



(10) **DE 10 2008 039 838 B4** 2011.09.22

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 039 838.1**
(22) Anmeldetag: **27.08.2008**
(43) Offenlegungstag: **04.03.2010**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.09.2011**

(51) Int Cl.: **G01B 11/25 (2006.01)**
G01S 17/89 (2006.01)
G01S 17/48 (2006.01)
G02B 27/18 (2006.01)

Innerhalb von drei 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:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147, Köln, DE**

(74) Vertreter:
**Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner,
50667, Köln, DE**

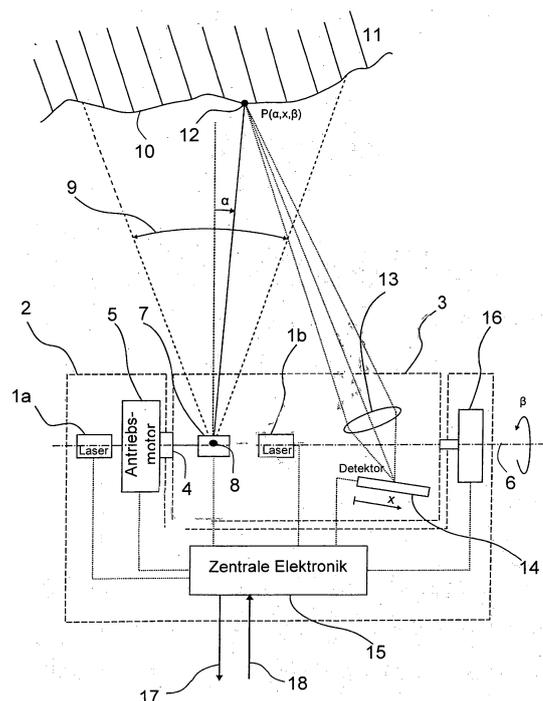
(72) Erfinder:
**Kielhöfer, Simon, 80634, München, DE; Hagn,
Ulrich, 82396, Pähl, DE; Konietschke, Rainer,
82229, Seefeld, DE; Suppa, Michael, 82178,
Puchheim, DE; Hacker, Franz, 86899, Landsberg,
DE; Bodenmüller, Tim, 80807, München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	100 26 357	A1
US	2008/00 84 541	A1
US	2004/02 01 856	A1
US	51 98 877	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Abtasten der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts mittels eines Lichtstrahl-Scanners**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Abtasten der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts mittels eines Laser-Scanners, dessen von einer Lichtquelle ausgehender, pulsmodulierter Laserstrahl einer Abtastbewegung unterworfen wird und danach entsprechend dieser Abtastbewegung auf der Oberfläche des Objekts an einem Abtastpunkt auftrifft, von dem er rückgestreut und als Streulicht in einem optischen Empfangsdetektor erfasst wird, wobei dann zur Erzielung einer dreidimensionalen Abbildungsinformation das Prinzip der Triangulation angewandt wird, indem, ausgehend von der bekannten Abstrahlrichtung, vom bekannten direkten Abstand zwischen der Lichtquelle und dem optischen Empfangsdetektor und vom Einfallswinkel des rückgestreuten Lichts abhängig, bestimmte Koordinaten (x) auf dem optischen Empfangsdetektor, für jeden Abtastpunkt auf der Oberfläche des Objekts die Daten ermittelt werden, wobei die Abtastbewegung des Laserstrahls durch ein im Strahlverlauf angeordnetes, um zwei zueinander senkrecht stehende Schwenkachsen (6, 8) voneinander unabhängig schwenkbares Strahlableitmittel (7) vorgenommen wird, dass die Ebene, in welcher die Triangulation vorgenommen wird, durch die effektiven Positionen des Strahlableitmittels, des...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtasten der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts mittels eines Lichtstrahl-Scanners, dessen von einer Lichtquelle ausgehender, pulsmodulierter und kollimierter Lichtstrahl, beispielsweise ein Laserstrahl einer Abtastbewegung unterworfen wird und danach entsprechend dieser Abtastbewegung auf der Oberfläche des Objekts an einem Abtastpunkt auftrifft, von dem er rückgestreut und als Streulicht in einem optischen Empfangsdetektor erfasst wird, wobei dann zur Erzielung einer dreidimensionalen Abbildungsinformation das Prinzip der Triangulation angewandt wird, indem, ausgehend von der bekannten Abstrahlrichtung, vom bekannten direkten Abstand zwischen der Lichtquelle und dem optischen Empfangsdetektor und von der über Triangulation bestimmten Strahlstreckenlänge zwischen Lichtquelle und optischem Empfangsdetektor, für jeden Abtastpunkt auf der Oberfläche des Objekts die Daten ermittelt werden.

