Helligkeitsmodulation (intensity modulation, IM) genannt. Alternativ ist es eher für das erste Signal bei der Frequenz f_{RF} möglich die elektrische Feldamplitude des Laserlichts von dem ADM-Laser **102** als die optische Leistung zu modulieren. Dieser Modulationstyp wird Amplitudenmodulation (AM) genannt. Das zweite und das dritte Signal, die sich beide bei der Frequenz f_{LO} befinden, gehen durch die lokalen Oszillatorports des Mischers **3010**.

[0073] Das optische Faserkabel **230** transportiert Laserlicht. Das Licht in diesem optischen Faserkabel **230** wird durch den Detektor **3006** in elektrische Signale umgewandelt. Dieser optische Detektor **3006** sendet die Modulationsfrequenz f_{RF} an den Verstärker **3014** und dann an Mischer **3010**. Der Mischer **3010** erzeugt zwei Frequenzen, eine bei $|f_{LO} - f_{RF}|$ und eine bei $|f_{LO} + f_{RF}|$. Diese Signale reisen zu einem Niederfrequenzverstärker **3018**. Der Verstärker **3018** blockiert die Hochfrequenzsignale, so dass nur die Signale bei der Zwischenfrequenz (IF), $f_{IF} = |f_{LO} - f_{RF}|$ durch den Analogdigitalwandler (ADC) **3022** passieren. Die Bezugsfrequenz **3002** sendet ein Signal in den Frequenzteiler **3024**, welcher die Frequenz des Bezugs **3002** durch eine Ganzzahl N teilt, um einen Abtasttakt zu erzeugen. Im Allgemeinen kann der ADC die abgetasteten Signale durch einen Ganzzahlfaktor M dezimieren, so dass die effektive Abtastrate f_{REF} / NM ist. Diese effektive Abtastrate sollte ein Vielfaches einer Ganzzahl der Zwischenfrequenz f_{IF} sein.

[0074] Die Timing-Elektronik **472** kann einen Frequenzteilerchip und einen Mikroprozessor oder ein Field Programmable Gate Array sein. Der Frequenzteilerchip teilt die Frequenz des Signals von der Bezugsfrequenz **3002** zu einer niedrigeren Frequenz. Diese Frequenz wird an den Mikroprozessor oder das Field Programmable Gate Array angelegt, das ihre interne Verarbeitungsfähigkeit verwendet, um die erforderlichen in **Fig. 13** und **Fig. 14** dargestellten Timing-Signale bereitzustellen.

[0075] Hier sind Frequenzen für eine beispielhafte ADM: die Bezugsfrequenz beträgt $f_{REF} = 20$ MHz. Die Synthesizer-RF-Frequenz, die den Laser treibt, beträgt $f_{RF} = 2800$ MHz. Die Synthesizer-LO-Frequenz, die an den Mischer angelegt wird, beträgt $f_{LO} = 2800,01$ MHz. Die Differenz zwischen den LO- und RF-Frequenzen ist die Zwischenfrequenz von $f_{IF} = 10$ kHz. Die Bezugsfrequenz wird durch $N = 10$ dividiert, um

eine an den ADC als Abtasttakt angelegte 2 MHz Frequenz zu erzeugen. Der ADC weist einen Dezimierungsfaktor von $M = 8$ auf, welcher eine effektive Abtastrate von 250 kHz erzeugt. Da die IF 10 kHz beträgt, benötigt der ADC **25** Abtastungen pro Zyklus.

[0076] Der ADC sendet die abgetasteten Daten zur Analyse an den Datenprozessor **400**. Die Datenprozessoren umfassen Digitalsignalprozessor (DSP)-Chips und Universal-Mikroprozessorchips. Die durch diese Prozessoren durchgeführte Verarbeitung wird unten beschrieben.

[0077] Wie in **Fig. 2** bis **Fig. 4** dargestellt, erzeugt die ADM-Elektronik **3000** ein Signal, das über die elektrische Verbindung **470** reist, um das Faserschalternetzwerk **200** zwischen Mess- und Referenzmodi zu schalten. Zusätzlich wandelt der Datenprozessor **400** die digitale Ausgabe der ADM-Elektronik **3000** in ein Ergebnis **420** um, welches ein numerischer Entfernungswert ist. Eine exemplarische Ausführungsform des Datenprozessors **400** ist ein Datenprozessor **400A**, der in **Fig. 11** dargestellt ist. Die Eingabe an den Datenprozessor **400A** ist eine elektrische Schnittstelle **460** an die ADM-Elektronik **3000** und die Ausgabe ist das Ergebnis **420**. US Patent Nr. 7,352,446, dessen Inhalt oben per Verweis eingebunden ist, offenbart Details zu einem ähnlichen Datenprozessor **400**.

[0078] Der Datenprozessor **400** der **Fig. 11** benötigt die digitalisierten Daten von ADC **3022** und leitet davon die Entfernung von dem Tracker zu dem externen Retroreflektor **26** ab. **Fig. 11** verweist auf diese Entfernung als das ERGEBNIS **420**. Der Datenprozessor **400** weist einen Digitalsignalprozessor **410**, einen Mikroprozessor **450** und Quarzoszillatoren **402, 404** auf.

[0079] Der Analogdigitalwandler **3022** sendet abgetastete Daten an den DSP **410**. Diese Daten werden an ein Programm weitergeleitet, das innerhalb des DSP läuft. Dieses Programm enthält drei Hauptfunktionen: eine Phasenextrahierfunktion **420**, eine Kompensationsfunktion **422** und eine Kalman-Filterfunktion **424**. Der Zweck der Phasenextrahierfunktion ist es die Phasen der Signale zu bestimmen, d.h. der Modulationsbereich muss zuerst berechnet werden. Der Modulationsbereich ist als die Umlaufentfernung definiert, die das ADM-Laserlicht in Luft gereist ist für die Phase der Lasermodulation um sich durch 2π Radian zu ändern.

[0080] Um die ADM-Messung mit den Messungen des Winkel-Encoders und Positionsdetektors zu synchronisieren, bestimmt ein Zähler **414** die Zeitdifferenz zwischen dem Synchronisationsimpuls und der Entfernung des letzten Zustands. Es führt dies in der folgenden Weise aus. Der Quarzoszillator **404** sendet eine niederfrequente Sinuswelle an den Frequenztei-

ler **452**, der innerhalb des Mikroprozessors **450** angeordnet ist. Diese Taktfrequenz wird auf f_{SYNC} , der Frequenz des Synchronisationsimpulses, herunter dividiert. Der Synchronisationsimpuls wird über einen Gerätebus an den DSP, Winkel-Encoder-Elektronik und Positionsdetektor-Elektronik gesendet. In einem beispielhaften System sendet der Oszillator ein 32,768 kHz Signal durch den Frequenzteiler **452**, welches durch 32 dividiert wird, um eine Synchronisationsimpuls-Frequenz $f_{\text{SYNC}} = 1,024$ kHz zu erzeugen. Der Synchronisationsimpuls wird an den Zähler **414** gesendet, welcher sich innerhalb des DSP **410** befindet. Der Zähler wird durch den Quarz **402** getaktet, welcher eine Phasenregelkreis (phase lock loop, PLL) - Vorrichtung **412** innerhalb des DSP antreibt. In dem beispielhaften System weist der Oszillator **402** eine Frequenz von 30 MHz auf und der PLL **412** verdoppelt diese, um ein Taktsignal von 60 MHz an den Zähler **414** zu erzeugen. Der Zähler **414** bestimmt die Ankunft des Synchronisationsimpulses bei einer Auflösung von $1/60$ MHz = 16,7 Nanosekunden. Die Phasenextrahierfunktion **420** sendet ein Signal an den Zähler, wenn der ADC **322** alle Abtastungen für einen Zyklus gesendet hat. Dieser setzt den Zähler **414** zurück und beginnt ein neues Zählen. Der Synchronisationsimpuls stoppt das Zählen des Zählers **412**. Die Gesamtanzahl der Zählungen wird durch die Frequenz dividiert, um die abgelaufene Zeit zu bestimmen. Da das Zeitintervall in den obigen Gleichungen auf eins gesetzt wurde, ist das normierte Zeitintervall t_{NORM} die abgelaufene Zeit, die durch das Zeitintervall dividiert wird. Die Zustandsentfernung x_{EXT} , die auf dem Synchronisationsimpulsanreiz extrapoliert wird, ist

$$x_{\text{EXT}} = x_k + v_k t_{\text{NORM}}$$

[0081] Die Kalman-Filterfunktion **424** stellt das Ergebnis bereit, welches die Entfernung von dem Tracker zu dem externen Retroreflektor **26** ist.

