(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 27 367 T2** 2006.07.06

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 084 379 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 27 367.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR99/01299**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 923 655.7**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/064816**
(86) PCT-Anmeldetag: **02.06.1999**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.03.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **21.09.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.07.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G01B 11/24*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
9807076 **05.06.1998** **FR**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Cynovad Inc., Quebec, CA

(72) Erfinder:
GUERN, Yves, F-13490 Jouques, FR

(74) Vertreter:
Patentanwälte Reinhardt & Pohlmann Partnerschaft, 75172 Pforzheim

(54) Bezeichnung: **Optoelektronische Formerfassung durch chromatische Kodierung mit Beleuchtungsebenen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optoelektronischen Erfassung von Formen.

[0002] Man kennt bereits mehrere derartige Techniken:

– die Stereovision, die aus einem Ableiten des Reliefs einer Oberfläche durch Vergleich mit Bildern dieser Oberfläche besteht, die unter wenigstens zwei verschiedenen Winkeln aufgenommen wurden. Dieses Verfahren erfordert sehr erhebliche Rechenmittel, es ist begrenzt auf Teile der Oberfläche, die unter den beiden Winkeln auf einmal sichtbar sind, und die Lokalisierung der Kanten ist ungenau,

– die Beobachtung einer Oberfläche durch eine Kamera, bei der man den Fokuspunkt verändert, was erlaubt, jeder deutlichen Zone eines Oberflächenbilds einen Abstand (den des Fokuspunkts) zuzuordnen. Das System erfordert sehr erhebliche Rechenmittel, die Dauer der Messung ist lang und die räumliche Auflösung ist nicht sehr gut.

– die Messung der Zeit, die ein Lichtimpuls braucht, um den Abstand zu durchlaufen, der zwischen einem Sender und der Oberfläche vorhanden ist, und dem, der zwischen der Oberfläche und einem Empfänger vorhanden ist, oder auch die Messung der Phasenverschiebung zwischen einer modulierten Beleuchtung, die auf eine Oberfläche projiziert wird, und Beobachtung des von der Oberfläche zurückgestreuten Lichts. Diese Mittel erlauben punktuelle Messungen und es müssen Mittel zur Abtastung zugeordnet sein, was die Erfassungsgeschwindigkeit begrenzt.

– die Triangulation, die es erlaubt, die Länge von zwei Seiten eines Dreiecks zu bestimmen, wenn man die Winkel des Dreiecks und die Länge der dritten Seite kennt, und bei der eine Anwendung darin besteht, auf ein Oberfläche einen strukturierten Lichtstrom zu projizieren, die Verformung dieses Stroms durch die Oberfläche mittels einer Kamera zu beobachten und durch Triangulation die Abstände der Punkte der Oberfläche im Bezug auf eine Referenzebene abzuleiten. Diese Technik ist den Grenzen der Triangulation unterworfen (man braucht daher einen Abstand so groß wie möglich zwischen den Beleuchtungsmitteln und der Kamera und den Beleuchtungsrichtungen und unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen), so dass komplexe Oberflächenzonen nicht beleuchtet und gleichzeitig beobachtet werden können.

Die chromatische Codierung.

[0003] Die Erfindung hat eine schnelle Erfassungstechnik einer dreidimensionalen Form auf optischem Wege zur Aufgabe.

[0004] Sie hat ebenfalls eine derartige Technik zur Aufgabe, die es gestattet, Präzision, Geschwindigkeit und Beobachtungskapazität komplexer Formen ohne Schattenzonen zu kombinieren.

[0005] Zu diesem Zweck schlägt sie ein Verfahren gemäß Anspruch 1 vor.

[0006] Die Erfindung erlaubt damit, den Abstand eines Punkts mit Bezug auf eine Referenzebene auf einfache und schnelle Art durch Bestimmung der Spektralbreite und/oder der zentralen Wellenlänge des reflektierten oder durch diesen Punkt zurückgestreuten Lichts zu bestimmen.

[0007] Die Wellenlänge der Beleuchtung kann zum Beispiel zwischen zwei Grenzwerten in kontinuierlicher Weise variieren. In einer anderen Ausführungsform kann sie auf diskontinuierliche Weise variieren und eine bestimmte Anzahl von vorbestimmten Werten einnehmen.

[0008] Vorzugsweise konvergieren die Beleuchtungsstrahlen in einer axialen Beleuchtungsrichtung in Punkten, die entlang dieser Richtung in der Reihenfolge der Wellenlänge verteilt sind.

[0009] Vorteilhafterweise wird das durch die besagte Fläche reflektierte oder zurückgestreute Licht in einer Richtung aufgefangen, die ungefähr mit der axialen Beleuchtungsrichtung zusammen fällt. Das Verfahren gemäß der Erfindung ist dann nicht durch „Schattenzonen" der beobachteten Oberfläche beschränkt.

[0010] Die Erfindung schlägt ebenso eine Vorrichtung gemäß Anspruch 6 vor.

[0011] Die Beleuchtungsmittel können eine polychromatische Lichtquelle mit bestimmter Spektralbreite umfassen, die durch einen Spalt oder ein Diaphragma einem Dispersionselement wie einem Prisma, einem Netz oder zum Beispiel einer holographischen Linse zugeordnet ist, oder mehrere Lichtquellen mit geringer Spektralbreite umfassen, die unterschiedliche zentrale Wellenlängen aufweisen, um die vorgenannten Lichtstrahlen zu formen.