[0002] Beim 3D-Laserscanning wird die Oberflächengeometrie von Objekten mittels Pulslaufzeit, Phasendifferenz im Vergleich zu einer Referenz oder durch Triangulation von Laserstrahlen digital erfasst. Bei der Triangulation wird eine Laser-Lichtquelle genutzt, die mit einem Strahl unter einem Winkel das Objekt beleuchtet, dessen Oberfläche vermessen werden soll. Ein elektronischer Bildwandler, z. B. eine CCD- oder CMOS-Kamera oder ein PSD (Position Sensitive Detector), registriert das von der Objektoberfläche reflektierte Streulicht. Bei Kenntnis der Strahlrichtung und des direkten Abstandes zwischen Kamera bzw. PSD und der Laser-Lichtquelle kann damit der Abstand vom reflektierenden Objektoberflächenpunkt bestimmt werden. Die Verbindungslinie Kamera-Lichtquelle sowie die beiden Teilstrahlen zu der und von der Objektoberfläche bilden hierbei ein Dreieck, woraus sich die Bezeichnung "Triangulation" ableitet. Wird das Triangulationsverfahren rasterartig oder kontinuierlich bewegt durchgeführt, so kann das Oberflächenrelief des Objekts bestimmt werden. Wird ein Muster, z. B. eine Linie oder ein Streifenmuster, auf die Objektoberfläche projiziert, so lässt sich die Abstandsinformation zu allen Punkten des Musters mit einem einzigen Kamerabild berechnen.

[0003] Laserscanner oder 3D-Laser-Entfernungsmesser allgemein gibt es in vielen verschiedenen Formen. Sie können unter Anwendung unterschiedlicher Messprinzipien arbeiten und verschiedene Messbereiche erfassen und auch hinsichtlich ihrer Genauigkeit verschieden sein. Allen diesen Geräten gemeinsam ist die handgeführte oder automatische Erzeugung von virtuellen, oberflächenbasierten 3D-Modellen.

[0004] Die meisten 3D-Laser-Entfernungsmesser projizieren einen Punkt, eine Linie, eine Fläche oder ein Muster auf ein Messobjekt und empfangen das reflektierte Licht, um Entfernungs- und/oder Positionsdaten zu errechnen. Ebenso wie eine Vielzahl solcher Geräte gibt es auch eine Vielzahl von Anwendungen, wie z. B. Mess- und Kontrollaufgaben, Reverse Engineering, Erstellung virtueller Ausstellungen, Museen oder Archive, aber auch medizinische Aufgaben, wie die Registrierung oder Vermessung von Körperteilen. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden insbesondere mobile Geräte, die handgeführt oder auch automatisch eingesetzt werden können, näher betrachtet.

[0005] Die Datenaufnahme eines zu vermessenden Objekts wird dabei meist von vorher bestimmten Anforderungen geleitet, wie zum Beispiel dem Ort der Datenaufnahme, einer stellenweise höheren erforderlichen Genauigkeit oder der Reihenfolge der Datenerfassung. Dies wird bisher in Messprotokollen und Vorschriften festgehalten, nach denen die Messung durchgeführt wird. Ein weiteres Problem bei 3D-Messungen besteht darin, dass bereits vermessene Oberflächen am Objekt natürlich nicht als solche erkennbar sind. Der Vermesser muss sich also einprägen, wo bereits gemessen wurde, oder eine geeignete Anzeige am Messgerät vermittelt diese Information. Eine solche Anzeige ist notwendigerweise recht komplex, da die bereits gemessenen Bereiche mit der Realität in Deckung gebracht werden müssen.