[0082] Es ist wichtig zu erkennen, dass das Verfahren zur Verwendung von den hier beschriebenen faser-optischen Schaltern nicht auf ein phasenbasiertes Entfernungsmessverfahren, von welchem die beispielhafte Ausführungsform der **Fig. 10** ein Beispiel ist, beschränkt ist. Faser-optische Schalter können zum Beispiel gleich gut verwendet werden mit einem getakteten Laufzeitentfernungsmesser.

[0083] **Fig. 12** zeigt ein Beispiel des gemultiplexten Signals **1300**, das von dem Signalkonditionierer **3018** der **Fig. 10** entspringt und in den Analogdigitalwandler (ADC) **3022** derselben Figur eintritt. Dieser Typ von Multiplexsignal könnte durch eine phasenbasierte ADM erzeugt werden. In **Fig. 12** repräsentiert die größere Amplitude das Signal von dem Messkanal und die kleinere Amplitude repräsentiert das Signal von dem Referenzkanal. Die Referenz- und Messsignale werden durch das Faserschaltnetzwerk **200**

zusammen gemultiplext. In dem in **Fig. 12** dargestellten Beispiel beträgt die Frequenz der Sinuskurve 100 kHz und die korrespondierende Periode beträgt 0,01 Millisekunden = 10 Mikrosekunden. Das numerische Ergebnis **420** weist in diesem Beispiel eine Ausgangsfrequenz von 10 kHz und eine korrespondierende Periode von 0,1 Millisekunden = 100 Mikrosekunden auf.

[0084] Im Allgemeinen bewirkt die Schaltaktion zwischen Mess- und Referenzsignalen, dass einige Übergänge in den Ausgangssignalen von elektrischen und optoelektrischen Komponenten der ADM-Elektronik **3000** auftreten. Falls diese Übergangssignale, welche durch den ADC **3022** gelesen werden, in den Berechnungen des Datenprozessors **400** enthalten wären, würde ein fehlerhaftes Ergebnis **420** auftreten. Um dieses Problem zu vermeiden, ist es wichtig, dass Übergänge in den Rohdaten, die durch den Datenprozessor **400** verarbeitet werden, ausgemerzt worden sind, um das Ergebnis **420** zu erhalten.

[0085] In dem hier betrachteten Beispiel werden nur 80 Mikrosekunden von jeder 100 Mikrosekunden-Periode verarbeitet und die anderen 20 Mikrosekunden werden verworfen. Von den 80 Mikrosekunden, die behalten werden, werden 20 Mikrosekunden (2 Sinusperioden) von dem Referenzkanal behalten und 60 Mikrosekunden (6 Sinusperioden) werden von dem Messkanal behalten.

[0086] **Fig. 13** zeigt ein Timing-Signal **1200** von der elektrischen Verbindung **470**. Der Messmodus beginnt, wenn das Timing-Signal **1200** durch einen hohen Wert **1210** geht, und der Referenzmodus beginnt, wenn das Timing-Signal **1200** durch einen niedrigen Wert **1230** geht. **Fig. 14** zeigt das Gate-Signal **1250**, das angibt, wenn Daten **460** als gültig betrachtet werden. Ein hohes Gate-Signal **1260** gibt an, dass das Referenzsignal gültig ist. Ein hohes Gate-Signal **1265** gibt an, dass das Messsignal gültig ist. Ein niedriges Gate-Signal **1255** gibt an, dass kein Signal gültig ist.

[0087] Die Verfahren der oben diskutierten Algorithmen wurden mittels eines Verarbeitungssystems **1500** implementiert, das in **Fig. 15** dargestellt ist. Das Verarbeitungssystem **1500** weist eine Tracker-Verarbeitungseinheit **1510** und einen optionalen Computer **80** auf. Die Verarbeitungseinheit **1510** umfasst mindestens einen Prozessor, welcher ein Mikroprozessor, ein Digitalsignalprozessor (DSP), ein Field Programmable Gate Array (FPGA) oder eine ähnliche Vorrichtung sein kann. Die Verarbeitungsfähigkeit wird bereitgestellt, um Information zu verarbeiten und Befehle an interne Tracker-Prozessoren auszugeben. Solche Prozessoren können einen Positionsdetektorprozessor **1512**, einen Azimut-Encoder-Prozessor **1514**, einen Zenit-Encoder-Prozessor **1516**, einen Indikationslichtprozessor **1518**, den

ADM-Prozessor **400**, ein Interferometer (IFM)-Prozessor **1522** und einen Kameraprozessor **1524** aufweisen. Ein Hilfseinheit-Prozessor **1570** stellt optional Timing- und Mikroprozessorunterstützung für andere Prozessoren innerhalb der Tracker-Prozessoreinheit **1510** bereit. Vorzugsweise kommuniziert sie mit anderen Prozessoren mittels eines Gerätebusses **1530**, welcher vorzugsweise Information durchweg durch den Tracker mittels Datenpaketen transferiert, wie es allgemein in der Technik bekannt ist. Vorzugsweise wird Rechenfähigkeit durchweg in der Tracker-Verarbeitungseinheit **1510** mit DSPs und FPGAs, die Zwischenberechnungen auf Daten, die durch die Tracker-Sensoren gesammelt werden, bereitgestellt. Die Ergebnisse dieser Zwischenberechnungen werden an den Hilfseinheit-Prozessor **1570** zurückgegeben. Die Hilfseinheit **1570** kann mit dem Hauptkörper des Lasertrackers **10** durch ein langes Kabel verbunden sein, oder es kann innerhalb des Hauptkörpers des Lasertrackers eingebunden sein, so dass der Tracker direkt (und optional) mit dem Computer **80** verbunden ist. Vorzugsweise ist die Hilfseinheit **1570** mit dem Computer **80** durch die Verbindung **1540** verbunden, welche vorzugsweise ein Ethernet-Kabel oder eine drahtlose Verbindung ist. Die Hilfseinheit **1570** und der Computer **80** können mit dem Netzwerk durch Verbindungen **1542**, **1544** verbunden sein, welche vorzugsweise Ethernet-Kabel oder drahtlose Verbindungen sind.

[0088] Während die obige Beschreibung sich auf besondere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bezieht, versteht es sich, dass viele Modifikationen ausgeführt werden können ohne sich von dem Geist davon zu entfernen. Die begleitenden Ansprüche sind beabsichtigt solche Modifikationen abzudecken, wenn sie innerhalb des wahren Bereichs und des Geistes der vorliegenden Erfindung fallen würden.

[0089] Die gegenwärtig offenbarten Ausführungsformen sind deshalb in allen Bezügen als veranschaulichend und nicht beschränkend zu betrachten, der durch die beigefügten Ansprüche angegebene Bereich der Erfindung und nicht die vorhergehende Beschreibung, und alle Änderungen, welche innerhalb der Bedeutung und des Bereichs von Äquivalenz der Ansprüche liegen, sind deshalb beabsichtigt davon umfasst zu sein.

Patentansprüche

1. Absolutentfernungsmessvorrichtung, die eine Entfernung zu einem Ziel (26) bestimmt, weist auf: eine Lichtquelle (102), die einen emittierten Lichtstrahl (108, 46) emittiert;
ein Faserschaltnetzwerk (200) mit mindestens einem optischen Schalter (500), der mindestens zwischen zwei Positionen in Antwort auf ein Schaltersteuersignal schaltet, wobei eine erste der Positionen

