



(10) **DE 10 2017 007 590 B4** 2019.06.06

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 007 590.5**
(22) Anmeldetag: **11.08.2017**
(43) Offenlegungstag: **14.02.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.06.2019**

(51) Int Cl.: **G01B 11/25 (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).

(73) Patentinhaber:
Baumer Inspection GmbH, 78467 Konstanz, DE

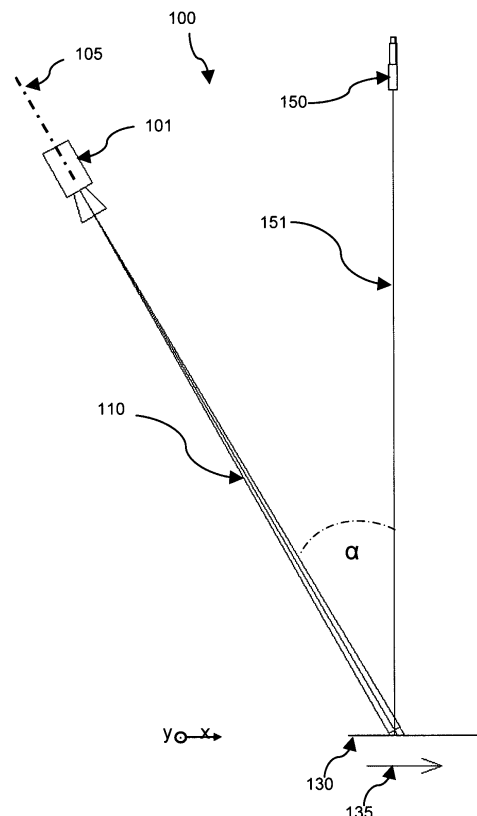
(72) Erfinder:
Diehl, Hans-Peter, 78464 Konstanz, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 007 194	A1
GB	2 325 300	A
GB	2 264 602	A
WO	94/ 15 173	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung von dreidimensionalen Objekten auf Basis des Lichtschnittverfahrens**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung (300) zur Erfassung eines dreidimensionalen Objektes auf Basis des Lichtschnittverfahrens umfassend;
eine Strahlquelle (350) zur Erzeugung eines Lichtstrahles (351),
eine Sensoreinheit (301) zur Erfassung wenigstens eines Teils des von dem Objekt (336) zurückgestrahlten Lichtstrahles aus wenigstens zwei verschiedenen Betrachtungswinkeln (β_1 , β_2),
wobei das Sichtfeld (313) der Sensoreinheit (301) auf wenigstens zwei voneinander getrennte Erfassungsbereiche (310, 320) reduzierbar ist;
wobei in jeden Erfassungsbereich (310, 320) wenigstens eine Umlenkanordnung (340) positionierbar ist, um den ersten Erfassungsbereich (310) und den zweiten Erfassungsbereich (320) in Richtung der optischen Achse (305) der Sensoreinheit (301) auf den von dem Lichtstrahl (351) beleuchtbaren Messbereich (355) umzulenken, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkanordnung (340) derart ausgebildet ist, die zur optischen Achse (305) gelenkten Erfassungsbereiche (312, 322) jeweils so zu neigen, dass eine Schärfeebene (325) des ersten und eine Schärfeebene (325) des zweiten Erfassungsbereiches in die vom Lichtstrahl (351) beleuchtbare Objektebene jeweils gedreht werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Messtechnik von dreidimensionalen Objekten, insbesondere auf das Laserschnittverfahren. Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erfassung von dreidimensionalen Objekten auf Basis des Lichtschnittverfahrens.

Technologischer Hintergrund

[0002] Es ist bekannt, Objekte auf optische Weise zu vermessen indem 2D bzw. 3D Aufnahmen erstellt werden. Zur räumlichen Erfassung von Objekten ist unter anderem das Lichtschnittverfahren bzw. Triangulationsverfahren bekannt. Mit diesem optischen Messverfahren können Objekte mehrdimensional vermessen werden und dreidimensionale Koordinatenoberflächen erfasst werden. Mit Hilfe einer optischen dreidimensionalen Messtechnik kann beispielsweise eine mehrdimensionale Qualitätskontrolle durchgeführt werden. Die Anwendungsgebiete der 3D-Kontrolle reichen von der Qualitätskontrolle bis hin zur Automatisierung von Fertigungs- und Prüfprozessen. Profil- und Konturmessungen können vorteilhaft im laufenden Fertigungsprozess von endlos produzierten Erzeugnissen (Extrusion, Walzen, Ziehen, etc.) oder von einzelnen Teilen (Stückgut) eingesetzt werden.

[0003] Fig. 1a zeigt eine herkömmliche Vorrichtung **100** zur dreidimensionalen Objekterfassung auf Basis des Lichtschnittverfahrens umfassend eine Strahlquelle **150** und eine Sensoreinheit **101**. Beim Einsatz des Lichtschnittverfahrens wird ein in der z-y-Ebene fächerartig aufgeweiteter Lichtstrahl **151** (in Fig. 1 verläuft die y-Achse senkrecht zur Bildebene) im Wesentlichen senkrecht auf eine Objektträgerebene **130** von der Strahlquelle **101** in einem Projektionswinkel projiziert. In Standardsystemen werden als Strahlquelle **150** vorzugsweise Laser verwendet, die zu einem sogenannten Linienfächer geformt werden. Dabei wird ein punktförmiger Laserstrahl durch spezielle Linsen zu einer Linie entlang der y-Achse ausgeweitet. Für das Lichtschnittverfahren gibt es je nach Anwendung unterschiedliche Messanordnungen.

[0004] Fig. 1a bis Fig. 1c zeigt eine übliche Anordnung, wobei der Lichtstrahl senkrecht zu dem zu vermessenden Objekt angeordnet ist und die optische Achse **105** der Sensoreinheit **101** in einem von dem Projektionswinkel des Lichtstrahls **151** bzw. der Laserstrahlachse verschiedenen Winkel α positioniert ist. Auf diese Weise kann das Sichtfeld **110** Licht aufnehmen, das von einer Oberfläche eines zu vermessenden Objektes reflektiert wird.

[0005] Die Sensoreinheit **101** registriert abhängig von dem Messobjekt eine Verformung eines auf die Objektoberfläche **132** projizierten Lichtstrahls **151**.

Aus den bekannten ebenen Koordinaten des Laserstrahles (z_0) und der gemessenen Höhe des Auftreffpunktes des Lichtstrahls **151** auf der Objektoberfläche (z-Achse), kann die Position der Messpunkte entlang des Lichtstrahls **151** bzw. der Laserlinie (y-Achse) berechnet werden. D.h. es können Höhenprofile eines Meßobjektes aus der Abweichung der Laserlinie von der Referenzhöhe z_0 der Objektträgerebene **130** gewonnen werden. Bei einem bewegten Messobjekt oder einem bewegten Sensor kann ein 3D-Abbild des zu vermessenden Objekts berechnet werden.

[0006] In der Messanordnung nach den Fig. 1 a-c wird das zu vermessende Objekt **136** mit Hilfe einer nicht gezeigten Fördervorrichtung in Richtung des Pfeiles **135** parallel zur x-Richtung transportiert, um 3D Bilder gewinnen und somit dreidimensionale Ortskoordinaten der Objektoberfläche ermitteln zu können.

[0007] Fig. 1b und c zeigt als Anwendungsbeispiel ein sich auf der Objektträgerebene **130** in Transportrichtung **135** bewegendes Objekt **136**. Das zu vermessende Objekt **136** ist in dem gezeigten Beispiel eine Platte mit einer flachen Oberfläche **132** parallel zur Objektträgerebene **130** und zwei abgerundeten Kanten **131** und **132**. In Fig. 1b wurde das zu vermessende Objekt **136** mit Hilfe der beweglichen Objektträgerebene **130** senkrecht unterhalb der Strahlenquelle **150** d.h. in den Lichtstrahl **151** so positioniert, dass die Höhe z_1 zu Beginn der abgerundeten Kante **131** im Vergleich zur Nullhöhe z_0 der Objektträgerebene **130** gemessen werden kann. Die gesamte Kante **131** liegt in dem Sichtfeld **110** der Sensoreinheit, die als Flächensensor mit einem mit einem X,Y Array und einer Ausdehnung x_1 bis x_n in x-Richtung ausgebildet ist. Bei Weitertransport des Objektes **136** in x-Richtung bzw. in Richtung des Pfeiles **135** kann die Kante **131** weiter vermessen werden, solange der Lichtstrahl **151** bzw. Laser die zu vermessende Objektfläche beleuchtet.

[0008] Das oben beschriebene Lichtschnittverfahren ist jedoch mit mehreren Nachteilen verbunden. Zum einen kann bei herkömmlichen Bilderfassungstechniken die Schärfentiefe der Sensoreinheit nicht immer gewährleistet werden. Insbesondere bei größeren Höhenbereichen können zwei Messpunkte einen so unterschiedlichen Abstand von der Sensoreinheit haben, dass sie nicht mehr gleichzeitig scharf gestellt werden können. Für die Messgenauigkeit ist es jedoch notwendig die vom Lichtstrahl markierte Objektenebene mit maximaler Schärfe abzubilden und die Schärfenebene in die Messebene zu bringen.