[0006] Werden Bereiche der zu messenden Oberfläche mehrfach abgetastet, so ist das im Allgemeinen kein Problem. Dagegen entstehen dann Probleme, wenn eigentlich zu messende Bereiche der Objektoberfläche versehentlich nicht erfasst werden, sei es aus Nachlässigkeit oder aus Unwissenheit. So ist es beispielsweise in der Medizintechnik bei der Registrierung von Patienten vor oder während einer Operation, also dem Matching vom Patientenmodell mit der Operationsplanung und der Realität, entscheidend, welche Bereiche des Patienten vermessen werden, um Mehrdeutigkeiten auszuschließen.

[0007] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in sehr vielen Bereichen der 3D-Datenerfassung, in der Industrie wie auch exemplarisch in der Medizintechnik, die Art und die Reihenfolge der Erfassung der Oberfläche eines Objekts eine wichtige, manchmal entscheidende Rolle spielt.

[0008] Laser-Entfernungsmesser, Laserscanner und Triangulationsscanner gibt es in vielerlei Ausführungsformen.

[0009] US 2004/0201856 A1 beschreibt ein Laserdigitalisierungssystem, mit dem ein dreidimensionales Bild eines realen Objekts unter Zuhilfenahme eines Lasers erstellt werden kann. Hierbei wird der Laser-

strahl einer Abtastbewegung unterworfen und auf der Oberfläche des Objekts zurückgestreut und anschließend von einem Detektor erfasst. Es wird das Prinzip der Triangulation angewandt. Der Laserstrahl wird durch einen Spiegel bewegt, der um zwei zueinander senkrecht stehende Schwenkachsen schwenkbar ist. Die Ebene, in welcher die Triangulation vorgenommen wird, wird durch die Positionen des Spiegels bestimmt.

[0010] Aus DE 41 42 702 A1 ist es bekannt, die dreidimensionale Oberfläche eines Objekts mit Hilfe eines rotierenden Polygonspiegels periodisch abzutasten, wobei das von der Oberfläche des Objekts zurückreflektierte Licht als Messstrahl nach Reflexion am Polygonspiegel über einen feststehenden Umlenkspiegel zu einem Lichtdetektor ausgekoppelt wird, der zur Bestimmung des Abstandes des jeweils abgetasteten Punktes der Oberfläche vom Polygonspiegel an eine Phasennessanordnung angeschlossen ist, deren Ausgangssignal eine Recheneinheit speist. Im Strahlengang vom Polygonspiegel zum Objekt ist ein bewegtes Spiegelbauteil angeordnet, das einerseits den Abtastlichtstrahl auf das Objekt umlenkt und diesen Lichtstrahl andererseits quer zur Abtastrichtung ablenkt. Der Abtastlichtstrahl und der Reflexionslichtstrahl werden hinsichtlich ihrer Laufzeit miteinander verglichen.

[0011] In GB 2 292 605 A ist eine Laserscanner-Vorrichtung zum Bestimmen der dreidimensionalen Eigenschaften einer Objektoberfläche beschrieben. Hierbei ist ein handgeführter Scanner vorgesehen, der in Bezug zur zu vermessenden Oberfläche frei beweglich ist und ein zweidimensionales Muster auf diese Oberfläche wirft. Mit einem zweidimensionalen optischen Detektor werden die Oberflächeneigenschaften ermittelt. Dateien mit 3D-Koordinatendaten aus Abtastungen von sich überlappenden Oberflächenbereichen des Objekts werden zu einem gemeinsamen Satz unter Kompensation jeder Bewegung des Scanners bezüglich der Objektoberfläche zwischen aufeinanderfolgenden Abtastungen kombiniert. Die durch diese Abtastdateien definierten Oberflächenbereiche werden durch geeignete Rotations- und Translationsbewegungen in einem Computer registriert, wobei diese Bewegungen mittels Gyroskop, Beschleunigungsmesser oder durch mathematische Verarbeitung der Abtastdaten selbst ermittelt werden.