einen Messmodus aktiviert, in welchem der emittierte Lichtstrahl (108, 46) von dem Faserschaltnetzwerk (200) zu dem Ziel (26) emittiert wird und als ein Messlichtstrahl (48) in das Faserschaltnetzwerk (200) zurück reflektiert wird, wobei eine zweite der Positionen einen Referenzmodus aktiviert, in welchem der Lichtstrahl einen Referenzlichtstrahl innerhalb des Faserschaltnetzwerks (200) aufweist, wobei das Faserschaltnetzwerk (200) weiterhin einen Teilfaser-Retroreflektor (505) aufweist sowie mindestens einen faseroptischen Koppler (206), durch welchen der emittierte Lichtstrahl (108, 46) und die Mess- (48) und Referenzlichtstrahlen passieren;
einen Einkanal-detektor (322), der die Mess- (48) und Referenzlichtstrahlen in einer temporär beabstandeten, gemultiplexten Weise detektiert und ein elektrisches Signal bereitstellt, welches mit den detektierten Mess-(48) und Referenzlichtstrahlen korrespondiert, wobei der mindestens eine faseroptische Koppler (206) optisch mit dem Einkanal-detektor (322), mit der Lichtquelle (102) und mit dem mindestens einen optischen Schalter (500) verbunden wird;
einen Einkanal-signalprozessor (324, 3000), der das elektrische Signal verarbeitet und ein konditioniertes elektrisches Signal in Antwort darauf bereitstellt, und einen Datenprozessor (400), der das konditionierte elektrische Signal verarbeitet, um die Entfernung zu dem Ziel (26) zu bestimmen,
wobei in dem Messmodus der emittierte Lichtstrahl (108, 46) von der Lichtquelle (102) durch den mindestens einen faseroptischen Koppler (206) an den mindestens einen optischen Schalter (500), der sich in der Messmodusposition befindet, und an das Ziel (26) gesendet wird, und wobei der Messlichtstrahl (48) von dem Ziel (26) durch den mindestens einen optischen Schalter (500), der sich in der Messmodusposition befindet, und durch den mindestens einen faseroptischen Koppler (206) und an den Einkanal-detektor (322) passiert; und
wobei in dem Referenzmodus der emittierte Lichtstrahl (108, 46) von der Lichtquelle (102) durch den mindestens einen faseroptischen Koppler (206) an den mindestens einen optischen Schalter (500), der sich in der Referenzmodusposition befindet, und an den Teilfaser-Retroreflektor (505) gesendet wird, und wobei der Referenzlichtstrahl, der von dem Teilfaser-Retroreflektor (505) reflektiert wird, durch den mindestens einen optischen Schalter (500), der sich in der Referenzmodusposition befindet, und durch den mindestens einen faseroptischen Koppler (206) und an den Einkanal-detektor (322) passiert.

2. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Lichtquelle (102) einen Laser aufweist und wobei der Lichtstrahl (108, 46) einen Laserlichtstrahl ist.

3. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Einkanal-signalprozessor (324,

3000) ein Modulationssignal an die Lichtquelle (102) bereitstellt um die Lichtquelle (102) zu modulieren.

4. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Einkanalsignalprozessor (324, 3000) das Schaltersteuersignal bereitstellt, um das Schalten des mindestens einen optischen Schalters (500) zwischen der Messmodusposition und der Referenzmodusposition zu steuern.

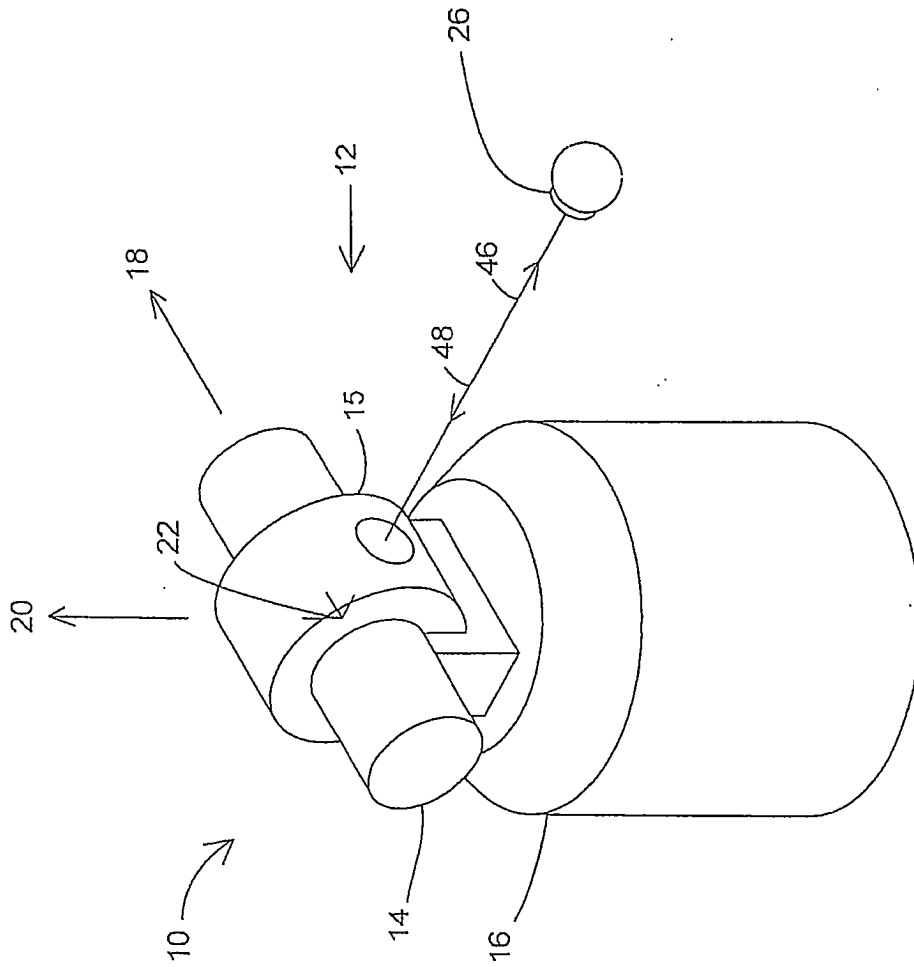
5. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Absolutentfernungsmessvorrichtung für eine Verwendung innerhalb eines Lasertrackers (10) vorgesehen ist.

6. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 1, weiterhin aufweisend eine optische Anordnung (190), die den emittierten Lichtstrahl (108, 46) von dem Faserschaltnetzwerk (200) empfängt und den emittierten Lichtstrahl zu dem Ziel (26) sendet, und die den Messlichtstrahl (48) von dem Ziel (26) empfängt und den Messlichtstrahl (48) zu dem Faserschaltnetzwerk (200) sendet.

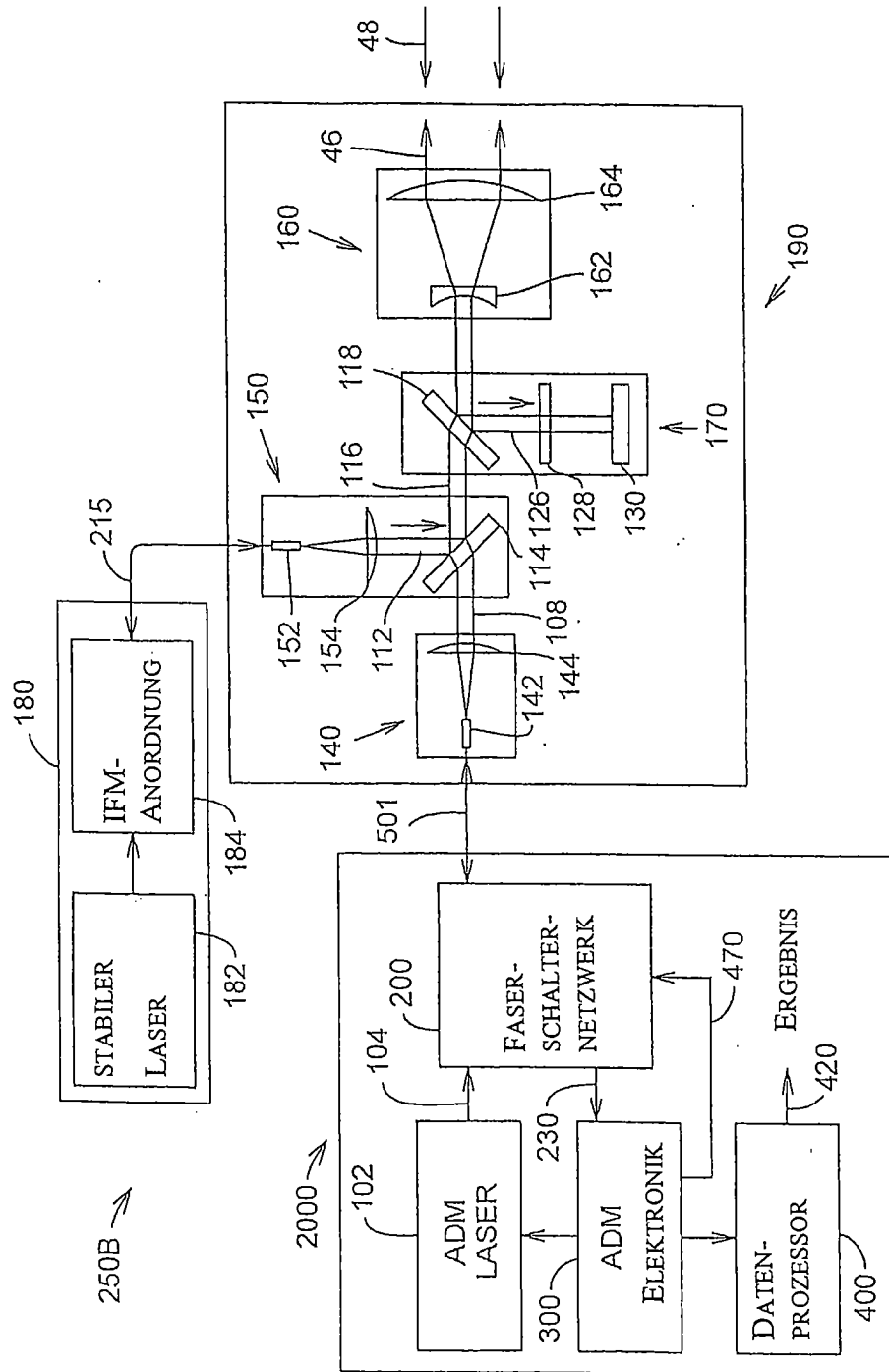
7. Absolutentfernungsmessvorrichtung nach Anspruch 6, weiterhin aufweisend eine sichtbare Laserlichtquelle (110), die einen sichtbaren Laser (112) emittiert, wobei die optische Anordnung (190) Optik enthält, die den emittierten sichtbaren Laser (112) mit dem emittierten Lichtstrahl (46) von dem Faserschaltnetzwerk (200) mischt, um einen zusammengesetzten emittierten Lichtstrahl (46) zu bilden und den zusammengesetzten emittierten Lichtstrahl zu dem Ziel (26) sendet.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