[0009] Zum anderen besteht das Problem von Fehlmessungen in Folge von Abschattungen bzw. Okklusion. Hat ein zu vermessendes Objekt Fasen oder wie das Objekt **136** abgerundete Kanten/Radien,

dann sind mit dem konventionellen Lichtschnittverfahren die Oberfläche und die dazugehörigen Fasen / Radien nicht vollständig erfassbar. **Fig. 1c** verdeutlicht das Problem für die Messanordnung der **Fig. 1a**, dass nicht für alle Bereiche des Objektes **136** gültige Höhenprofile bzw. 3D-Messwerte erzeugt werden können. Bei dem gezeigten Objekt **136** kann die Sensoreinheit **101** mit dem Sichtfeld **110** die zweite Kante **133** des Objektes nicht sehen, da die Krümmung (siehe auch Radius r) steiler ist als der Blickwinkel **111**. Mit anderen Worten: die Sensoreinheit **101** bzw. das Sichtfeld **110** der Flächenkamera mit einem X, Y Array kann den Radius nicht vollständig sehen. Es liegt eine Abdeckung bzw. eine sogenannte Okklusion vor.

[0010] Dem Problem nicht sichtbarer oder nicht vollständig ausgeleuchteter Bereiche wird im Stand der Technik damit begegnet, dass entweder mehrere Strahlenquellen und/oder mehrere Sensoreinheiten verwendet werden.

[0011] **Fig. 2a** zeigt ein Beispiel einer bekannten Messanordnung mit einer einzelnen Sensoreinheit **201**, die ein Sichtfeld **210** und eine optische Achse **205** aufweist. Bei dem dargestellten Verfahren erfolgt die Messung wie bei **Fig. 1 a-c** nach dem Prinzip des Laserschnittverfahrens. Anders als in **Fig. 1** werden in **Fig. 2** beidseitig der optischen Achse **205** je eine Strahlquelle **250** bzw. **255** angeordnet, die jeweils einen Lichtstrahl **251** bzw. **252** ausstrahlen können. In **Fig. 2a** weisen die Lichtstrahlen **251**, **252** einen definierten Winkel α zur optischen Achse **205** der Sensoreinheit **201** auf, damit ein in die Lichtstrahlen **251** bzw. **252** transportiertes Objekt **236** von zwei Seiten beleuchtet werden kann.

[0012] **Fig. 2b** zeigt eine Detailansicht der Messanordnung von **Fig. 2a** auf Höhe der Objektträgerebene **230**, die senkrecht zur optischen Achse **205** der Sensoreinheit **201** in Richtung des Pfeils **235** bewegt werden kann. Durch die Mehrzahl an Strahlquellen kann die Schwierigkeit überwunden werden, dass das Objekt **236** nicht vollständig ausgeleuchtet bzw. von einer Sensoreinheit **201** erfasst werden kann. Mit Hilfe von zwei Strahlquellen **250** und **255** kann nicht nur der Bereich der Kante **231** sondern auch der der zweiten Kante **233** des Objektes **236** beleuchtet und anschließend von der Sensoreinheit **201** erfasst werden. Da die beiden Auswertebereiche nicht den gleichen Ort erfassen, müssen die beiden Messwerte für einen Ortspunkt aufwändig zur Deckung gebracht werden.

[0013] Um das Problem von nicht sichtbaren Bereichen oder von nicht ausreichend ausgeleuchteten Bereichen zumindest zum Teil zu überwinden, können anstelle von zwei Strahlquellen **250** und **255** - wie in **Fig. 2 a-b** gezeigt - auch mehrere Sensoreinheiten **201** mit einer Strahlquelle **250** oder mehre-

ren Strahlquellen **250**, **255** konfiguriert werden. Auch hier müssen die beiden Messwerte aufwändig zur Deckung gebracht werden.

[0014] Aus der Druckschrift DE 10 2007 007 194 A1 ist eine Messanordnung und ein Verfahren zum Vermessen einer dreidimensionalen ausgedehnten Struktur bekannt. Hierzu wird ein optischer Sensor verwendet, der einen sich quer zur optischen Achse erstreckenden Messbereich aufweist. Die gezeigte Messanordnung umfasst mehrere Spiegel, die den Messbereich des Sensors zunächst über einen oder mehrere Spiegel in mindestens zwei divergierende Bereiche aufteilt und die divergierenden Bereiche über einen oder mehrere weitere Spiegel wieder derart zusammenführt, dass sich die Bereiche in einem Messfeld schneiden, wobei in dem Messfeld eine Vermessung der dreidimensional ausgedehnten Struktur erfolgt.

Beschreibung der Erfindung

[0015] Auf Grundlage der vorliegenden Erfindung sollen die oben genannten Nachteile von bekannten Messanordnungen und Bilderfassungstechniken reduziert werden.

[0016] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren für das Lichtschnittverfahren zur Erfassung von dreidimensionalen Objekten bereitzustellen, wodurch bekannte Probleme der Bilderfassung minimiert bzw. gelöst werden können.

[0017] Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, fehlende oder nicht sichtbare bzw. ausleuchtbare Bereiche zu minimieren und sowohl die Vorderkante als auch die Hinterkante eines Objektes erfassen zu können. Wenn möglich sollen alle Teile eines zu messenden Objektes erfasst werden und eine Okklusion vermieden werden.

[0018] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, die Schärfentiefe einer Sensoreinheit bzw. einer Kamera zu optimieren und die Schärfenebene auf einfache Weise in die Messebene zu bringen.

[0019] Schließlich sollen die genannten Aufgaben kostengünstig gelöst werden. In anderen Worten ist es eine weitere Aufgabe, ein System bereitzustellen mit möglichst wenigen Komponenten, wobei möglichst niedrige Investitions- und Betriebskosten entstehen.

[0020] Die Lösung dieser Aufgaben erfolgt gemäß den unabhängigen Ansprüchen. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte und zweckmäßige Weiterbildungen angegeben.

[0021] Erfindungsgemäß ist eine Vorrichtung zur Erfassung eines dreidimensionalen Objektes auf Basis des Lichtschnittverfahrens vorgesehen, die eine Strahlquelle zur Erzeugung eines Lichtstrahles und eine Sensoreinheit zur Erfassung wenigstens eines Teils des von dem Objekt zurückgestrahlten Lichtstrahles aus wenigstens zwei verschiedenen Betrachtungswinkeln umfasst. Dabei kann das Sichtfeld der Sensoreinheit auf wenigstens zwei voneinander getrennte Erfassungsbereiche reduziert werden. Weiterhin ist für jeden definierten Erfassungsbereich wenigstens eine Umlenkanordnung so positionierbar, dass jeweils der erste Erfassungsbereich und der zweite Erfassungsbereich in Richtung der optischen Achse der Sensoreinheit auf den von dem Lichtstrahl beleuchtbaren Messbereich umgelenkt werden.

[0022] Ein Kerngedanke der vorliegenden Erfindung ist es, eine Sensoreinheit, die vorzugsweise als Flächen- oder Matrixkamera ausgebildet ist, derart auszugestalten, dass das Sichtfeld der Sensoreinheit in Erfassungsbereiche bzw. Regions of Interest „ROIs“ eingeteilt wird. Ein solches Vorgehen hat den Vorteil, dass das Sichtfeld auf kleinere Erfassungsbereiche reduziert werden kann. Auf diese Weise kann bei der Auswertung des definierten Erfassungsbereiches bzw. Bildausschnitts die Bildrate der Sensoreinheit erhöht werden. In anderen Worten je kleiner der erste bzw. der zweite Erfassungsbereich gewählt wird, umso mehr Höhen-Profile pro Sekunde können erzeugt werden. Vorzugsweise werden der erste und zweite Erfassungsbereich gleich groß gewählt, so dass sie beide gleichzeitig bei gleichermaßen erhöhter Geschwindigkeit verarbeitet werden können.

[0023] Eine weitere Kernidee der Erfindung ist es, durch Auswahl der geeigneten Optik und Umlenkanordnung nur eine einzige Sensoreinheit und einzige Strahlquelle bereitstellen zu können und damit die Probleme der herkömmlichen Bilderfassungstechniken zu reduzieren oder zu überwinden. Durch die Definition von zwei Erfassungsbereichen in Kombination mit der Umlenkanordnung kann das zu vermessende Objekt von zwei verschiedenen Betrachtungswinkeln (β_1 , β_2) erfasst werden, ohne zwei Sensoreinheiten zu benötigen. Auf diese Weise können die Kosten einer zweiten Sensoreinheit eingespart werden. Anstelle einer zweiten Sensoreinheit ist es lediglich notwendig eine Umlenkanordnung aus einem oder mehreren Spiegeln bereitzustellen.

[0024] Durch die Umlenkanordnung kann ein Lichtstrahl, der im Messbereich von dem zu vermessenden Objekt in Richtung des ersten Erfassungsbereiches bzw. zweiten Erfassungsbereiches reflektiert wird, jeweils als Beobachtungsstrahl in die vordefinierten Bereiche der Sensoreinheit einfallen.