[0012] Aus GB 2 374 743 A ist ein Abbildungssystem bekannt, bei dem eine gepulste Laser-Lichtquelle eine dreidimensionale Oberfläche abtastet und das von der Oberfläche reflektierte Licht in einem stationären zweidimensionalen Mehrbereichs-Lichtdetektor-Array empfangen wird. Mittels Laufzeitmessung wird der Abstand zwischen Quelle und Detektor ermittelt, so dass ein dreidimensionales Bild der Oberfläche aufgebaut werden kann. Der Lichtquellen-Abtastmechanismus ist synchronisiert, so dass die ver-

schiedenen Bereiche abgetastet und auf verschiedene Bereiche des Detektor-Arrays abgebildet werden.

[0013] Aus WO 2006/094409 A1 ist ein Verfahren zum Abtasten und Digitalisieren dreidimensionaler Objektoberflächen mittels eines Laserscanners bekannt. Hierbei wird ein selbstreferenziertes, handgeführtes Abtastsystem benutzt. Das System berechnet fortlaufend aus einer Beobachtung seine eigene Position und Ausrichtung, während die Oberflächengeometrie des Objekts abgetastet wird. Es wird das sogenannte Triangulationsprinzip ausgenutzt und ein Gerät integriert, das sowohl Oberflächenpunkte, die aus Reflexionen von auf die Objektoberfläche projizierten Lichtmustern herrühren, als auch zweidimensionale Positionsmerkmale erfasst, die aus der Beobachtung von Zielpositionsmerkmalen stammen.

[0014] Auch aus US 2006/0269896 A1 ist ein Laser-Abtastsystem zur Erfassung dreidimensionaler Informationen eines Objekts bekannt. Dieses System umfasst einen Sendeempfänger mit einer Laser-Lichtquelle, einen um zwei zueinander senkrecht stehende Achsen oszillierenden MEMS-Abtastspiegel und Software für eine Rahmen-Registrierung. Zum Abbilden der Oberfläche eines Objekts, insbesondere von Zahnoberflächenformationen, wird die Laser-Entfernungsmesstechnik angewandt. Der mit hoher Geschwindigkeit schwingende MEMS-Spiegel ermöglicht das Abtasten der Objektoberfläche. Dieses bekannte Abtastsystem arbeitet jedoch nicht nach dem Triangulationsprinzip.

[0015] Aus DE 10 2006 035 292 A1 ist ein Verfahren zum Übertragen von positionszugeordneten Informationen aus einer virtuellen in eine tatsächliche Realität und zum Anzeigen dieser Informationen in der tatsächlichen Realität bekannt. Hierbei werden die in der virtuellen Realität aufgenommenen Informationen in Bezug auf ein der virtuellen Realität zugeordnetes Koordinatensystem bestimmt.

[0016] Zur Darstellung in der tatsächlichen Realität wird eine Registrierung vorgenommen, bei der eine Transformationsmatrix ermittelt wird, welche das der virtuellen Realität zugeordnete Koordinatensystem in ein Koordinatensystem eines Trackingsystems transformiert, so dass die in die tatsächliche Realität zu übertragenden positionszugeordneten Informationen in dieser transformationsgetreu mittels einer Anzeigevorrichtung angezeigt werden, die eine einen Lichtstrahl aussendende Lichtquelle enthält, deren Position in der tatsächlichen Realität mittels des Trackingsystems ermittelt wird.

[0017] Aus der ermittelten Position der Lichtquelle und den aus der virtuellen Realität in die tatsächliche Realität transformierten positionszugeordneten Informationen wird die vorzunehmende Stellung einer in der Anzeigevorrichtung zur Ablenkung des von der

Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahls vorgesehenen, steuerbaren Lichtstrahl-Ablenkeinrichtung berechnet und eingestellt, so dass der Lichtstrahl nach seiner Ablenkung durch die steuerbare Lichtstrahl-Ablenkeinrichtung exakt in die Richtung zur zugewiesenen Position gerichtet ist und im Fall einer Bewegung der Lichtquelle die steuerbare Lichtstrahl-Ablenkeinrichtung automatisch in einer solchen Weise nachgestellt wird, dass der abgelenkte Lichtstrahl stets auf die zugewiesene Position gerichtet bleibt.

[0018] Die mit dem Lichtstrahl ausgestrahlten Informationen können diejenigen eines oder mehrerer Punkte und/oder von Linien und/oder von Buchstaben und/oder von Symbolen sein, die über die Ablenkeinrichtung auf eine Oberfläche in der tatsächlichen räumlichen Realität projiziert werden.