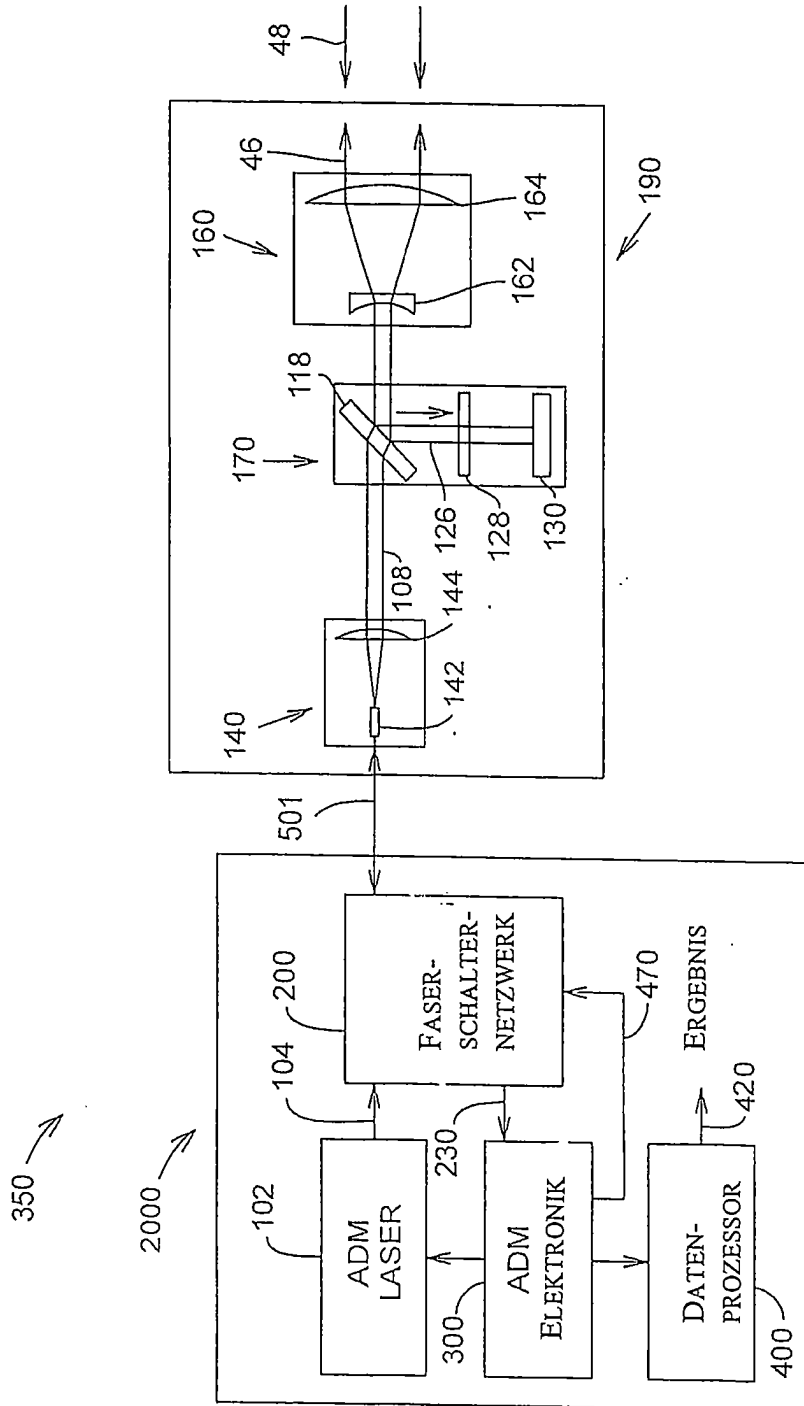
Anhängende Zeichnungen



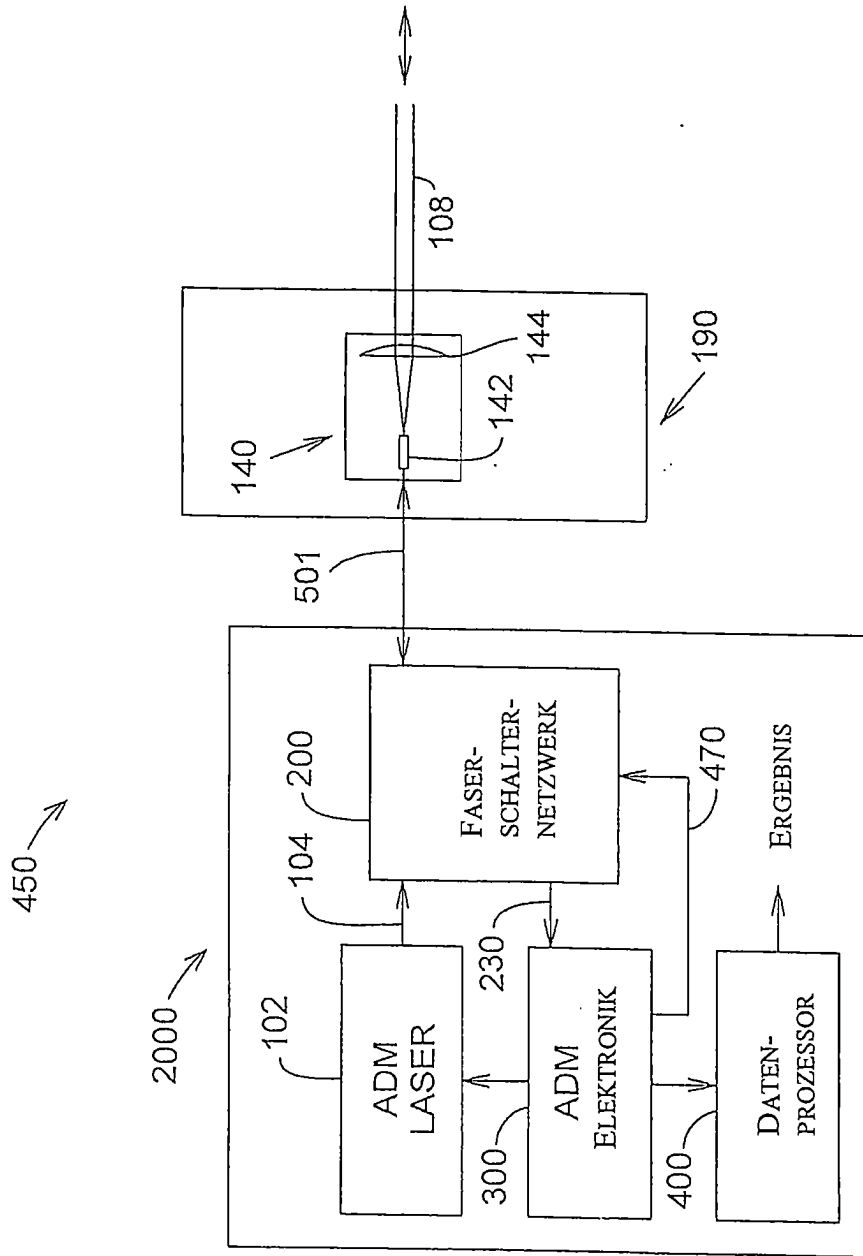
FIGUR 1



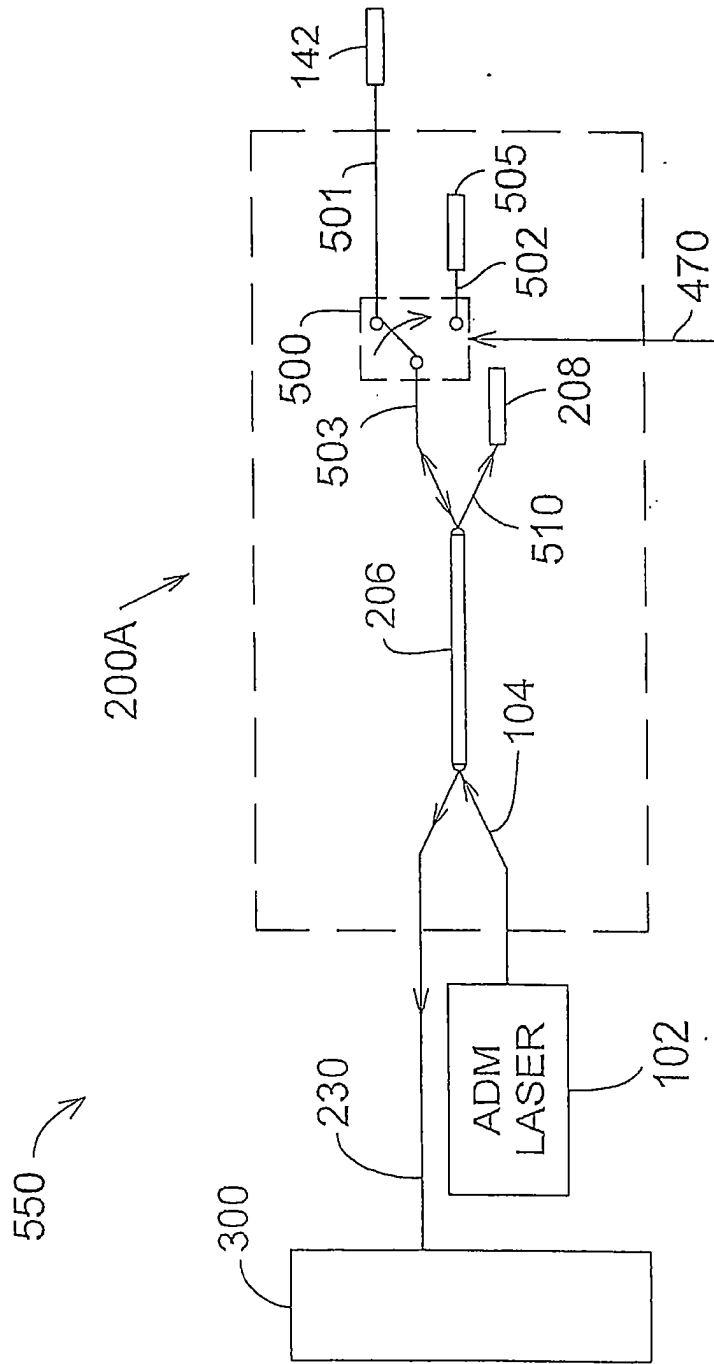