[0025] Eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist gekennzeichnet da-

durch, dass die Umlenkanordnung für jeden Erfassungsbereich einen ersten Spiegel umfasst, der den jeweiligen Erfassungsbereich von der optischen Achse des Sensors radial nach außen lenkt, und einen zweiten Spiegel, der den nach außen gelenkten Erfassungsbereich zur optischen Achse auf den Messbereich lenkt.

[0026] Die eingesetzten Spiegel können verschiedene Ausgestaltungen haben. Erfindungsgemäß werden Vorderflächenspiegel bevorzugt. Die Kosten können gering gehalten werden, wenn einfache Ausführungsformen verwendet werden wie plane Flächenspiegel. Es können aber auch andere Formen wie Ausschnitte aus Kegeln, Kugeln, Ellipsoiden oder ähnliche gewölbte Formen verwendet werden. Die Wahl der geeigneten Spiegeloberfläche oder ob beispielsweise die ersten Spiegel beider Erfassungsbereiche als ein Spiegel zusammengefasst werden können, hängt in der Regel von der Anwendung ab.

[0027] Erfindungsgemäß sieht die Vorrichtung vor, dass die Umlenkanordnung so ausgebildet ist, dass die zur optischen Achse gelenkten Erfassungsbereiche jeweils so geneigt werden, dass die jeweilige Schärfenebene in die vom Lichtstrahl beleuchtbare Objektebene gedreht wird.

[0028] Auf diese Weise kann von zwei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln jeweils ein scharfes 2D-Bild des Objekts bzw. von dem am Objekt reflektierten Lichtstrahl gewonnen werden. Im Lichtschnittverfahren wird dabei die Schärfenebene in die Lichtebe- bzw. Laserebene gedreht, die von dem Lichtfächer entlang des Messbereiches aufgespannt wird.

[0029] Eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, dass beide Schärfenebenen um 90° drehbar sind und die beiden Schärfenebenen zumindest näherungsweise ko- inzidieren.

[0030] Das heißt die jeweilige Schärfenebene des ersten bzw. des zweiten Erfassungsbereiches wird von der ursprünglichen Position, die bestehen würde, wenn keine Umlenkanordnung bereitgestellt wird, um 90° gedreht. Dabei erstrecken sich beide Erfassungsbereiche und darin verlaufende Beobachtungsstrahlen von dem zu vermessenden Objekt zu dem jeweils nächstliegenden Spiegel vorzugsweise in dem gleichen Winkel bezüglich der optischen Achse der Sensoreinheit, die damit gleichzeitig eine Symmetrieachse ist.

[0031] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Sensoreinheit einen zweidimensionalen Pixelarray auf.

[0032] Die Sensoreinheit weist einen zweidimensionalen Flächensensor auf, der als Matrixdetektor aus-

gebildet sein kann. Der Matrixsensor kann als CMOS- oder CCD-Sensor ausgestaltet sein. Bei CMOS basierten Sensoren kann vorteilhafterweise eine Anzahl von Spalten zu einem Ausgang zusammengefasst werden und die Bildrate dadurch erhöht werden. Ein weiterer Vorteil der CMOS Technologie ist, dass bei Reduktion auf Erfassungsbereiche oder ROIs auf einzelne Pixelbereiche zugegriffen und damit die Bildrate und Geschwindigkeit erhöht werden kann.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erstreckt sich der erste Erfassungsbereich des Pixelarrays in einem X-Y Koordinatensystem entlang der Y-Achse, die sich im Wesentlichen senkrecht zur optischen Achse der Sensoreinheit erstreckt bei wenigstens einer ersten X- Koordinate. Weiterhin erstreckt sich der zweite Erfassungsbereich entlang der Y-Achse bei einer von der ersten X-Koordinate verschiedenen X-Koordinate.

[0034] Durch die Wahl von verschiedenen, voneinander getrennten X-Koordinaten sind die Erfassungsbereiche voneinander beabstandet und begrenzen damit einen nicht genutzten zentralen Bereich. Dabei sind die Erfassungsbereiche bevorzugt dezentrale Randbereiche des Sichtfeldes.

[0035] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erstrecken sich der erste und der zweite Erfassungsbereich des Pixelarrays mit jeweils einer rechteckigen Form, wobei die voneinander getrennten rechteckigen Erfassungsbereiche einen flächenmäßig größeren nicht genutzten Bereich des Sichtfeldes beidseitig begrenzen.

[0036] Die rechteckig geformten Erfassungsbereiche bestehen aus einer Mehrzahl von nebeneinander liegenden X-Koordinaten in X- Richtung und umfassen bevorzugt alle Pixel der Y-Achse, um eine Lichtstrahl der als Lichtlinie entlang der Y-Achse aufgeweitet ist, optimal erfassen zu können.

[0037] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die zur optischen Achse gelenkten Erfassungsbereiche subpixelgenau mittels Einstellung der jeweiligen Umlenkanordnung aufeinander justierbar.

[0038] Durch genaues mechanisches Justieren der für die Erfassungsbereiche verwendeten Spiegel der Umlenkanordnung, können sich die beiden Erfassungsbereiche bzw. Bildausschnitte auf Höhe der Objektebene schneiden bzw. koinzidieren. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass die Höhenwerte des Objektprofils, die in beiden Erfassungsbereichen vermessen werden, auf einfache Weise miteinander verwendet werden können. Dies kann vorteilhaft bei der Auswertung der Messdaten genutzt werden.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Erfassungsbereiche derart voneinander getrennt angeordnet, dass in dem nicht genutzten Bereich des Sichtfeldes ein Umlenkelement für die außerhalb des Sichtfeldes angeordneten Strahlquelle so positionierbar ist, dass der Lichtstrahl der Strahlquelle mit der optischen Achse der Sensoreinheit zusammenfällt.

[0040] Erfindungsgemäß weist die Vorrichtung eine Auswerteeinheit auf, die dazu ausgelegt ist zweidimensionale und/oder dreidimensionale Daten des zu vermessenden Objektes auf Basis von erfassten Messdaten wenigstens eines Erfassungsbereiches für das Objekt zu erzeugen.

[0041] Die erfindungsgemäße Auswerteeinheit ist zur Bildverarbeitung geeignet und wertet, die von der Sensoreinheit erhaltenen Bilddaten aus. Die Mess- bzw. Bilddaten für die definierten Erfassungsbereiche können bei Verwendung einer geeigneten Sensoreinheit, die eine integrierte CPU oder ein FPGA (field-programmable-gate array) oder ähnliches aufweist, in der Sensoreinheit selbst ausgelesen werden und/oder an einen externen Rechner zur Auswertung übertragen werden.

[0042] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die die Sensoreinheit und/oder die Auswerteeinheit eine Eingabeeinheit zur Definitionseingabe von Erfassungsbereichen auf.

[0043] Dabei wird bevorzugt, wenn die Sensoreinheit so viele Funktionen wie möglich in sich vereinen kann, da damit eine kompakte Bauweise erreicht wird und auf externe Geräte verzichtet werden kann. Durch die Verwendung von mit CPU oder FPGA ausgestatteten Sensoreinheiten bzw. Kameras können nicht nur Eingaben von Erfassungsbereichen, Datenerfassung und Speicherung der Daten gewährleistet werden sondern auch die Auswertung der Daten.

[0044] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Objekt relativ zur Sensoreinheit bewegbar.

[0045] Es ist dabei unbedeutend, ob die Messanordnung oder das Objekt verschoben wird solange eine Relativbewegung gewährleistet wird. Um das Objekt zu bewegen kann vorzugsweise eine bewegbare Objektträgerenebene vorgesehen sein, die die zu vermessenden Objekte relativ zur Sensoreinheit bewegen. Durch die Relativbewegung können nach dem allgemein bekannten Lichtschnittverfahren dreidimensionale Profile oder ein 3D Abbild des zu vermessenden Objektes erzeugt werden.

[0046] Weiterhin wird erfindungsgemäß ein Verfahren zum Erfassen eines dreidimensionalen Objek-

tes auf Basis des Lichtschnittverfahrens vorgesehen, umfassend die folgenden Schritte:

- Definieren innerhalb eines Sichtfeldes einer Sensoreinheit eines ersten Erfassungsbereiches und wenigstens eines von dem ersten Erfassungsbereich verschiedenen zweiten Erfassungsbereiches;
- Beleuchten des zu vermessenden Objektes mit einem Lichtstrahl einer Strahlquelle;
- Mittels einer Umlenkanordnung Umlenken des ersten Erfassungsbereiches und zweiten Erfassungsbereiches in Richtung einer optischen Achse der Sensoreinheit auf den von dem Lichtstrahl beleuchteten Messbereich; und
- Mittels wenigstens einem Erfassungsbereich der Sensoreinheit Erfassen wenigstens eines Teils des von dem Objekt reflektierten Lichtstrahles.

[0047] Dabei arbeitet die Sensoreinheit nach dem Lichtschnittverfahren, wobei beim Beleuchtungsschritt der Lichtstrahl als Lichtfächer in Richtung der Y-Achse ausgeweitet wird, um eine Lichtlinie auf dem zu vermessenden Objekt zu erzeugen.