[0019] Zusammenfassend ist festzustellen, dass es kein Verfahren oder Gerät gibt, das eine 3D-Datenerfassung mit einer Kontrolle der Datenerfassung kombiniert, Informationen zur Benutzerführung bei der Datenerfassung in intuitiver und einfacher Art anzeigt und gegebenenfalls auch voll- oder teilautonom arbeiten kann. Bisher werden solche Anwendungsfälle durch die Kombination mehrerer einzelner Geräte abgedeckt, was teuer, kompliziert und häufig unzureichend ist.

[0020] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, zum Abtasten der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts mittels eines entsprechend dem eindimensionalen Funktionsprinzip der Laser-Triangulation arbeitenden Laser-Scanners ein Verfahren zu schaffen, das eine dreidimensionale Datenerfassung der Oberfläche mit einer Kontrolle der Datenerfassung kombiniert, eine Anzeige von Informationen in intuitiver und einfacher Weise zur Benutzerführung bei der Datenerfassung ermöglicht und darüber hinaus gegebenenfalls auch in der Lage ist, voll- oder teilautonom zu arbeiten.

[0021] Gemäß der Erfindung, die sich auf ein Verfahren der eingangs genannten Art bezieht, wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Abtastbewegung des Laserstrahls durch ein im Strahlverlauf angeordnetes, um zwei zueinander senkrecht stehende Schwenkachsen voneinander unabhängig schwenkbare Strahlablenmittel vorgenommen wird, dass die Ebene, in welcher die Triangulation vorgenommen wird, durch die effektiven Positionen des Strahlablenmittels, des Abtastpunktes auf der Oberfläche des Objekts sowie des optischen Empfangsdetektors festgelegt wird und auch die erste der beiden Schwenkachsen in dieser Ebene verlaufen kann, dass das Schwenken des Strahlablenmittels um die zweite der beiden Schwenkachsen einer Abtastbewegung des Strahls in der Triangulationsebene entspricht, dass die Geschwindigkeit der Schwenkbewegung des Strahlablenmittels um die zweite Schwen-

kachse höher als diejenige des Strahlablenmittels um die erste Schwenkachse gewählt wird, dass der Bereich, die Reihenfolge und die Auflösung der Erfassung der Daten von Abtastpunkten mittels einer zentralen Elektronik im Bereich der Empfangsreichweite gesteuert wird, und dass derselbe Laser-Lichtstrahl sowohl zum Messen als auch zum Anzeigen der Daten der Abtastpunkte verwendet wird.

[0022] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein großer Teil der Probleme gelöst, die von unvollständiger oder falscher Datenerfassung ausgehen. Darüber hinaus zeigt das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung eine Reihe weiterer nützlicher Eigenschaften.

[0023] Eine die gestellte Aufgabe lösende Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäß arbeitenden Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass eine kollimierte Laser-Lichtquelle vorgesehen ist, von der ein pulsmodulierter Laserstrahl ausgeht, dass zur Auslenkung des Laserstrahls zur Oberfläche des Objekts hin ein Strahlablenmittel vorgesehen ist, das um zwei zueinander senkrecht stehende Abtastachsen schwenkbar ist, dass zum Auffangen des von einem Abtastpunkt an einer Oberflächenstelle rückgestreuten Lichts ein eindimensionaler optischer Empfangsdetektor vorgesehen ist, der in Bezug auf das Strahlablenmittel einen feststehenden effektiven direkten Abstand hat, so dass sich zur Erzielung einer dreidimensionalen Abbildungsinformation das Prinzip der Triangulation anwenden lässt, indem sich, ausgehend von der bekannten Abstrahlrichtung, vom bekannten effektiven direkten Abstand zwischen dem Strahlablenmittel und dem optischen Empfangsdetektor und vom Einfallswinkel des rückgestreuten Lichts abhängig detektierte Position auf dem optischen Empfangsdetektor, für jeden Abtastpunkt auf der Oberfläche des Objekts die Daten ermitteln lassen.