FIGUR 2B



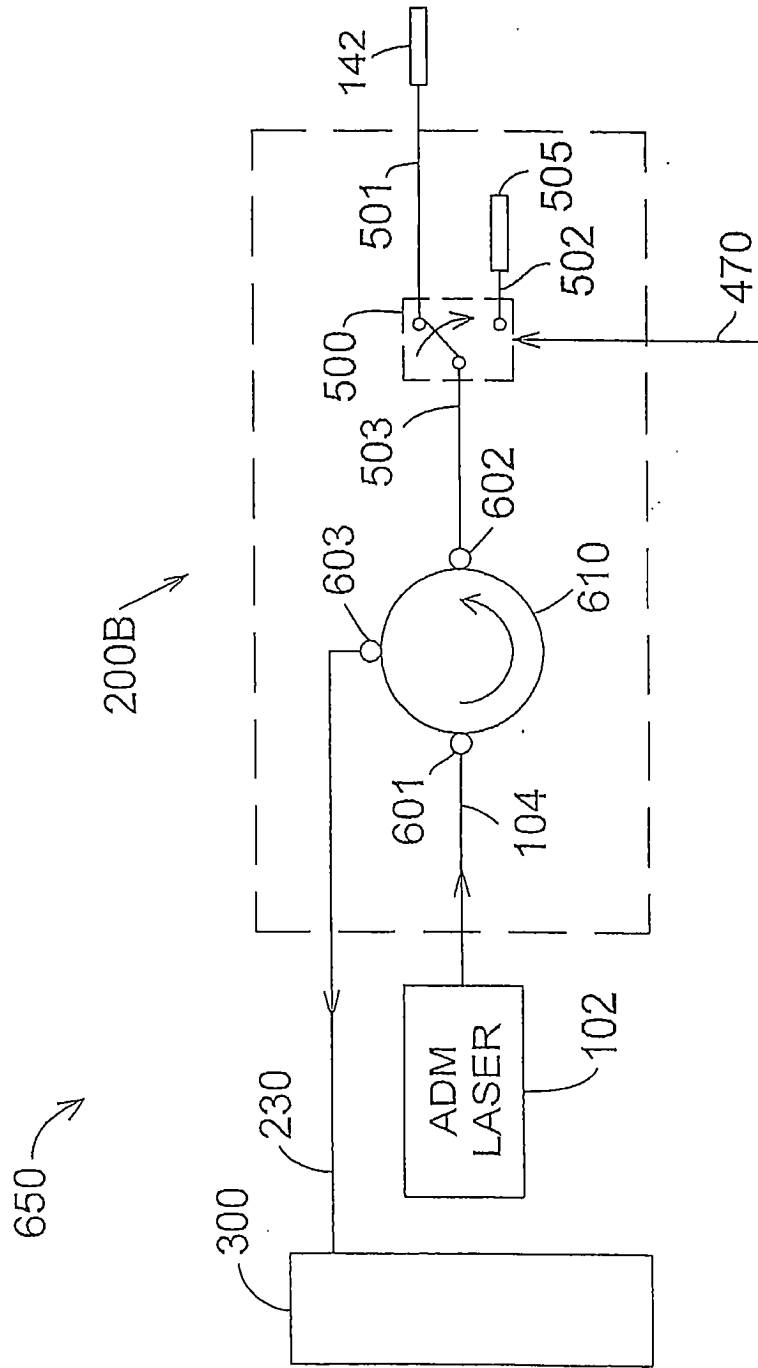
FIGUR 3



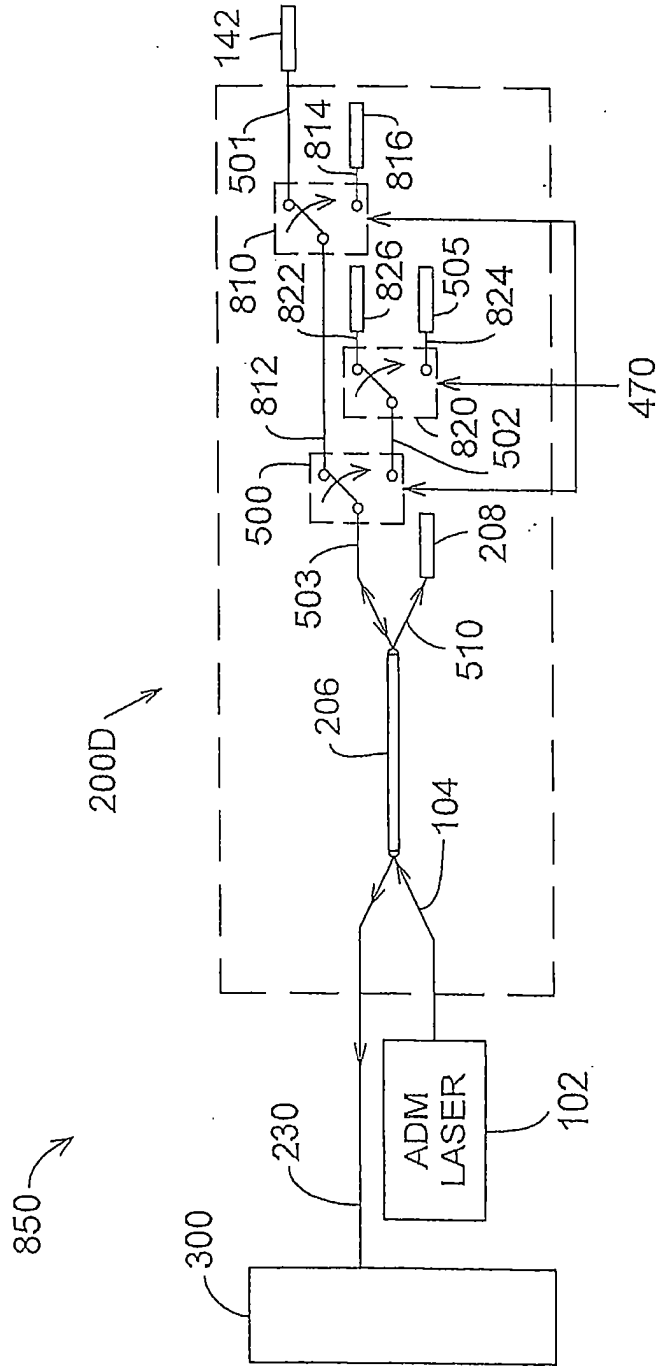
FIGUR 4