[0048] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren greift das Lichtschnittverfahren. Das Laserlichtschnittverfahren bietet eine sehr gute Technik und vorteilhafte Kombination aus hoher Geschwindigkeit und ausgezeichneter Bildqualität. Für die Vielzahl an Applikationen sind optimierte Erfassungsbereiche und anwendungsspezifische Bildverarbeitungs-Algorithmen notwendig. Dabei kann gegebenenfalls die Definition von mehr als zwei Erfassungsbereichen von Vorteil sein. Hier können als Sensoreinheit schnelle CMOS Sensoren genutzt werden, die die Fähigkeit haben bei gesetzten Erfassungsbereichen oder ROIs (Regions of Interest) die Pixel nicht nur horizontal (in x-Richtung), sondern auch vertikal (in y-Richtung) partiell auszulesen.

[0049] Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren ferner folgenden Verfahrensschritt, dass mittels der Umlenkanordnung die zur optischen Achse gelenkten Erfassungsbereiche so geneigt werden, dass die jeweilige Schärfenebene in die vom Lichtstrahl beleuchtete Objektebene gedreht wird.

[0050] Die erfindungsgemäße Anordnung unterscheidet sich von einer herkömmlichen Anordnung ohne Umlenkspiegel und einer Sensoreinheit mit der optischen Achse senkrecht zur Objektträgerene darin, dass die Schärfenebene nicht senkrecht zur Objektträgerene verläuft, sondern so mittels der Umlenkanordnung ausgerichtet wird, dass die Schärfenebene senkrecht zu der Orientierung des Lichtfächers der Strahlquelle positioniert ist.

[0051] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren ferner den Verfahrensschritt des mechanischen Justierens der jeweiligen Spiegelemente der Umlenkanordnung, dass die zur optischen Achse gelenkten, gleich großen Erfassungsbereiche subpixelgenau im Messbereich koinzidieren bzw. sich schneiden.

[0052] Für diese Feineinstellung muss die Bedingung erfüllt sein, dass die Erfassungsbereiche gleich groß sind und damit spiegelsymmetrisch zur optischen Achse. Durch genaues Justieren der Erfassungsbereiche zueinander, können die erhaltenen Höhen- oder 3D Werte von beiden Betrachtungswinkeln einfach vereint werden.

[0053] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren ferner die folgenden Verfahrensschritte: Auswerten der mittels der Sensoreinheit erfassten Höhenprofile, um dreidimensionale Daten des Objektes zu erzeugen.

[0054] In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wird beim Auswerteschritt, ein Mittelwert der Höhenwerte berechnet, wenn von beiden Erfassungsbereichen Daten erfasst werden. Diese Mittelwertbildung kann nur erfolgen, wenn zuvor eine genaue Feineinstellung der Erfassungsbereiche zueinander erfolgt ist. Schneiden sich die Erfassungsbereiche exakt auf Höhe des Messbereiches sind die von den Erfassungsbereichen ermittelten Höhenwerte austauschbar.

[0055] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren ferner die folgenden Verfahrensschritte: Positionieren eines Umlenkelementes für die außerhalb des Sichtfeldes angeordnete Strahlquelle in den ungenutzten Bereich zwischen den ersten und zweiten Erfassungsbereich; und Umlenken des Lichtstrahles mittels des Umlenkelementes entlang der optischen Achse der Sensoreinheit.

[0056] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren ferner die folgenden Verfahrensschritte: Bewegen des Objektes und der Sensoreinheit relativ zueinander.

[0057] Wie bekannt, wird im Lichtschnittverfahren der Lichtstrahl der Strahlquelle, die vorzugsweise ein Diodenlaser ist, zu einer Linie ausgeweitet. Zusammen mit der Information über die Distanz bzw. Höhe (z-Achse), berechnet ein vorzugsweise in der Sensoreinheit integrierter Controller die Position der Messpunkte entlang der Laserlinie (y-Achse) und kann beide Werte als 2D-Koordinate ausgeben. Bei einem bewegten Messobjekt oder einem bewegten Sensor entsteht ein 3D-Abbild des Objekts.

[0058] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich die Anforderungen an 2D/3D-Messaufga-

ben im Hinblick auf Genauigkeit, Tiefenschärfe und Messgeschwindigkeit verbessern. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich nicht nur durch hohe Messgeschwindigkeit, sondern auch kostengünstige Realisierung aus.

Figurenliste

[0059] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Es zeigen:

Fig. 1a eine schematische Seitenansicht einer Vorrichtung zur dreidimensionalen Objekterfassung mit einer Sensoreinheit, einer optischen Strahlenquelle und einem Objektträger nach dem Stand der Technik;

Fig. 1b eine schematische Detailansicht des Objektträgers der **Fig. 1a**, wobei in dem Sensorsichtfeld eine erste Kante eines Objektes positioniert ist.

Fig. 1c eine schematische Detailansicht des Objektträgers der **Fig. 1a**, wobei in dem Sensorsichtfeld eine zweite Kante des Objektes positioniert ist.

Fig. 2a eine schematische Seitenansicht einer weiteren herkömmlichen Vorrichtung zur 3D-Objekterfassung mit zwei Strahlenquellen und einer Sensoreinheit.

Fig. 2b eine Detailansicht der **Fig. 2a**.

Fig. 3a eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Sensoreinheit mit zwei Bildausschnitten;

Fig. 3b eine schematische Draufsicht der Ebene des in **Fig. 3a** gezeigten Sichtfelds der Sensoreinheit, die parallel zur Objektträgerene verläuft;

Fig. 3c eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Sensoreinheit und einer Spiegelanordnung;

Fig. 3d eine schematische Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Sensoreinheit und einer Strahlenquelle mit jeweils einer Spiegelanordnung; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0060] Die Darstellungen sind schematisch und nicht zwingend maßstabsgerecht. Sie zeigen darüber hinaus nicht alle Details, sondern beschränken sich auf die Darstellung der erfindungswesentlichen Einzelheiten sowie weiterer Merkmale, die die Erläuterung und Beschreibung der Erfindung erleichtern. Gleiche

Elemente in den unterschiedlichen Figuren werden mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Detaillierte Beschreibung der Figuren

[0061] **Fig. 1a** bis **Fig. 1c** und **Fig. 2a** und **Fig. 2b** zeigen herkömmliche Vorrichtungen **100**, **200** und Anordnungen des Stands der Technik zur dreidimensionalen Objekterfassung, die eingangs beschrieben wurden. Dabei veranschaulicht **Fig. 1c** die Problematik der Okklusion, die durch die erfindungsgemäßen Vorrichtungen nach **Fig. 3a** bis **Fig. 3d**, sowie dem Verfahren nach **Fig. 4** überwunden werden soll.

[0062] **Fig. 3a** zeigt eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **300** mit einer einzigen Sensoreinheit **301** mit einem Sichtfeld **313** mit zwei beispielhaften Erfassungsbereichen **310**, **320** bzw. Bildausschnitten. Die Sensoreinheit **301** weist einen Matrixsensor oder eine Flächenkamera auf, die mit einem X/Y Pixelarray ausgebildet ist. Als Sensoreinheit **301** werden üblicherweise Flächensensoren auf Halbleiterbasis wie beispielsweise CMOS- oder CCD-Sensoren verwendet.

[0063] **Fig. 3b** zeigt für das Beispiel der **Fig. 3a** im Detail das Sichtfeld **313** entsprechend dem X/Y Pixelarray bzw. der Matrix der Sensoreinheit, die in drei verschiedene Teilbereiche oder Erfassungsbereiche **310**, **315** und **320** aufgeteilt ist. Die in **Fig. 3b** dargestellte Ebene verläuft parallel zur der von der x- und y-Achse aufgespannten Ebene bzw. parallel zur Objektträgerene **330**. Zur Veranschaulichung werden durch strichliniert dargestellte Pfeile die jeweils zugehörigen Erfassungsbereiche **310**, **315** und **320** zwischen den verschiedenen Ansichten der **Fig. 3a** und **Fig. 3b** verbunden.

[0064] In dem nicht einschränkenden Beispiel der **Fig. 3a** und **Fig. 3b**, bildet der vorbestimmte erste Erfassungsbereich **310** ein Rechteck, das an seiner kurzen Seite d.h. in X-Richtung durch die X_1 und X_2 -Koordinaten begrenzt wird und sich an seiner langen Seite entlang der Y-Achse erstreckt. Weiterhin zeigt **Fig. 3b** einen definierten zweiten Erfassungsbereich **320** in Form eines Rechteckes, das sich getrennt bzw. beabstandet von dem ersten Erfassungsbereich **310** befindet und sich an seiner kurzen Seite über die Koordinaten X_3 bis X_4 erstreckt. In dem dargestellten Beispiel befinden sich die rechteckigen Erfassungsbereiche am jeweiligen Rand des Sichtfeldes **313**. Je nach Applikation sind andere Einteilungen der Erfassungsbereiche möglich.