[0012] Die Mittel zur Spektralanalyse können ein Dispersionselement wie ein Prisma oder dergleichen in Verbindung mit fotosensiblen Einfangvorrichtungen oder Sensoren mit Linear- oder Matrixdisposition umfassen.

[0013] Als Variante können die Mittel zur Spektralanalyse eine lineare Dreierleiste von Fotodetektoren für die Messung und den Vergleich von Lichtströmen in drei Grundfarben umfassen.

[0014] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel

der Erfindung ist das spektrale Dispersionselement der Beleuchtungsmittel eine chromatische Linse, deren Brennweitenabstand sich kontinuierlich mit der Wellenlänge verändert und die einem Vergrößerungsobjektiv, zum Beispiel einem afokalen zugeordnet ist, um die Tiefe des verwendbaren Feldes zu steigern. Außerdem weist die Vorrichtung ein Objektiv zur Beleuchtung der Oberfläche durch die vorgenannten Strahlen auf und zur Aufnahme des reflektierten oder durch diese Oberfläche rückgestreuten Lichts, wobei dieses Objektiv einer Maske oder einem Diaphragma zugeordnet ist, das eine kreisförmige Öffnung oder eine Öffnung in Form eines Spalts umfasst, der eine Beobachtungszone der beleuchteten Oberfläche abgrenzt, und Steuermittel für die Relativverschiebung der Oberfläche und der Maske oder des Diaphragmas.

[0015] Grundsätzlich erlaubt die Erfindung die Erfassung einer dreidimensionalen Form auf präzise, schnelle und vollständige Weise mit unerheblichen Rechenmitteln und unaufwändigen optischen Mitteln.

[0016] Die Erfindung wird besser verstanden und andere Merkmale, Details und Vorteile derselben erscheinen deutlicher nach Lektüre der folgenden Beschreibung anhand eines Ausführungsbeispiel unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen, in denen:

[0017] Fig. 1 schematisch eine erste Beleuchtungsart einer Oberfläche darstellt;

[0018] Fig. 2 einen Graph zeigt, der Veränderungen der Spektralbreite als Funktion des Abstands entlang der Y-Achse von reflektiertem oder durch eine beleuchtete Oberfläche rückgestreutes Licht darstellt, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist;

[0019] Fig. 3 schematisch eine zweite Beleuchtungsart einer Oberfläche zeigt;

[0020] Fig. 4 ein Graph ist, in dem schematisch die Änderungen der Spektralbreite und der zentralen Wellenlänge als Funktion des Abstands entlang der Y-Achse des durch eine wie in Fig. 3 dargestellte beleuchtete Fläche reflektierten oder rückgestreuten Lichts zeigt;

[0021] Fig. 5 schematisch die Beleuchtungsart einer Oberfläche gemäß der Erfindung zeigt;

[0022] Fig. 6 schematisch eine Ausführungsform einer Vorrichtung zeigt;

[0023] Fig. 7 schematisch eine Variante der Ausführung der Beleuchtungsmittel der Vorrichtung gemäß Fig. 6 zeigt.

[0024] In Fig. 1 wird eine Oberfläche S durch mehrere, monochromatische Strahlen oder Lichtstrahlen geringer Spektralbreite beleuchtet, die unterschiedliche Richtungen und unterschiedliche Wellenlängen haben und die in demselben Punkt O konvergieren, der auf der Oberfläche S oder in der Nachbarschaft dieser Oberfläche angeordnet ist, wobei der Konvergenzpunkt der Strahlen **10** einen Referenzpunkt für die Bewertung des Abstands der Punkte von der Oberfläche S in einer bestimmten Beobachtungsrichtung bildet.

[0025] Im dargestellten Beispiel ist dieser Referenzpunkt in der Ebene XZ, die im rechten Winkel zur Achse Y ist, die die Beobachtungsrichtung ist und mit der mittleren Beleuchtungsrichtung der Oberfläche zusammen fällt.

[0026] Die Strahlen **10** sind monochromatisch und ihre Wellenlängen können auf kontinuierliche Weise um eine zentrale Wellenlänge verteilt sein, die die des Beleuchtungsstrahls **10** ist, der mit der Achse Y in Linie ist.

[0027] Wenn sich eine Grundfläche s der Oberfläche S in unmittelbarer Nachbarschaft des Punkts O auf der Achse Y findet, ist sie durch die gesamten Strahlen **10** beleuchtet und reflektiert oder streut alle Wellenlängen dieser Stahlen zurück. Das in Richtung Y eingefangene Licht kann dann eine Spektralbreite haben, die von einer geringeren Wellenlänge bis zu einer höheren Wellenlänge der Strahlen **10** geht, wobei die Spektralbreite schematisch durch die Kurve **12** der Fig. 2 dargestellt ist.

[0028] Wenn die Grundfläche s der Oberfläche S sich auf der Achse Y in einer Stellung befindet, die in Fig. 1 punktiert dargestellt ist, wird sie nicht mehr durch die Gesamtheit der Strahlen **10** ausgeleuchtet, jedoch durch einen Teil von Ihnen und das durch die Grundfläche rückgestreute Licht ergibt die Spektralbreite, die durch die Kurve **14** in Fig. 2 dargestellt ist.