[0024] Hierbei ist die Ebene, in welcher die Triangulation vorgenommen wird, durch die effektiven Positionen des Strahlablenmittels, des Abtastpunktes auf der Oberfläche des Objekts sowie des optischen Empfangsdetektors festgelegt, auch die erste der beiden Schwenkachsen in dieser Ebene verlaufen kann und die zweite der beiden Schwenkachsen des Strahlablenmittels so verläuft, dass sich eine Abtastbewegung des Strahls in der Triangulationsebene ergibt.

[0025] Die Geschwindigkeit der Schwenkbewegung des Strahlablenmittels um die zweite Schwenkachse ist höher als diejenige des Strahlablenmittels um die erste Schwenkachse bemessen. Der Empfangsdetektor ist zusammen mit dem Strahlablenmittel in einem beweglichen Teil um die erste Schwenkachse schwenkbar und es ist eine zentrale Elektronik zur Steuerung des Bereichs, der Reihenfolge und der

Auflösung der Erfassung der Daten von Abtastpunkten im Bereich der Empfangsreichweite vorgesehen.

[0026] Der intelligente Scanner arbeitet nach dem Prinzip der Triangulation und hat zwei senkrecht stehende Scan-Achsen sowie eine gepulste und kollimierte Laser-Lichtquelle, eine Kollimations- und eine Sammeloptik und einen 1D-Empfangsdetektor, z. B. einen PSD (Position Sensitive Detector) oder eine Zeilenkamera. Der mechanische Aufbau ermöglicht einerseits das punktweise Erfassen eines 3D-Oberflächenbereichs sowie andererseits durch geeignetes Positionieren der Scan-Achsen auch die gerichtete Anzeige eines Punktes oder einer z. B. zeilenweise aufgebauten Grafik. Dabei dient derselbe Laser-Lichtstrahl in vorteilhafter Weise sowohl zum Messen als auch zum Anzeigen.

[0027] In der Triangulationsebene erfolgt eine schnelle Scan-Bewegung, beispielsweise durch ein Spiegelrad oder einen resonant betriebenen MEMS-Mikrospiegel. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob die Bewegung oszillierend oder gleichförmig abläuft; entscheidend ist die hinreichend genaue Kenntnis des Scan-Winkels zum Zeitpunkt der Datenerfassung oder der Datenanzeige. Die schneller als die erste Schwenkachse schwenkbare zweite Schwenkachse ist nicht positionierbar.

[0028] Um im dreidimensionalen Raum Abtastpunkte oder Anzeigepunkte anfahren zu können, gibt es gemäß der vorliegenden Erfindung die erste, langsamere schwenkbare und vorteilhaft positionierbare Schwenkachse senkrecht zur zweiten Schwenkachse. Die erste Schwenkachse wird beispielsweise mit einem positionsgeregelten Motor angetrieben. Es können also mit einem 1D-Empfangsdetektor sowie der Kenntnis der Auslenkungen der beiden Scanachsen die 3D-Positionen beliebiger Raumpunkte innerhalb des Messbereichs vermessen werden.

[0029] Die Vorrichtung kann mobil ausgeführt werden und lässt sich sowohl handgeführt als auch automatisch, z. B. an einem Roboter, einsetzen. In diesen Fällen ist ein System zur messtaktsynchronen 3D-Posenerfassung notwendig, z. B. ein 3D-Tracking-System, ein Messarm, eine Roboterpositionserfassung, um das Sensor-Koordinatensystem im Raum zu referenzieren. Ein feststehender Einsatz ist ebenfalls möglich, hier kann der Sensor alleine betrieben werden.

[0030] Die Posenerfassung ist nicht Teil der vorliegenden Erfindung; hierfür gibt es viele Systeme auf dem Markt.

[0031] Im Datenerfassungsmodus bewegen sich entweder eine oder beide Schwenkachsen, wobei der Bewegungsraum und der Bewegungsablauf der Achsen unabhängig voneinander konfiguriert werden

kann oder von einer zentralen Logik gesteuert wird. Der Triangulationsscanner nach der vorliegenden Erfindung verfügt also über eine einstellbare Region of Interest (ROI), die der Messaufgabe angepasst werden kann oder automatisch von der zentralen Elektronik optimiert werden kann. Weiterhin entscheidet die Geschwindigkeit der Achsen über die Abtastpunktdichte, so dass die ROI auch über eine einstellbare Auflösung wenigstens in einer Richtung verfügt.