[0065] Zwischen den ersten und zweiten Erfassungsbereichen **310** und **320** liegt ein nicht zur Erfassung genutzter Bereich d.h. ein sogenannter ungenutzter Erfassungsbereich **315**. Im Bezug zu **Fig. 3d** wird eine anderweitige Verwendung des ungenutz-

ten Erfassungsbereiches **315** noch genauer erläutert werden.

[0066] **Fig. 3c** zeigt beispielhaft die gleichen Erfassungsbereiche **310**, **320** der Sensoreinheit **301**, wie sie in **Fig. 3a** gezeigt sind. **Fig. 3c** unterscheidet sich von der **Fig. 3a** darin, dass zwischen der Sensoreinheit und der Objektträgerebene wenigstens eine Umlenkanordnung **340** angeordnet ist. Die Umlenkanordnung **340** weist eine Mehrzahl an Spiegeln **341**, **342**, **343**, **344** auf. Dabei umfasst die Umlenkanordnung **340** für jeden Erfassungsbereich **310**, **320** einen ersten Spiegel **341**, **343**, der den jeweiligen Erfassungsbereich **310**, **320** von der optischen Achse **305** des Sensors radial nach außen lenkt, und einen zweiten Spiegel **342**, **344**, der den nach außen gelenkten Erfassungsbereich **311** zur optischen Achse **305** auf den Messbereich **355** lenkt.

[0067] Wie in **Fig. 3c** und **Fig. 3d** gezeigt kann mit der gezeigten Umlenkanordnung ein zu vermessendes Objekt **336** unter zwei Betrachtungswinkel β_1 , β_2 erfasst werden. Die Verwendung mehrerer Betrachtungswinkel verringert fehlende Bereiche durch Okklusion oder dergleichen. Durch die Anordnung der Spiegel **342** bzw. **344** kann die Schärfeebene **325** der Erfassungsbereiche (**310** bzw. **312**, **320** bzw. **322**) vorteilhaft so geneigt werden, dass die gedrehte Schärfeebene **325'** in der vom Lichtstrahl **351** beleuchteten Objektebene liegt. Durch das Drehen der Schärfeebene **325** von beiden Bildausschnitten bzw. Erfassungsbereichen **310** und **320** in die Lichtstrahlebene (siehe **Fig. 3d**), liegt die optimale Tiefenschärfe von beiden Erfassungsbereichen an der gleichen Stelle.

[0068] In dem gezeigten Beispiel wird die Schärfeebene **325**, aus der Position wie in **Fig. 3a** gezeigt ist, um 90° zu der in **Fig. 3c** gezeigten Position der Schärfeebene **325'** gedreht. Dabei werden die Spiegel der Umlenkanordnung **340** so justiert, dass die Schärfeebenen beider Erfassungsbereiche **310**, **320** zumindest näherungsweise koinzidieren.

[0069] **Fig. 3d** zeigt die Vorrichtung **300** von **Fig. 3c**, wobei zusätzlich die zur Messung notwendige Strahlquelle **350** gezeigt ist. Die Strahlquelle **350** kann bevorzugt als Diodenlaser ausgebildet sein. Diodenlaser haben den Vorteil einer geringen Baugröße und eines günstigen Preis-Leistungsverhältnisses. **Fig. 3d** zeigt, dass der ungenutzte Erfassungsbereich **315** vorteilhaft durch ein Umlenkelement **345** genutzt werden kann. Hierzu wird das vorzugsweise als Planspiegel ausgebildete Umlenkelement **345** so positioniert, dass der von außen einfallende Lichtstrahl **351** der Strahlquelle **350** in Richtung der optischen Achse **305** der Sensoreinheit **301** und des zu vermessenden Objektes **336** gelenkt wird.

[0070] Auf diese Weise kann der von außen einfallende Lichtstrahl **351** der Strahlquelle **350** mit der optischen Achse **305** der Sensoreinheit **301** zusammenfallen und Abschattungen wie Sie bei flachen Projektionswinkeln entstehen, vermieden werden. Gleichzeitig kann der ungenutzte Erfassungsbereich **315** vorteilhaft genutzt werden.

[0071] Weiterhin zeigt **Fig. 3d** ein Objekt **336**, das mittels einer nicht dargestellten Fördervorrichtung bereits aus dem Sichtfeld **313** der Sensoreinheit **301** bzw. den Erfassungsbereichen **310** und **320** in Richtung des Pfeiles **335** heraustransportiert wurde. Wird nun ein weiteres zu vermessendes Objekt (nicht dargestellt) in den Messbereich **355** bzw. in die Ebene des Lichtstrahles **351** bewegt, der vorzugsweise als Laserlinie quer zur Transportrichtung **355** ausgebildet ist, kann die reflektierte Lichtlinie unter von dem Projektionswinkel verschiedenen Betrachtungswinkeln β_1 bzw. β_2 aufgenommen werden.

[0072] **Fig. 4** zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren **400** zum Erfassen eines dreidimensionalen Objektes auf Basis des Lichtschnittverfahrens. Als erster Verfahrensschritt **410** wird innerhalb eines Sichtfeldes **313** einer Sensoreinheit **301** ein erster Erfassungsbereich **310** und wenigstens einer von dem ersten Erfassungsbereich verschiedener zweiter Erfassungsbereich **320** definiert. Diese Definition kann durch den Anwender erfolgen oder in der Sensoreinheit anwendungsspezifisch voreingestellt werden.

[0073] Der zweite Verfahrensschritt umfasst das Beleuchten **420** des zu vermessenden Objektes mit einem Lichtstrahl **351** einer Strahlquelle. Da die Sensoreinheit **301** nach dem Lichtschnittverfahren arbeitet, wird beim Beleuchtungsschritt **420** der Lichtstrahl **351** der Strahlquelle **350** als Lichtfächer in Richtung der Y-Achse ausgeweitet (Verfahrensschritt **425**), um eine Lichtlinie auf dem zu vermessenden Objekt **336** zu erzeugen.

[0074] Ein weiterer Verfahrensschritt umfasst das Umlenken des ersten Erfassungsbereiches **310** und zweiten Erfassungsbereiches **320** mittels einer Umlenkanordnung **340** in Richtung der optischen Achse **305** der Sensoreinheit **301** auf den von dem Lichtstrahl **351** beleuchteten Messbereich **355**. Ein weiterer Verfahrensschritt umfasst das Erfassen wenigstens eines Teils des von dem Objekt reflektierten Lichtstrahls mittels wenigstens einem Erfassungsbereich der Sensoreinheit. Lediglich ein Erfassungsbereich kann von der Sensoreinheit erfasst und anschließend ausgewertet werden, wenn der andere Erfassungsbereich keine Messdaten übermitteln kann. Dies ist beispielsweise der Fall wenn, der zweite Erfassungsbereich aufgrund Okklusion eine Oberflächenstruktur nicht abgebildet werden kann oder umgekehrt.

[0075] Für den Fall, dass beide Erfassungsbereiche den auf das Objekt projizierten Lichtstrahl erfassen können, können bei einer genauen Einstellung der Spiegel, dass die Messbereiche und Schärfenebenen zusammenfallen, die Messwerte beider Erfassungsbereiche herangezogen werden und ein Mittelwert der beiden Werte gebildet werden. bzw. die Messwerte in Deckung gebracht werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (300) zur Erfassung eines dreidimensionalen Objektes auf Basis des Lichtschnittverfahrens umfassend;

eine Strahlquelle (350) zur Erzeugung eines Lichtstrahles (351),

eine Sensoreinheit (301) zur Erfassung wenigstens eines Teils des von dem Objekt (336) zurückgestrahlten Lichtstrahles aus wenigstens zwei verschiedenen Betrachtungswinkeln (β_1 , β_2),

wobei das Sichtfeld (313) der Sensoreinheit (301) auf wenigstens zwei voneinander getrennte Erfassungsbereiche (310, 320) reduzierbar ist;

wobei in jeden Erfassungsbereich (310, 320) wenigstens eine Umlenkanordnung (340) positionierbar ist, um den ersten Erfassungsbereich (310) und den zweiten Erfassungsbereich (320) in Richtung der optischen Achse (305) der Sensoreinheit (301) auf den von dem Lichtstrahl (351) beleuchtbaren Messbereich (355) umzulenken, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umlenkanordnung (340) derart ausgebildet ist, die zur optischen Achse (305) gelenkten Erfassungsbereiche (312, 322) jeweils so zu neigen, dass eine Schärfenebene (325) des ersten und eine Schärfenebene (325) des zweiten Erfassungsbereiches in die vom Lichtstrahl (351) beleuchtbare Objektebene jeweils gedreht werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste und zweite Schärfenebene (325) um 90° drehbar sind und dass die beiden Schärfenebenen (325') zumindest näherungsweise koinzidieren.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der erste und zweite Erfassungsbereich (310, 320) eines Pixelarrays mit jeweils einer rechteckigen Form erstrecken, wobei die voneinander getrennten rechteckigen Erfassungsbereiche (310: Y, X1, X2; 320: Y, X3, X4) einen größeren nicht genutzten Bereich (315) des Sichtfeldes (313) beidseitig begrenzen.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu der optischen Achse (305) gelenkten Erfassungsbereiche (312, 322) subpixelgenau mittels Einstellung der jeweiligen Umlenkanordnung (340) aufeinander justierbar sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassungsbereiche derart voneinander getrennt sind, dass in dem nicht genutzten Bereich (315) des Sichtfeldes (313) ein Umlenkelement (345) für die außerhalb des Sichtfeldes (313) angeordnete Strahlquelle (350) so positionierbar ist, dass der von außen einfallende Lichtstrahl (351) der Strahlquelle (350) in Richtung der optischen Achse (305) der Sensoreinheit (301) und des zu vermessenden Objektes (336) gelenkt wird.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ferner eine Auswerteeinheit umfasst ist, die dazu ausgelegt ist, zweidimensionale und/oder dreidimensionale Daten des Objektes (336) auf Basis von erfassten Messdaten wenigstens eines Erfassungsbereiches für das Objekt (336) zu erzeugen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinheit und/oder die Auswerteeinheit eine Eingabeeinheit zur Definitionseingabe von Erfassungsbereichen (310, 320) aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Objekt relativ zur Sensoreinheit bewegbar ist.