[0029] Wenn die Grundfläche s der geprüften Oberfläche S sich noch weiter entfernt vom Punkt O auf der Achse Y findet, wird sie nicht mehr durch den Strahl **10** ausgeleuchtet, der auf der Achse Y liegt, und das rückgestreute Licht hat eine sehr geringe Spektralbreite, wie schematisch durch die Kurve **16** der Fig. 2 dargestellt, wobei die Spektralbreite auf der Wellenlänge λi des Stahls **10** zentriert ist, der mit der Achse Y in Linie ist.

[0030] Die Spektralbreite des durch eine Grundfläche rückgestreuten Lichts erlaubt damit die Bestimmung seiner Position auf der Achse Y in Bezug auf den Konvergenzpunkt O der Beleuchtungsstrahlen.

[0031] Um ein Unbestimmtheit über die Position der Grundfläche s einerseits und des Punkts O auf der Achse Y andererseits zu vermeiden, erfordert dieses

Verfahren den Punkt O über oder unter der untersuchten Oberfläche S zu halten.

[0032] Man vermeidet diese Beschränkung, indem die in Fig. 3 schematisch dargestellte Beleuchtungsart verwendet wird, bei der die verschiedenen Beleuchtungsstrahlen **10** auf der Achse Y in unterschiedlichen Punkten konvergieren, die vorteilhafterweise entlang dieser Achse in der Reihenfolge der Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlen gestaffelt angeordnet sind, die jedoch auf der Achse in irgendeiner vorbestimmten Reihenfolge verteilt sein können.

[0033] Wenn somit λi die Wellenlänge des Beleuchtungsstrahls ist, der mit der Achse Y in Linie ist, wird die Position der Grundfläche der Oberfläche S auf der Achse Y in Bezug auf Punkt O durch die zentrale Wellenlänge bestimmt und durch die Spektralbreite des durch diese Grundfläche rückgestreuten Lichts, wie schematisch in Fig. 4 dargestellt:

– Wenn das durch die Grundfläche rückgestreute Licht die Spektralbreite hat, die schematisch durch die Kurve **18** dargestellt ist, findet sie sich im Punkt O oder in unmittelbarer Nachbarschaft desselben,

– Wenn die Spektralbreite die der Kurve **20** ist, findet sich die Grundfläche über Punkt O auf der Achse Y (wenn die Strahlen geringerer Wellenlänge die Achse Y unter dem Punkt O schneiden) und der Abstand zu 0 wird durch die Spektralbreite der Kurve **20** bestimmt,

– Wenn die Spektralbreite des durch die Grundfläche rückgestreuten Lichts Kurve **22** entspricht, findet sich diese Grundfläche unter dem Punkt O auf der Achse Y und die Spektralbreite des rückgestreuten Lichts bestimmt seinen Abstand im Hinblick auf Punkt O.

[0034] In der Praxis kann diese Abstaffelung der Schnittpunkte unterschiedlicher Strahlen entlang der Achse Y sehr leicht erhalten werden, indem man eine Linse verwendet, deren Chromatismus oder Färbung nicht korrigiert wird, wobei die chromatische Linse erlaubt, die unterschiedlichen Strahlen zwischen Punkten zu fokussieren, die entlang der Achse in der Reihenfolge der Wellenlänge verteilt sind.

[0035] Gemäß der Erfindung verwendet man die schematisch in Fig. 5 dargestellte Beleuchtungsart für die Erfassung nicht nur des Abstands einer Grundfläche in Bezug auf einen Punkt O auf der Achse Y, sondern von Abständen in Bezug auf die Achse Z von Punkten, die ein Profil in der Ebene YZ der beobachteten Oberfläche S bilden.

[0036] Man verwendet ebene Lichtfelder **24**, die unterschiedliche Wellenlängen und unterschiedliche Orientierungen haben, von denen eine (die zum Beispiel die zentrale Wellenlänge der Beleuchtung aufweist) durch die Achse Y und die Achse Z geht und von denen die anderen parallel zur Achse Z sind und dieses Feld gemäß Linien **26** schneidet, die parallel zur Achse Z sind und entlang der Achse Y in der Reihenfolge von Wellenlängen der Beleuchtung gestaffelt sind.

[0037] Beim Erfassen des Lichts, das durch die beobachtete Fläche zurück gestreut wird, in der Ebene YZ kann man nicht nur einen Abstand erfassen, der einer Position einer Grundfläche auf der Achse Y entspricht, sondern ein Profil von Punkten, die einem Schnitt der beobachteten Fläche und Ebene YZ entsprechen. Durch Relativverschiebung dieser Oberfläche entlang der Achse X kann man eine Vielzahl von Profilen der beobachteten Oberflächen erfassen und sehr schnell die Koordinaten der Punkte dieser Oberfläche im Raum XYZ abtasten.

[0038] Fig. 6 zeigt schematisch eine bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung, die im Wesentlichen Mittel **30** zur Beleuchtung der Oberfläche S eines Gegenstands **32**, ein Objektiv **34** zur Konvergenz der Beleuchtung auf der Oberfläche S, zur Aufnahme des durch die Oberfläche S rückgestreuten Lichts und zur Bildung eines Abbilds auf Mittel **36** zur Spektralanalyse, die ein Dispersionselement und geeignete Fotoempfänger **38** umfassen, und Mittel **40** zur Informationsverarbeitung umfasst, die die Fotoempfänger **39** mittels einer geeigneten Schnittstelle steuern und die Abstände von Punkten auf der Oberfläche S in Bezug auf eine Referenzebene liefern, die im rechten Winkel zur gemeinsamen Achse Y der Beleuchtung und der Aufnahme des Lichts ist.