[0032] Die punktweise Datenerfassung hat also entscheidende Vorteile. Zum einen lässt sich so ohne Verringerung der Messrate die ROI flexibel nutzen; zum Anderen ist es möglich, bei jedem einzelnen Abtastpunkt die Laserstrahlintensität der Messaufgabe anzupassen sowie dem Messwert einen Intensitätswert zuzuordnen. Diese Intensität kann einerseits als Maß der Reflektivität als ein Grauwert interpretiert werden und eine Texturierung der Oberfläche so ermöglichen und andererseits auch als Gütewert der Messung dienen.

[0033] Der Bereich, die Reihenfolge und die Auflösung der Datenerfassung können also von der zentralen Elektronik im Bereich der Sensorreichweite aktiv beeinflusst werden. Dies ist sowohl bei Kenntnis des zu vermessenden Objektes als auch bei unbekanntem Objekt von Vorteil.

[0034] Im Anzeigemodus werden beide Schwenkachsen genutzt, um ein Bild zu projizieren und/oder eine Richtung oder Position auf einer bekannten Oberfläche zu zeigen, vergleiche DE 10 2006 035 292 A1. Dabei wird die Laserstrahlquelle so gepulst, dass die gewünschten, mittels der zweiten, also der schneller schwenkenden Schwenkachse abgetasteten Winkelbereiche belichtet werden. Die erste, also langsamere Schwenkachse wird entsprechend der gewünschten Anzeigerichtung positioniert oder so bewegt, dass sich zeilenweise ein Bild aufbauen kann. Es können allgemein Richtungen bei räumlich bekannter Projektionsfläche, auch Positionen auf dieser, oder einfache Grafiken angezeigt werden.

[0035] Die Anzeige kann den Benutzer durch die Messaufgabe führen, z. B. noch abzutastende Bereiche zeigen, Statusmeldungen ausgeben und vieles mehr. Speziell in der Medizintechnik kann der Laser-Scanner nach der vorliegenden Erfindung auch benutzt werden, um nach der erfolgreichen Registrierung eines Patienten im Operationssaal dem Chirurgen Einstichpunkte oder Schnittstellen anzuzeigen, z. B. in der minimal-invasiven Chirurgie. Auch in anderen Anwendungen kann die Projektion oder Anzeige von Positionen in der Realität nützlich sein. So können z. B. vor der Vermessung eines bekannten Objektes die interessierenden Messstellen markiert werden.

[0036] Das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung bietet also durch die Kombination von 3D-Mess- und Anzeigefunktionen sehr vielfältige Möglichkeiten zur interaktiven Benutzerführung. Speziell in der Medizintechnik kann dieser Funktionsumfang sehr gut genutzt werden, aber auch viele andere Bereiche bieten sich an.

[0037] Die vorliegende Erfindung zeichnet sich durch folgende Merkmale und Vorteile aus.

[0038] Das eindimensionale Funktionsprinzip der Laser-Triangulation wird durch die Abtastbewegung der beiden Schwenkachsen dahingehend erweitert, dass 3D-Koordinaten von Punkten auf einer 3D-Oberfläche eines Objektes erfasst werden können. Durch die schnelle Abtastbewegung in der Triangulationsebene wird das Prinzip um eine Dimension erweitert. Der 1D-Detektor hinter einer Sammelloptik, z. B. einer Zeilenkamera oder einem PSD, liefert den ersten Messwert, die Winkelauslenkung der schnellen Schwenkachse den zweiten.

[0039] Der dadurch entstehende zweidimensionale Messbereich ist die Schnittfläche zwischen Sichtbereich der Detektoroptik und dem Abtastbereich des Laserstrahls. Die langsamere Abtastbewegung dreht den vorstehend beschriebenen Triangulationsscanner senkrecht zu seiner Schwenkachse und ermöglicht so die Erfassung der dritten Dimension des Abtastpunktes.

[0040] Durch die unabhängige Ansteuerung der beiden Schwenkachsen lässt sich der Messbereich des Sensors auf bestimmte Raumsektoren beschränken (ROI; Region of Interest), ohne dass sich die Messrate verringert, die durch den Messtakt des 1D-Empfangsdetektors bestimmt wird. Die Auflösung der Messung in den Abtastrichtungen ist ebenfalls unabhängig von der Messrate durch Wahl der Geschwindigkeiten der Abtastbewegungen frei einstellbar. Es ist kein Verfahren und keine Vorrichtung bekannt, die diese Funktionalitäten bieten.