9. Verfahren (400) zum Erfassen eines dreidimensionalen Objektes (336) auf Basis des Lichtschnittverfahrens, umfassend die folgenden Schritte:

Definieren (410) innerhalb eines Sichtfeldes (313) einer Sensoreinheit (301) eines ersten Erfassungsbereiches (310) und wenigstens eines von dem ersten Erfassungsbereiches verschiedenen zweiten Erfassungsbereiches (320); Beleuchten (420) des zu vermessenden Objektes mit einem Lichtstrahl (351) einer Strahlquelle (301);

Mittels einer Umlenkanordnung (340) Umlenken (430) des ersten Erfassungsbereiches (310) und zweiten Erfassungsbereiches (320) in Richtung einer optischen Achse (305) der Sensoreinheit (301) auf den von dem Lichtstrahl (351) beleuchteten Messbereich (355); Mittels wenigstens einem Erfassungsbereich (310) der Sensoreinheit (301) Erfassen (440) wenigstens eines Teils des von dem Objekt reflektierten Lichtstrahles und

Mittels der Umlenkanordnung (340) die zur optischen Achse (305) gelenkten Erfassungsbereiche (312, 322) jeweils so geneigt werden, dass eine Schärfenebene (325) des ersten und eine Schärfenebene (325) des zweiten Erfassungsbereiches in die vom Lichtstrahl (351) beleuchtete Objektebene gedreht werden und so dass die beiden Schärfenebenen (325') zumindest näherungsweise koinzidieren