[0039] Weiter im Detail umfassen die Beleuchtungsmittel **30** eine Lichtquelle **42**, die einen Lichtstrahl bestimmter Spektralbreite generiert, der über ein Diaphragma oder einen Schlitz **44** und eine Linse **46** gelangt, um auf ein spektrales Dispersionselement **48** zu gelangen wie zum Beispiel ein Prisma, ein Netz oder eine holographische Linse.

[0040] Der das Element **48** verlassende Strahl gelangt durch eine Sammellinse **50** und wird durch einen Spiegel **52** auf eine halbtransparente Klinge **54** weitergeleitet, die dem Objektiv **34** zugeordnet ist und den Beleuchtungsstrahl in Richtung auf die Oberfläche S über die Vorderlinse des Objektivs **34** weiterleitet.

[0041] Das durch die Oberfläche S des Objekts **32** rückgestreute Licht wird durch das Objektiv **34** in der Richtung der Achse Y eingefangen und an Mittel **36** zur Spektralanalyse unter Zwischenschaltung eines Diaphragmas oder einer Maske, in die ein Loch oder ein Spalt gebohrt ist, übermittelt, die es gestattet, auf dem Mittel **36** zur Spektralanalyse das Bild einer Grundfläche oder quasi punktuell der Oberfläche S oder eines Profils dieser Oberfläche zu bilden.

[0042] Wenn das Diaphragma **44** der Beleuchtungsmittel **30** einen Beleuchtungsstrahl mit im wesentlichen kreisförmigen Querschnitt bildet und wenn das Diaphragma oder die Maske **56** gleichermaßen eine kreisförmige Öffnung zum Lichtdurchtritt aufweist, verschiebt das Dispersionselement **58** der Mittel **36** zur Spektralanalyse die Lichtstrahlen als Funktion ihrer Wellenlänge in der Richtung der Achse X im rechten Winkel zur Achse Y und aufgenommen in der Ebene des Musters oder der Zeichnung. Die Fotoempfangsmittel **38** können durch eine lineare Leiste von Fotodetektoren gebildet sein, die in einer Linie parallel zur Achse X liegen, so dass das Ausgangssignal eines Fotodetektors der Leiste einer bestimmten Wellenlänge entspricht. Die Ausgangssignale der Fotodetektoren **38**, die durch die Mittel **40** bearbeitet werden, erlauben unmittelbar die Spektralbreite zu erhalten und die zentrale Wellenlänge des durch eine Grundfläche der Oberfläche S des Objekts **32** rückgestreuten Lichts zu erhalten und damit den Abstand dieser Grundfläche in Bezug auf eine Referenzebene im rechten Winkel zur Achse Y, in dem sie eine vorherige Eichung einer Vorrichtung mittelt, um es zu ermöglichen, Kalibrierungstabellen zu erhalten, die im Speicher der Mittel **40** zur Informationsverarbeitung registriert sind.

[0043] Die Mittel **40** können gleichermaßen zur Steuerung einer Relativverschiebung der Oberfläche S und/oder der Maske oder des Diaphragmas **56** in einer Ebene im rechten Winkel zur Achse Y zur Beobachtung aller Grundflächen verwendet werden, die die Oberfläche S zusammen bilden.

[0044] Im Beispiel, das hier beschrieben wird, liefert die Lichtquelle **42** ein kontinuierliches Lichtspektrum, bei dem die Spektralkomponenten kontinuierlich durch das Dispersionselement **48** zur Bildung der vorgenannten Lichtstrahlen **10** so verschoben sind, dass sie die Frontlinsen des Objektivs **34** auf der Achse Y in der Nachbarschaft der Oberfläche S konvergieren lassen.

[0045] Wenn alternativ die erforderliche Anzahl der Lichtstrahlen, die unterschiedliche Wellenlängen und unterschiedliche Richtungen haben, relativ gering ist, kann man die polychromatische Lichtquelle **42** und die Mittel **48** zur spektralen Dispersion durch mehrere im Wesentlichen monochromatische Lichtquellen oder Lichtquellen mit einer geringen Spektralbreite ersetzen, die unmittelbar die verschiedenen Strahlen liefern, die die unterschiedliche Wellenlängen haben.

[0046] In einer Variante, die es erlaubt die schematisch in Fig. 5 dargestellte Beleuchtungsart zu erhalten, weist das Diaphragma **44** einen schmalen Schlitz zum Lichtdurchtritt auf, der in einer Richtung gestreckt ist, die im rechten Winkel zur Ebene des Musters oder der Zeichnung ist, und ebenso weist das Diaphragma oder die Maske **56** einen schmalen Spalt zum Lichtdurchtritt auf, der sich im rechten Winkel zum Zeichenplan erstreckt.

[0047] Die Lichtempfangsmittel **38** weisen nun eine Matrix an Fotodetektoren auf, die in Reihen und in Spalten angeordnet sind, parallel zu den Achsen X bzw. Z (wobei die Achse Z im rechten Winkel zur Zeichnungsebene ist) Die Mittel **36** zur Spektralanalyse können in diesem Fall als Schlitzbildspektrometer ausgebildet sein, zugeordnet einer Matrix von Fotodetektoren.