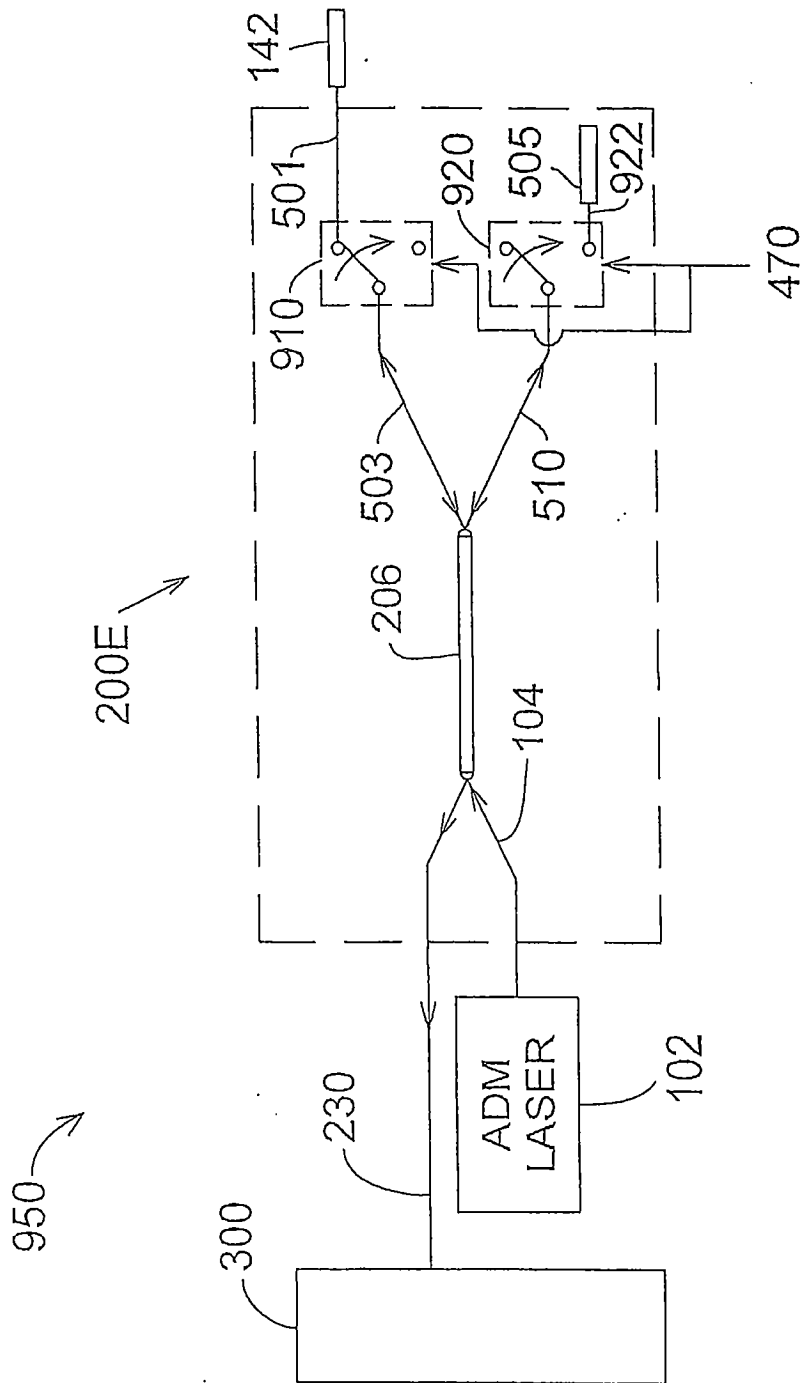
FIGUR 5



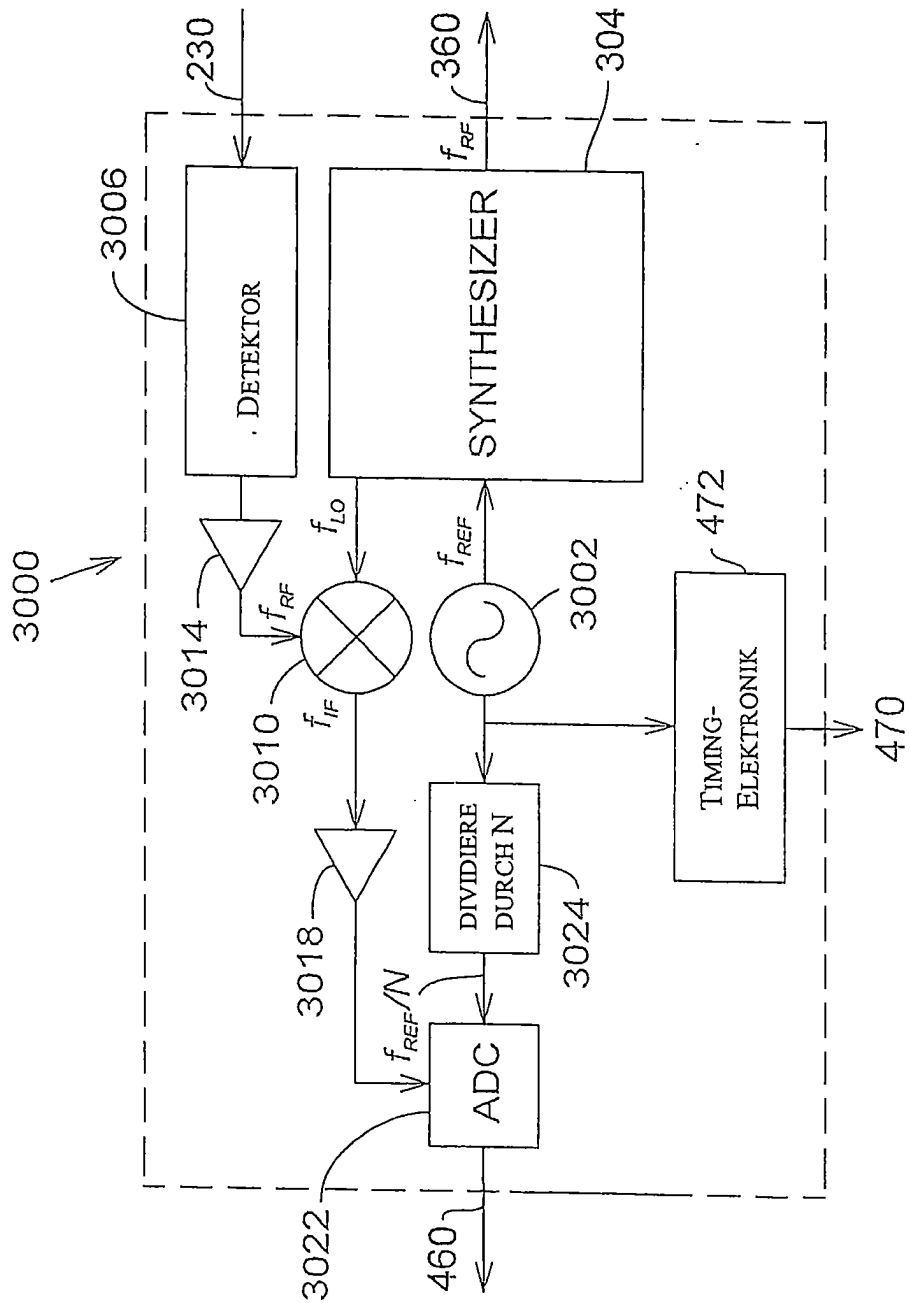
FIGUR 6



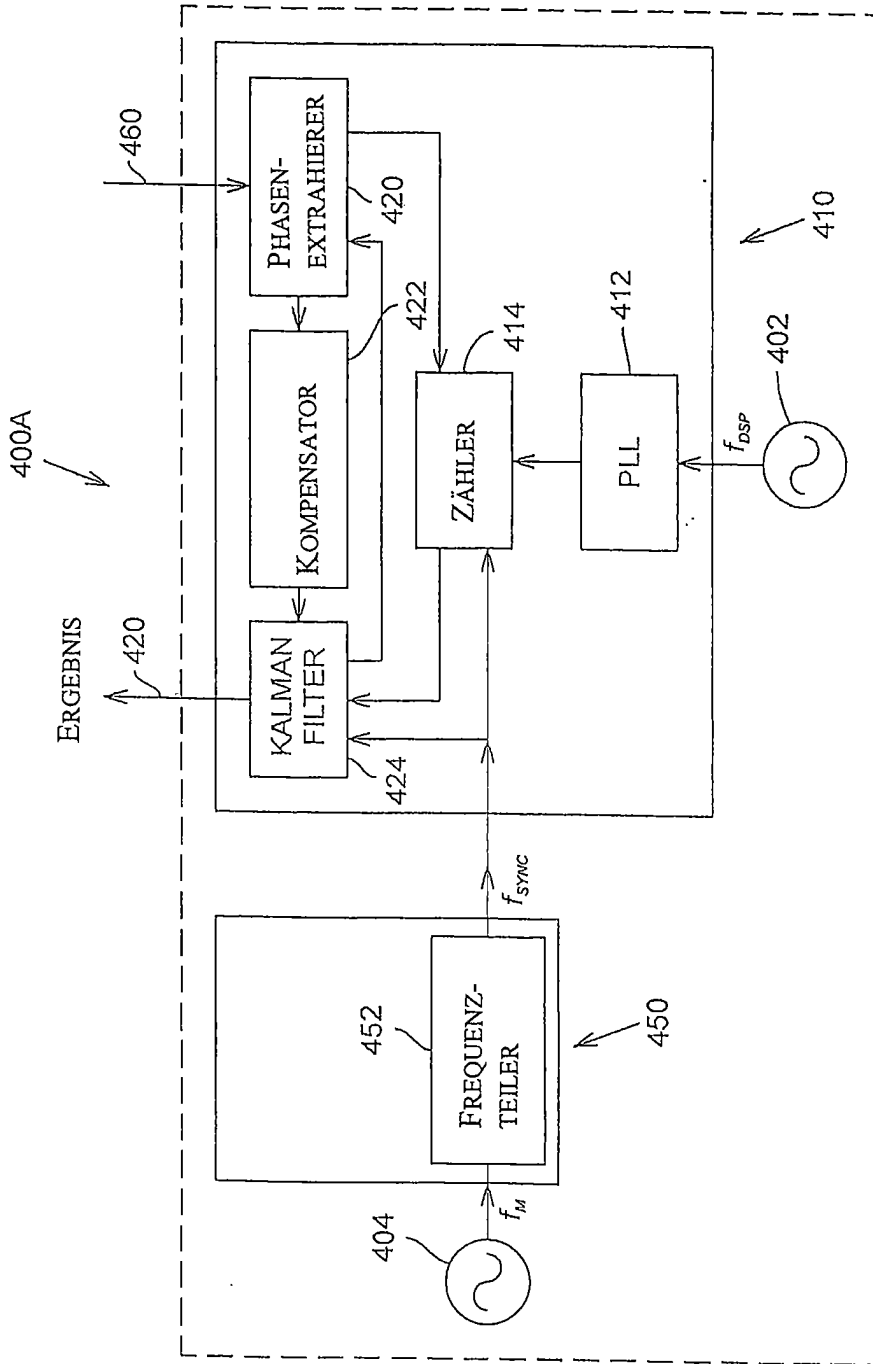