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

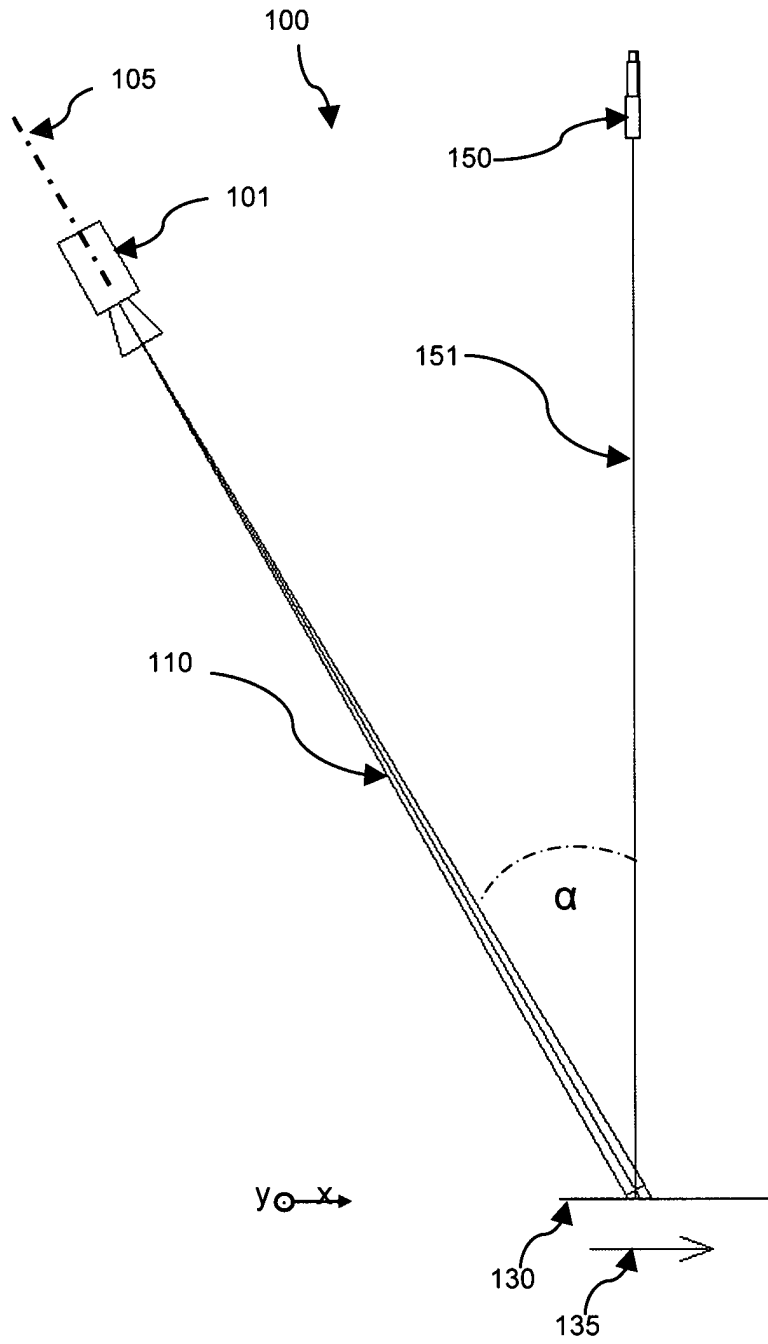


Fig.1a

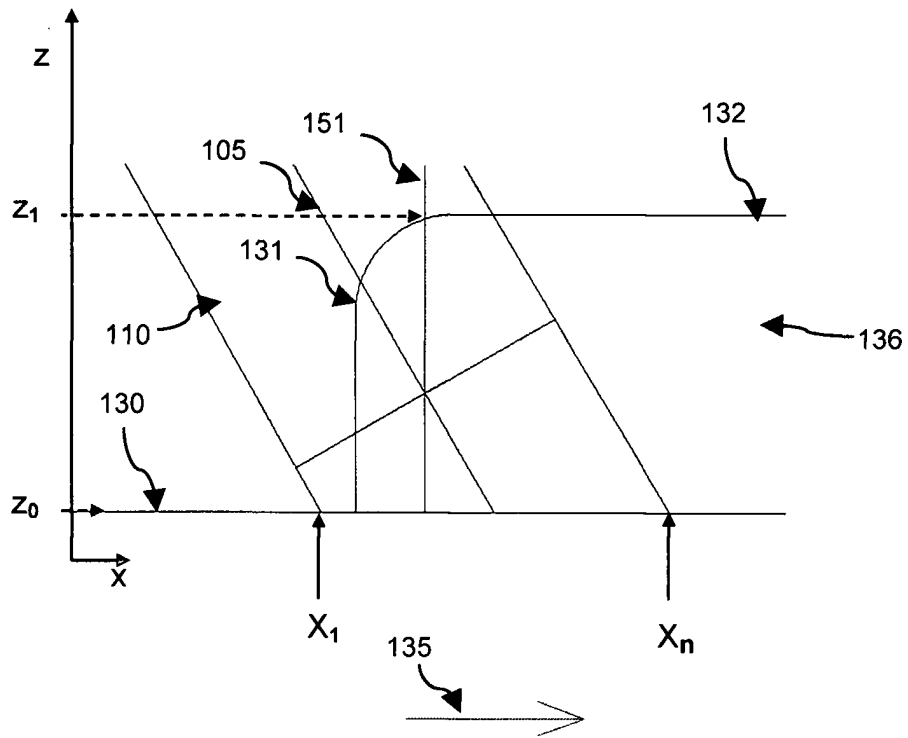


Fig. 1b

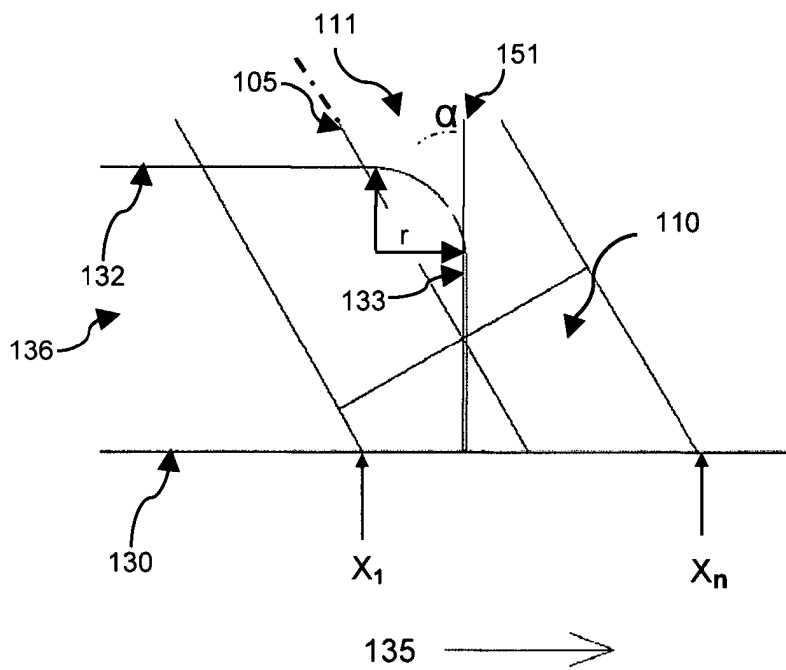


Fig. 1c

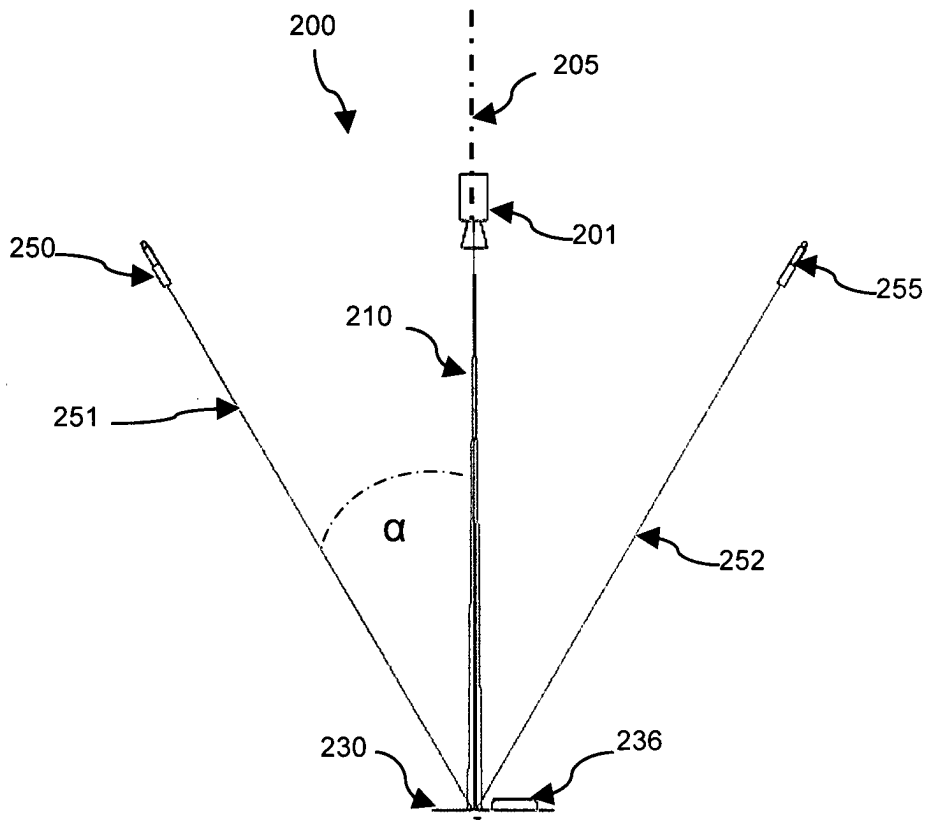


Fig. 2a

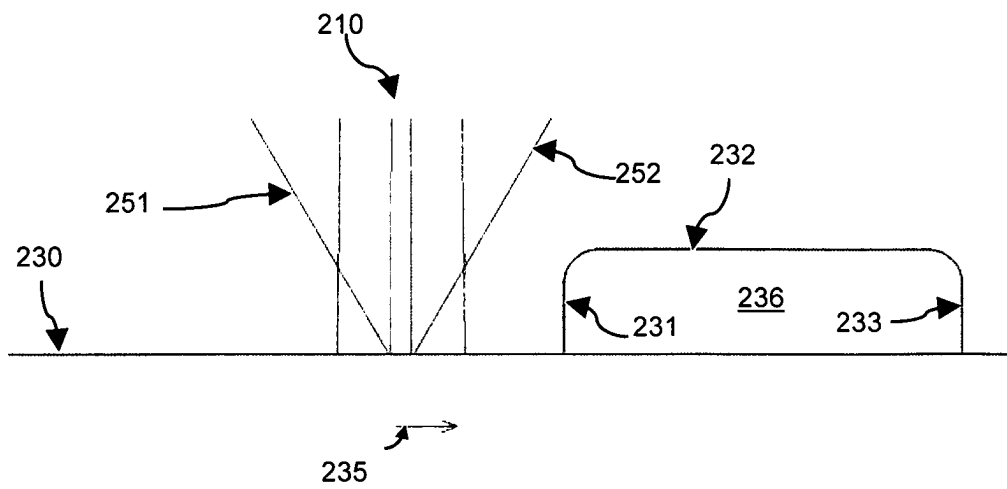
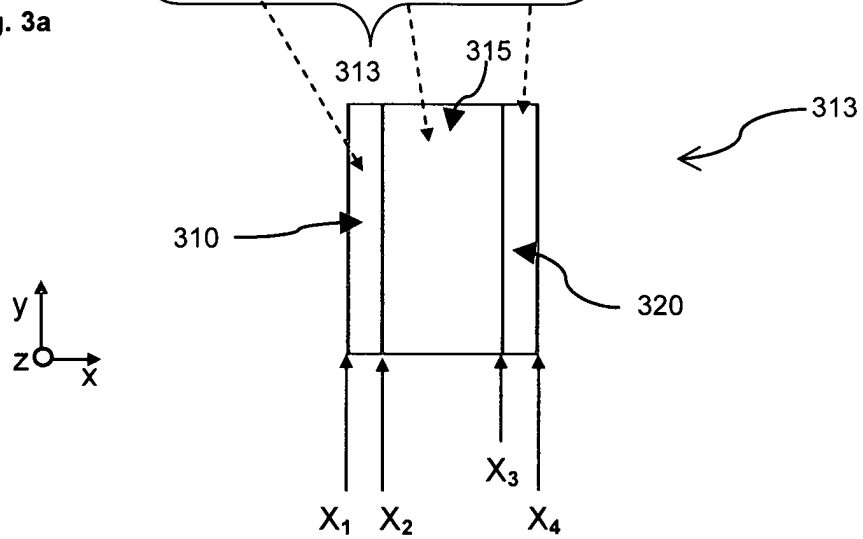
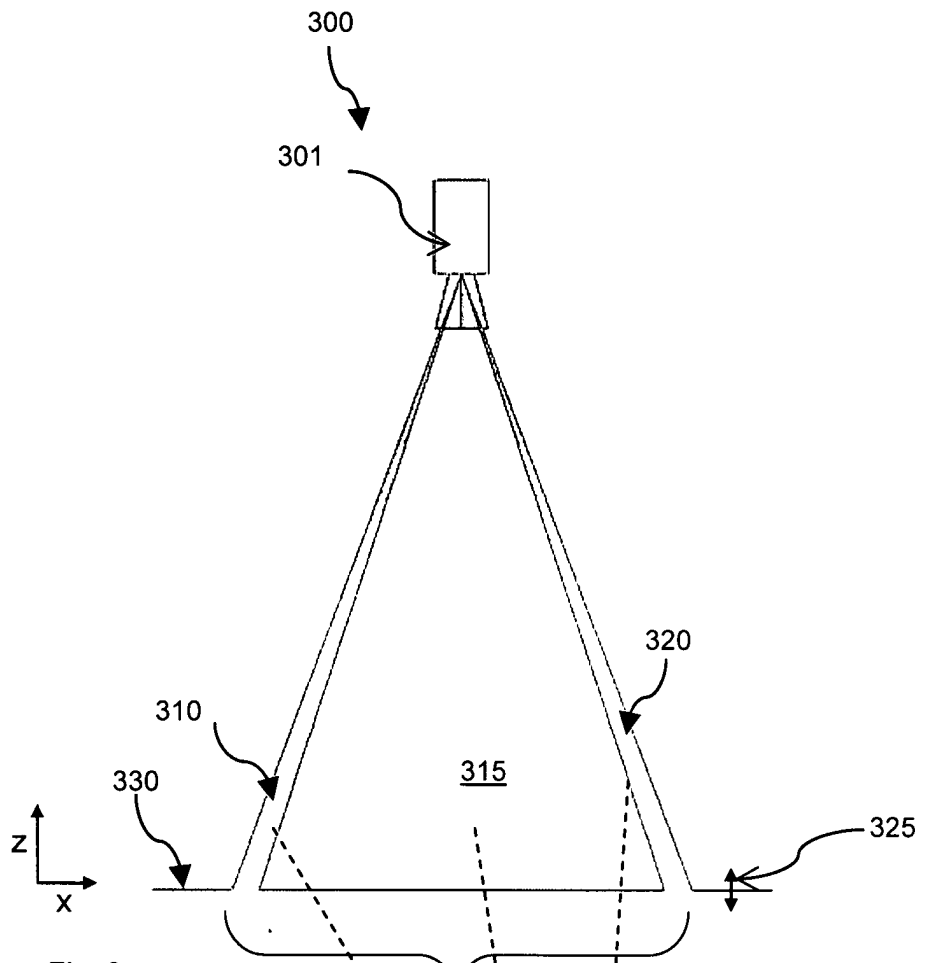