[0048] Die Fototdetektionsmittel **38** können auch als eine lineare Dreierleiste (der Art TRICCD, zum Beispiel) ausgebildet sein, die eine Messung und einen Vergleich des Lichtstroms in drei Grundfarben des sichtbaren Spektrums erlaubt.

[0049] Wenn die Mittel **38** eine Matrix aus Fotodetektoren umfassen, die in der Ebene ZX platziert ist, kann man gleichzeitig ein Bündel von Lichtspektren erfassen, die nach Verarbeitung durch die Mittel **40** ein Profil liefern, die eine Menge von Punkten bildet, die einem Schnitt der Oberfläche S durch die Ebene YX entspricht. Es genügt dann eine Relativverschiebung der Oberfläche S zum Beispiel durch Verschiebung entlang der Achse X, um eine Gesamtheit an Profilen zu erfassen, die die Oberfläche S bilden, wobei diese Erfassung schnell sein kann. Alternativ kann die Relativverschiebung der Oberfläche S eine Rotation um die Achse Y oder eine Achse sein, die in der Ebene YZ enthalten ist. Die Kenntnis der Relativposition Oberfläche S-Vorrichtung erlaubt durch Koordinatentransformation die Koordinaten im selben Punktkoordinatensystem jedes erfassten Profils zu erhalten.

[0050] Es ist in einer vorausgehenden Phase wünschenswert, die Oberfläche durch einen Strahl zu beleuchten, in dem alle Spektralkomponenten der Beleuchtung gemischt (und nicht mehr verstreut) sind. Das lässt sich zum Beispiel auf einfache Weise dadurch machen, dass man den durch die Quelle **42** generierten Lichtstrahl nicht durch die Dispersionsmittel **48** gelangen lässt. In diesem Fall wird das durch die Oberfläche S rückgestreute Licht eingefangen und übermittelt, wie es an den Fotodetektoren **38** eingeht, wobei die Ausgangssignale Referenzsignale liefern, die in den Mitteln **40** zur Informationsverarbeitung gespeichert werden, um die Messungen unempfindlich auf Variationen von Spektralantworten der Oberfläche S (infolge der Farbe und von Variationen der Farbe dieser Oberfläche) und auch auf Langzeitvariationen der Beleuchtungsmittel zu machen.

[0051] Kalibrierungstabellen, erhalten durch Verschiebung eines Objekts bekannter Form, und Speicherung der an verschiedenen Punkten entlang der Achse Y erhaltenen Signale, erlauben die Abstände von Punkten von der Oberfläche eines Objekts an

Hand von Informationen von Wellenlänge und durch die Fotoempfänger **38** gelieferter Spektralbreite zu bestimmen.

[0052] In einer Ausführungsform der Erfindung weisen die Beleuchtungsmittel **30** eine Bogenlampe oder eine Halogenlampe auf, die zwischen einem Sammelspiegel und einem Kondensor platziert ist und über den Eintrittsschlitz **44** ein Diffraktionsnetz beleuchtet, zum Beispiel ein sphärisches holographisches Netz auf ebenem Feld.

[0053] Die Mittel zur Analyse **36** weisen dieselbe Art von Diffraktionsnetz auf, das den Fotoempfängern CCD zugeordnet ist.

[0054] Das Objektiv **34** bildet das Bild des durch die Mittel **36** gelieferten Spektrums und das weiße Bild des Netzes **48** im Messraum ab, wobei die Bilder dieselbe Höhe haben und den Messraum begrenzen. Diese Ausführungsform erlaubt die Messung von Profilen, die eine Länge im Bereich von 20 mm mit einer nutzbaren Feldtiefe im Bereich von 30 mm haben. Mit einer Standard CCD-Kamera werden die Profile mit einer Auflösung von ungefähr 40 µm bemustert. Die Messgenauigkeit des Abstands jedes Punkts ist im Bereich von 1 µm.

[0055] Eine bevorzugte Ausführungsform der Beleuchtungsmittel dieser Vorrichtung ist in Fig. 7 dargestellt (der Einfachheit halber sind der Umlenkspiegel **52** und die halbtransparente Klinge **54** nicht dargestellt). In dieser Ausführungsform ist die Linse **46** eine Linse oder ein chromatisches optisches System, bei dem der Brennweitenabstand kontinuierlich mit der Wellenlänge variiert, und das Dispersionselement **48** der Fig. 6 ist weggelassen. Die unterschiedlichen Wellenlänge der Lichtstrahlen der Beleuchtung, die durch den Schlitz der Maske oder des Diaphragmas **44** gelangen, sind in unterschiedlichen Punkten auf der Beleuchtungsachse fokussiert, wie es schematisch in Fig. 7 illustriert ist, wobei die durchgezogenen Striche B die Fokussierung von Wellenlängen darstellen, die Blau entsprechen, und die gestrichelten Linien R die Fokussierung von Wellenlängen darstellen, die Rot entsprechen, wobei der Abstand zwischen den Punkten der Fokussierung von extremen Wellenlängen der Beleuchtung der nutzbaren Feldtiefe entsprechen.

[0056] Um effizient zu sein, muss das durch die Linse **46** schematisierte chromatische optische System eine starke Öffnung haben und eine gute monochromatische Bildqualität bewahren. In der Praxis kann dies zur Konsequenz haben, dass die nutzbare Feldtiefe beschränkt wird.