FIGUR 8



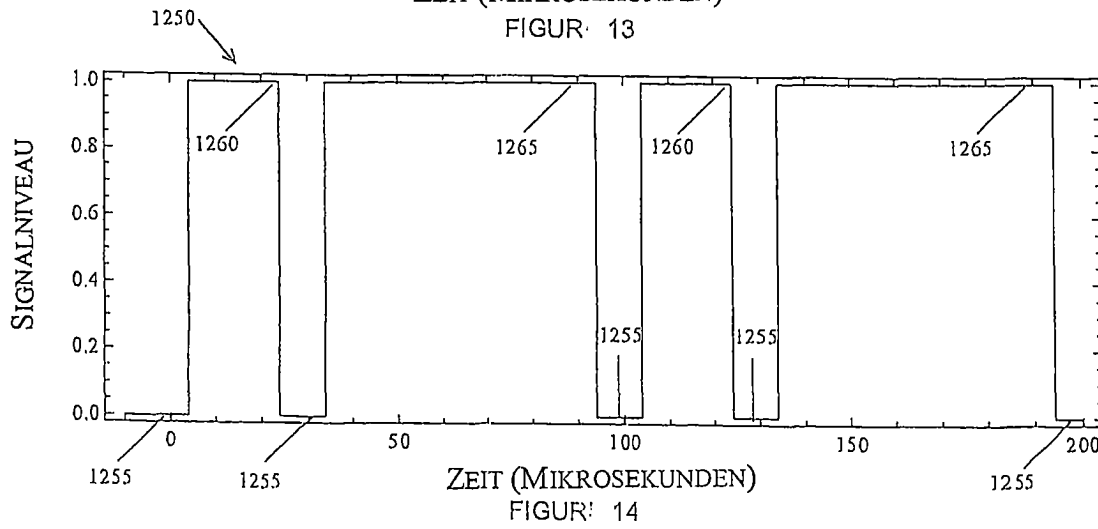
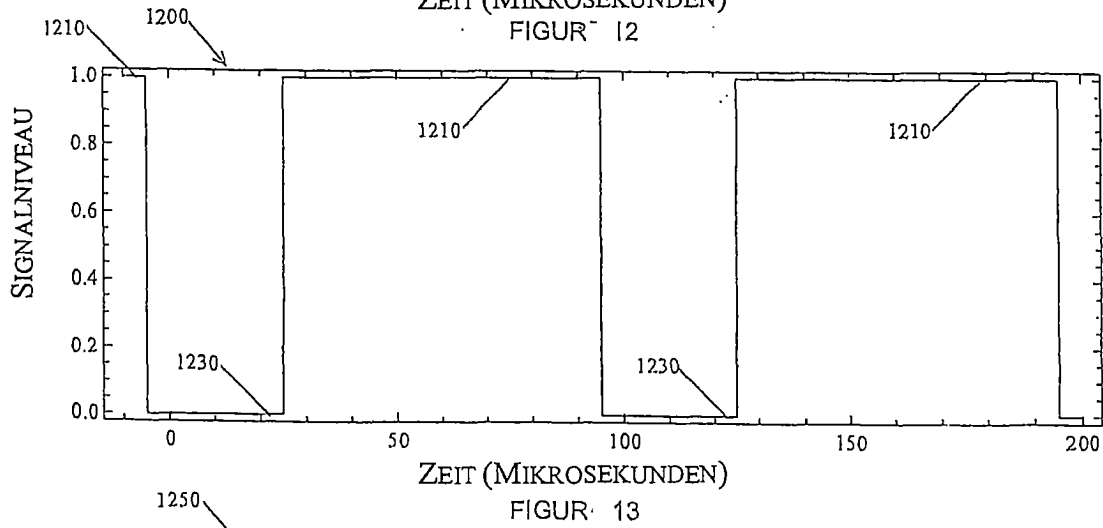
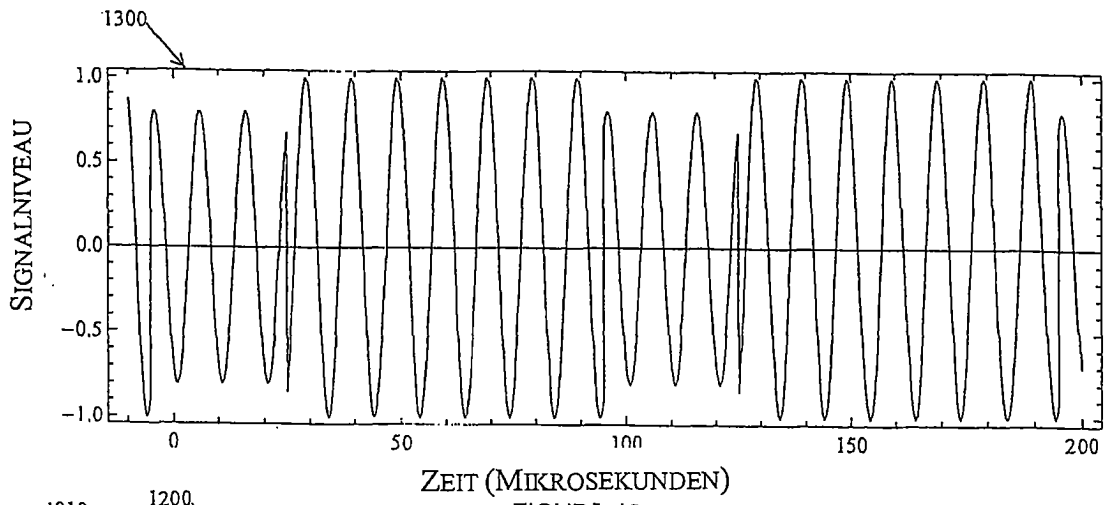
FIGUR 9