Fig. 2b



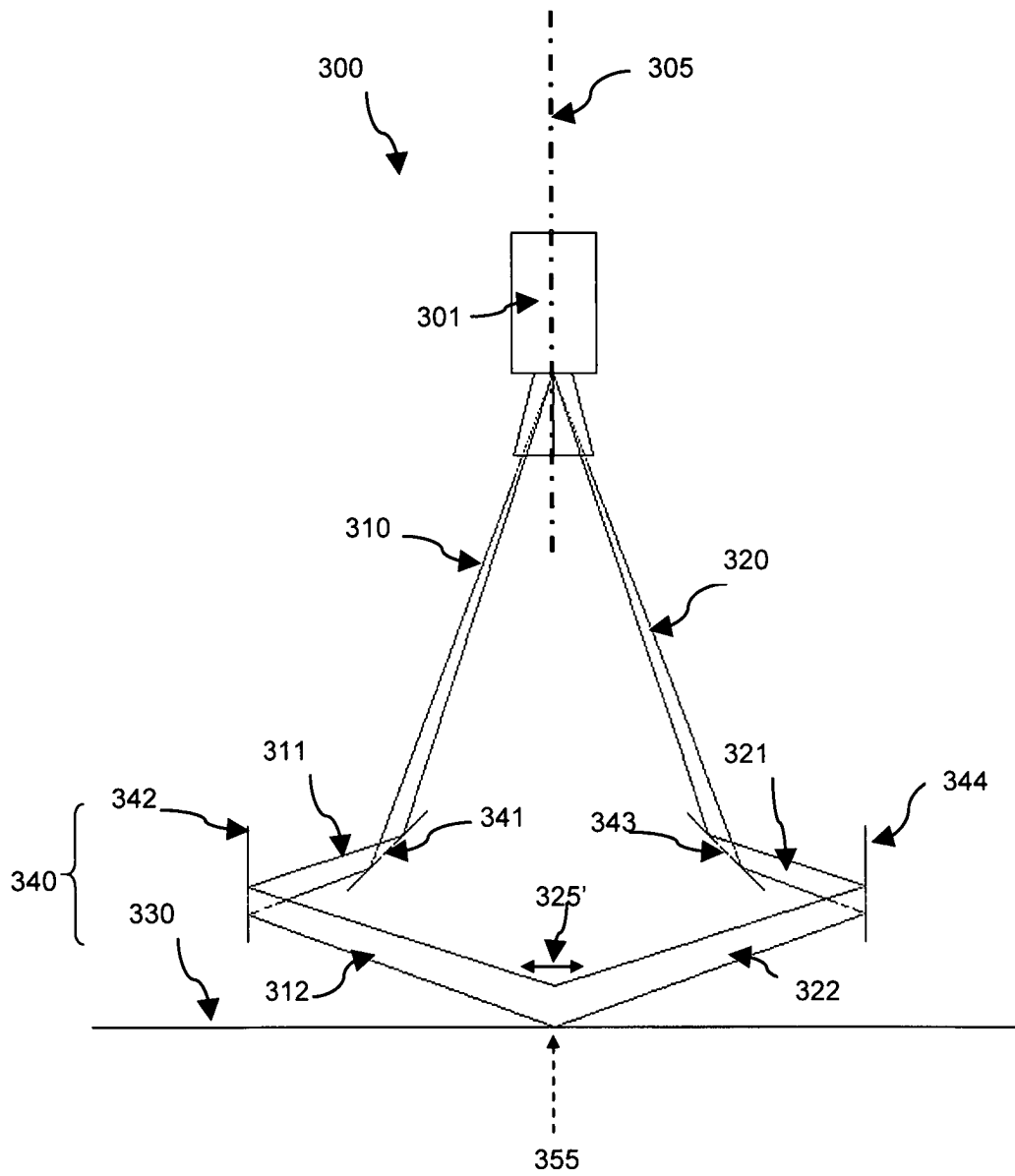


Fig. 3c

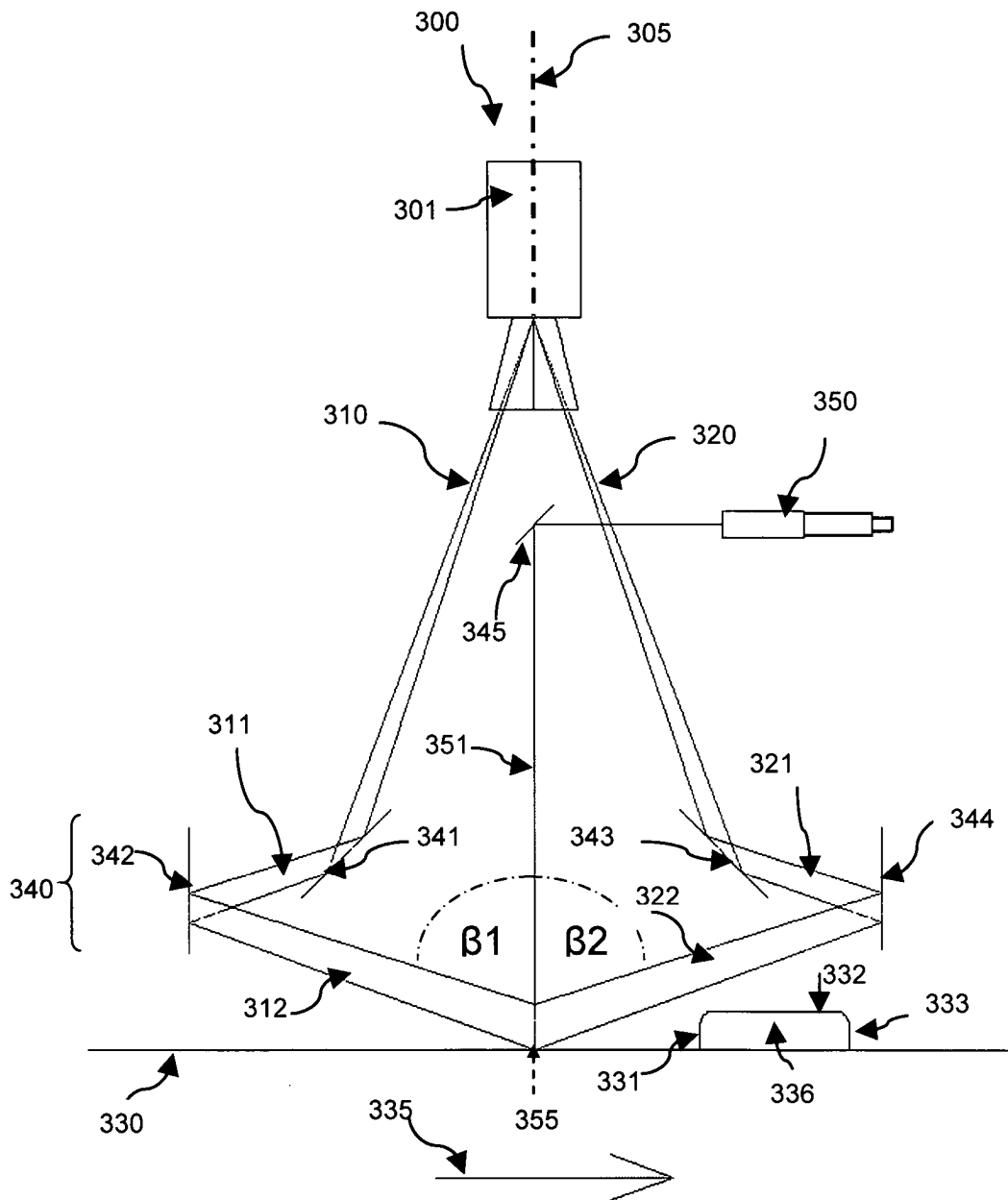


Fig. 3d

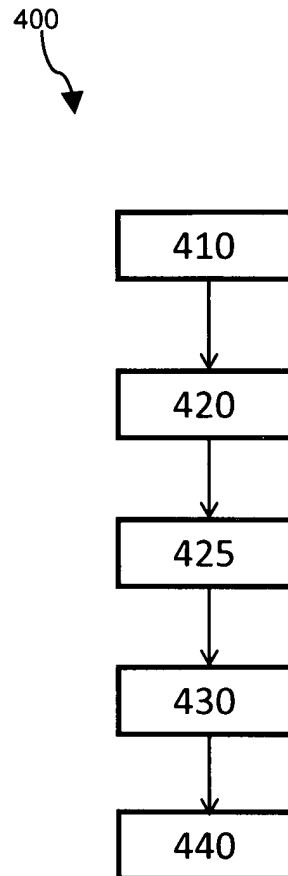


Fig. 4