[0057] Die Erfindung schlägt zudem vor, ein optisches System **60**, zum Beispiel ein afokales, zur Vergrößerung G dem optischen System **46** zuzuordnen, was zum Effekt hat, dass die Feldtiefe mit G^2 multipliziert wird (wobei G zum Beispiel gleich 4 ist). Die Linsen dieses optischen Systems haben geringe Durchmesser beschränkt auf die Dimension der zu beleuchtende Zone auf der vorgenannten Oberfläche S.

[0058] Gegebenenfalls ist das afokale System **60** durch die Linse **50** und das Objektiv **34** der Ausführungsform der Fig. 6 gebildet.

[0059] Wenn eine große spektrale Diskriminierung oder Unterscheidung erforderlich ist, kann man vorteilhafterweise eine Maske **62** nach der Linse **46** auf der optischen Achse anordnen, wobei sich diese Maske zum Beispiel parallel zum Beleuchtungsspalt erstreckt. Die Maske **62** erlaubt eine Abdeckung der zentralen Lichtstrahlen, wodurch eine zu beträchtliche chromatische Mischung in der Beleuchtung der Oberfläche S vermieden wird.

[0060] In dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung und wenn die Materialien der chromatischen Linse **46** und des Dispersionselements **58** der Mittel zur Analyse **36** dieselben spektralen Trenneigenschaften haben, genügt es, die zentrale Wellenlänge des durch einen Punkt der Oberfläche S zurückgestreuten Lichts zu kennen, um die Position dieses Punkts im Hinblick auf die Referenzebene zu bestimmen, und es ist nicht erforderlich, die Spektralbreite dieses Lichts zu messen (wobei die vorgenannte zentrale Wellenlänge die ist, für die die Lichtintensität maximal ist). Die Ausgangssignale von Fotodetektoren **38** erlauben dann eine unmittelbare Bestimmung dieser zentralen Wellenlängen.

[0061] Mangels dessen kann sich die Analyse auf die Bestimmung der zentralen Wellenlänge und der Breite des zurückgestreuten Lichts abstützen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur optoelektrischen Erfassung der Form einer Oberfläche, das darin besteht, diese Oberfläche (S) durch Lichtstrahlen (**24**) zu beleuchten, die unterschiedliche Wellenlängen aufweisen und die in einer axialen Beleuchtungsrichtung (Y) zu unterschiedlichen Punkten konvergieren, die entlang dieser Richtung verteilt sind, das durch mindestens einen Punkt der durch die genannten Strahlen (**24**) beleuchteten Oberfläche reflektierte oder zurückgestreute Licht einzufangen, das eingefangene Licht spektral zu analysieren und aus seiner spektralen Zusammensetzung die Entfernung des genannten Punktes in Bezug auf eine Referenzebene (X, Z) abzuleiten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlen (**24**) ebene Lichtfelder (**24**) sind, die sich auf zueinander parallelen und im Wesentlichen zur mittleren Beleuchtungsrichtung senkrechten Linien (**26**) schneiden, zur Bestimmung der Entfernung eines

Profils der Oberfläche (S) in einer durch die mittlere Beleuchtungsrichtung definierten Ebene und einer Parallele zu den Schnittlinien (**26**) der Lichtfelder (**24**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das durch die Oberfläche reflektierte oder zurückgestreute Licht in einer Richtung (Y) aufgefangen wird, die ungefähr mit der mittleren Beleuchtungsrichtung zusammenfällt und im Wesentlichen senkrecht zur Referenzebene (X, Z) ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es darin besteht, die Entfernung von Punkten des genannten Profils der Oberfläche (S) in Bezug auf die Referenzebene ausgehend von der Spektralbreite und/oder der zentralen Wellenlänge des eingefangenen Lichts abzuleiten.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsstrahlen (**10**) in der axialen Beleuchtungsrichtung (Y) in der Reihenfolge der Wellenlänge der Strahlen zu unterschiedlichen Punkten konvergieren, die in dieser Richtung verteilt sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es darin besteht, die Beleuchtungsstrahlen (**10**) in einen einzigen Strahl zu vermischen, die Oberfläche (S) durch diesen einzigen Strahl zu beleuchten, das von dieser Oberfläche reflektierte oder zurückgestreute Licht einzufangen und spektral zu analysieren und die Ergebnisse zu speichern, um dann den Einfluss der Farben und der Farbveränderungen der Oberfläche und Langzeitveränderungen der Beleuchtung zu eliminieren.

6. Vorrichtung zur optoelektrischen Erfassung der Form einer Oberfläche umfassend Mittel (**30**) zur Beleuchtung der Oberfläche (S) mit Lichtstrahlen, die unterschiedliche Wellenlängen aufweisen und die in einer axialen Beleuchtungsrichtung (Y) zu unterschiedlichen Punkten konvergieren, die entlang dieser Richtung verteilt sind, Mittel (**34**) zum Einfangen des durch die Oberfläche reflektierten oder zurückgestreuten Lichts in einer gegebenen Richtung (Y) und Mittel (**36**, **38**) zur spektralen Analyse des eingefangenen Lichts, verbunden mit Mitteln (**40**) zur Verarbeitung der Information zur Bestimmung der Entfernungen von Punkten der Oberfläche in Bezug auf eine Referenzebene, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlen ebene Lichtfelder (**24**) sind, die sich auf zueinander parallelen und im Wesentlichen zur mittleren Beleuchtungsrichtung senkrechten Linien (**26**) schneiden, zur Bestimmung der Entfernung eines Profils der Oberfläche (S) in einer durch die mittlere Beleuchtungsrichtung definierten Ebene und einer Parallele zu den Schnittlinien (**26**) der Lichtfelder (**24**).