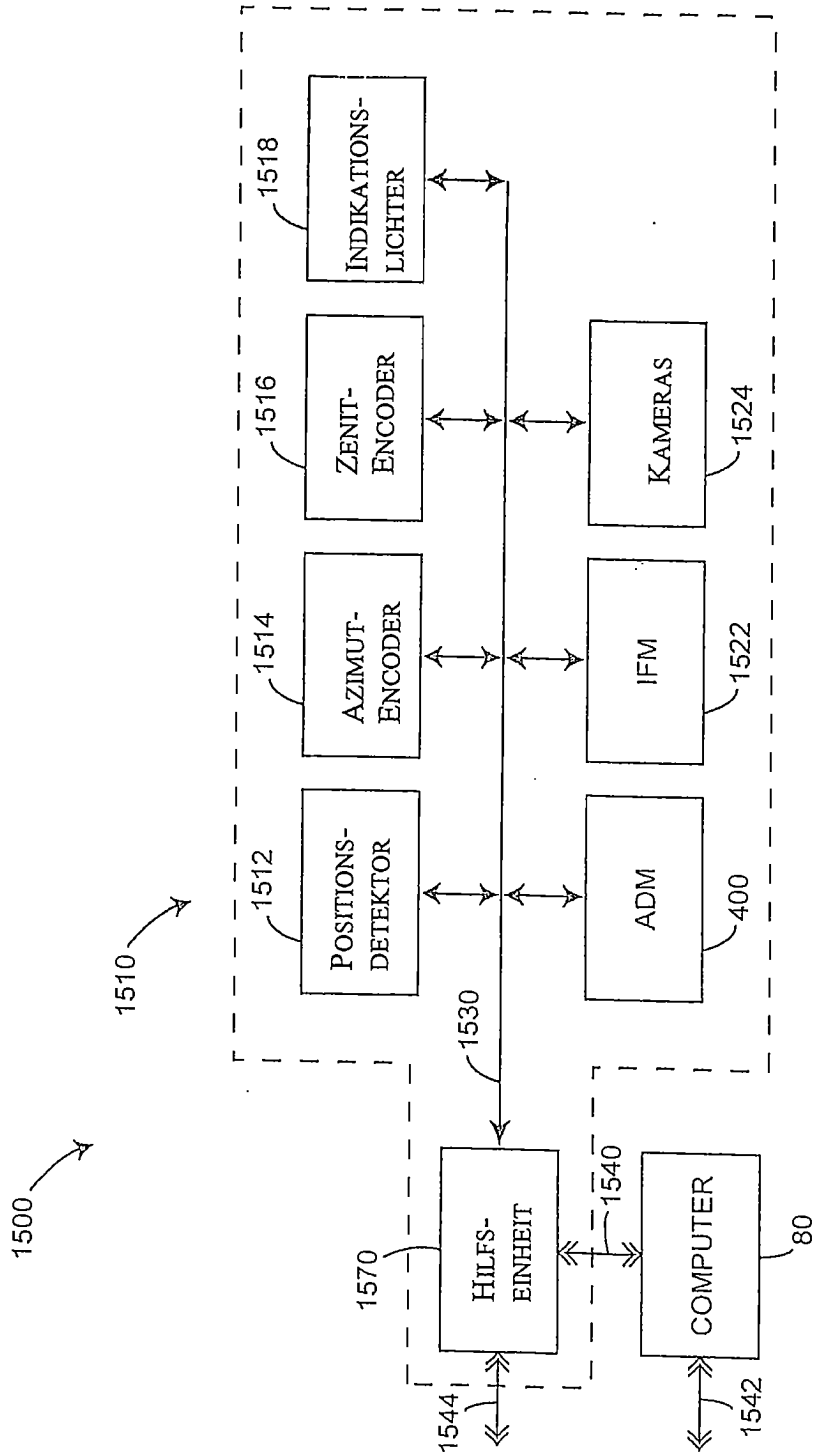


FIGURI 10

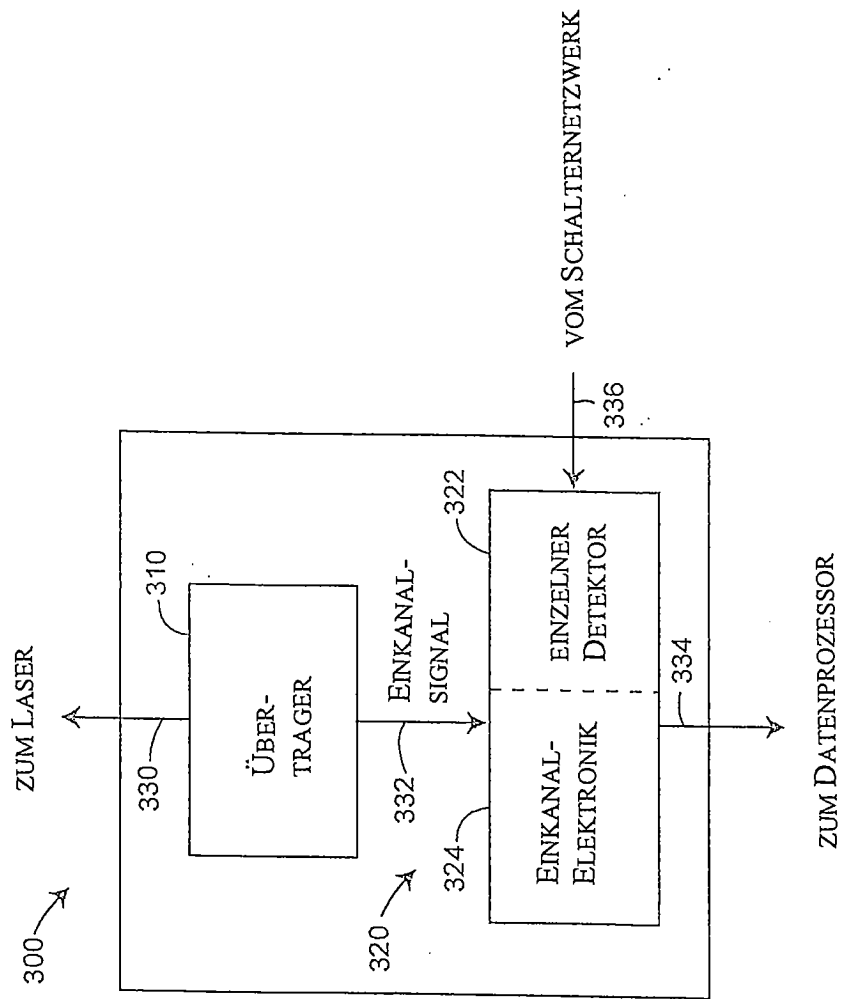


FIGUR 11





FIGUR 15



FIGUR 16