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsmittel (**30**) eine polychromatische Lichtquelle (**42**) mit bestimmter Spektralbreite umfassen, die durch einen Spalt ein spektrales Dispersionselement (**48**) beleuchten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das spektrale Dispersionselement der Beleuchtungsmittel eine chromatische Linse (**46**) ist, deren Brennweitenabstand sich kontinuierlich mit der Wellenlänge verändert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die chromatische Linse (**46**) einem optischen Vergrößerungssystem (**60**) zugeordnet ist, zum Beispiel einem afokalen, um die Tiefe des verwendbaren Feldes zwischen den extremen Wellenlängen der Beleuchtung zu steigern.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Maske (**62**) auf die optische Achse der Beleuchtungsmittel (**30**) platziert ist, zum Beispiel nach der chromatischen Linse (**46**), um die zentralen Beleuchtungsstrahlen abzudecken.

11. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsmittel (**30**) mehrere Lichtquellen mit geringer Spektralbreite umfassen und die unterschiedliche zentrale Wellenlängen aufweisen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (**36**) zur Spektralanalyse ein spektrales Dispersionselement (**58**) umfassen, wie ein Prisma oder Analoges in Verbindung mit photosensiblen Einfangvorrichtungen (**38**) mit Linear- oder Matrixdisposition.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (**36**) zur Spektralanalyse eine lineare Dreierleiste von Photodetektoren für die Messung und den Vergleich von Lichtströmen in drei Grundfarben umfassen.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Objektiv (**34**) zur Beleuchtung der Oberfläche (S) mit den genannten Strahlen und zum Aufnehmen des von der Oberfläche reflektierten oder zurückgestreuten Lichts umfasst, wobei diesem Objektiv eine Maske oder ein Diaphragma (**56**) zugeordnet ist, das einen Spalt für den Lichtdurchtritt umfasst, der eine Beobachtungszone der beleuchteten Oberfläche (S) abgrenzt, und steuerbare Mittel für die relative Verschiebung der Oberfläche (S) und der Maske oder des Diaphragmas (**56**).

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

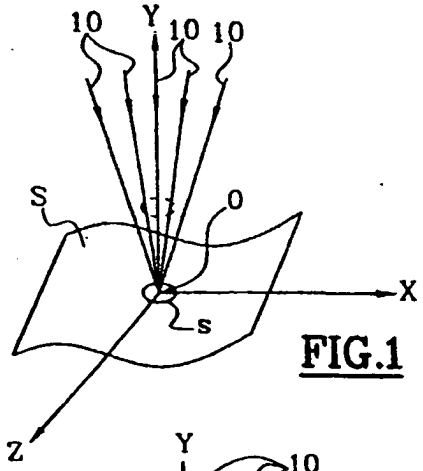


FIG.1

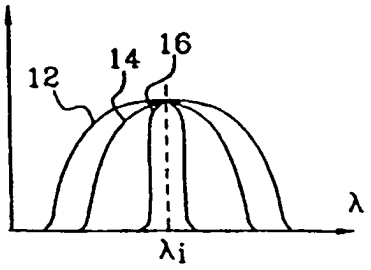


FIG.2

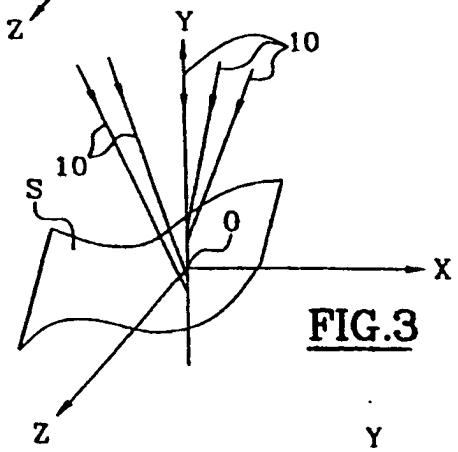


FIG.3

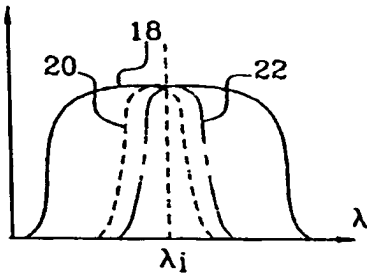


FIG.4

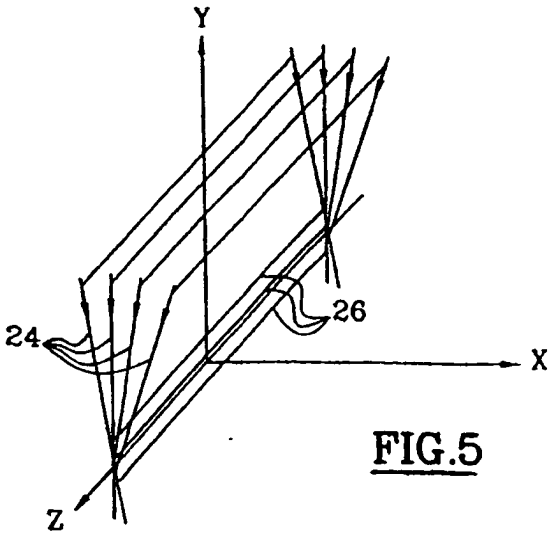


FIG.5

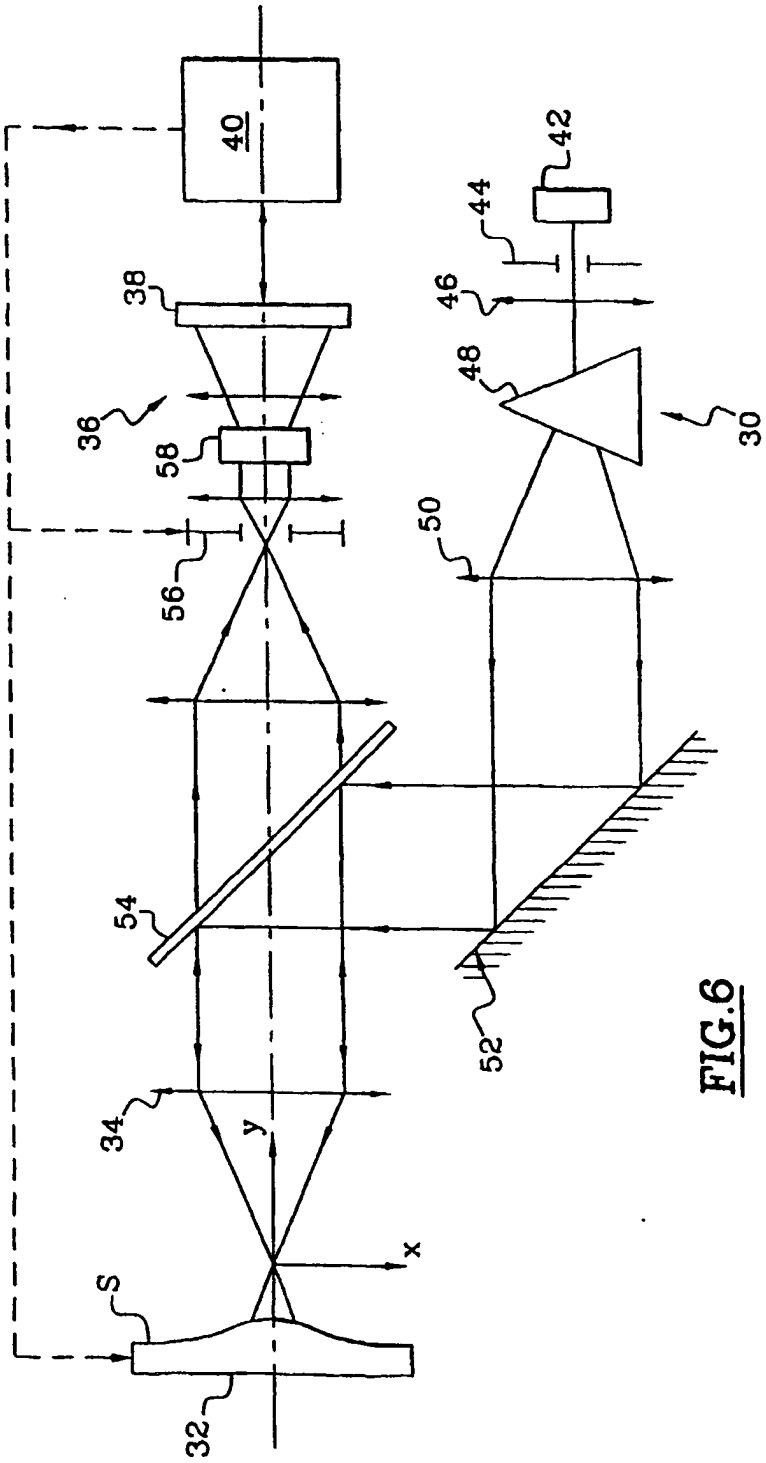


FIG.6

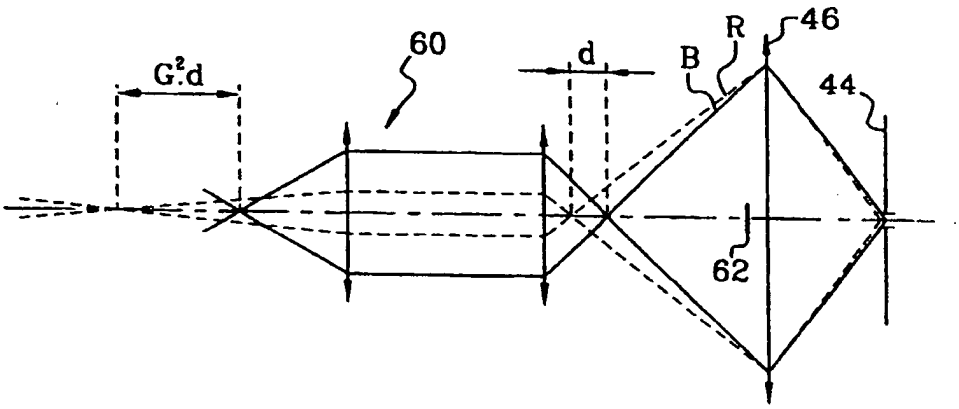


FIG.7