[0041] Es besteht die Möglichkeit, neben der Datenerfassung auch positions- und/oder richtungsgebundene Informationen in der Realität darzustellen. Dabei wird die gleiche Technik wie bei der Datenerfassung genutzt; es sind also keine zusätzlichen Komponenten erforderlich.

[0042] Durch Kombination der Bewegungen der beiden Schwenkachsen und entsprechend gepulstem Laser ist auch die Darstellung von Grafiken möglich. Diese Funktion kann unabhängig von der Datenerfassung benutzt werden, z. B. um Ergebnisse anzuzeigen, kann aber auch den Benutzer während der Datenerfassung leiten. Auch eine gleichzeitige Anzeige und Datenerfassung ist möglich. In DE 10 2006 035 292 A1 wird eine solches Anzeige-

vorrichtung vorgestellt, welche hier um die Funktion der Datenerfassung erweitert ist.

[0043] Durch den auf zwei Dimensionen erweiterten Messbereich der Triangulation mittels der schnellen Schwenkachse entsteht als Messbereich eine relativ große Fläche. Die optische Abbildung auf den Empfangsdetektor ist daher meist unscharf. Bei Verwendung eines Lasers als kollimierte Lichtquelle können bei Messungen auf relativ zur Laserwellenlänge rauen Oberflächen starke Interferenzeffekte (Speckles) das Bild auf dem Empfangsdetektor stark verunsichern. Der Effekt wird durch Unschärfe verstärkt.

[0044] Zur Vermeidung dieses Problems wird gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung eine Speckle-reduzierte Lichtquelle verwendet, die einen breiteren Wellenlängenbereich abdeckt als Laserlicht in üblicher Weise und zudem weniger kohärent ist. In Betracht kommen Superluminiszenzdioden (SLD) oder deutlich unter Nennleistung betriebene Hochleistungslaserdioden.

[0045] Vorteilhafte und zweckmäßige Weiterbildungen und Ausgestaltungen des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung sind in den sich auf den Patentanspruch 1 unmittelbar oder mittelbar rückbeziehenden Ansprüchen angegeben.

[0046] Eine besonders vorteilhafte Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung besteht in der Medizintechnik, insbesondere bei minimal-invasiven chirurgischen Eingriffen. Es ist eine einfache, auch interaktiv geführte Patientenregistrierung möglich, wobei eine Anzeige von die Operation betreffenden Informationen erhalten wird.

[0047] Die vorliegende Erfindung ist aber auch zur Anwendung in der Industrie und im Gewerbe gut geeignet, z. B. im Zusammenhang mit interaktiv geführten Vermessungs- und Kontrollaufgaben, mit der Anzeige von Messpositionen, mit einer halbautomatischen Datenerfassung durch automatisch optimierten Messbereich oder mit einer vollautomatischen Datenerfassung und Anzeige.

[0048] Die Erfindung wird nachfolgend im Einzelnen anhand eines in einer Figur schematisch dargestellten, vorteilhaften Ausführungsbeispiels einer Sensorvorrichtung zur Abtastung einer Objektoberfläche erläutert.

[0049] In dem in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiel ist in einer ersten Variante eine kollimierte Laser-Lichtquelle **1a** in einem feststehenden Teil **2** der Sensorvorrichtung untergebracht. In einer zweiten Variante ist eine kollimierte Laser-Lichtquelle **1b** in einem beweglichen Teil **3** der Sensorvorrichtung untergebracht. Bei der ersten Variante tritt der in der Laser-Lichtquelle **1a** erzeugte Messlichtstrahl

durch eine Hohlwelle **4** eines Antriebsmotors **5** koaxial in den beweglichen Teil **3** ein und beleuchtet dort eine sich mit dem beweglichen Teil um eine erste Schwenkachse **6** mitdrehende Ablenkeinheit **7**, die um eine senkrecht zur Schwenkachse **6** verlaufende, zweite Schwenkachse **8** schwenkbar ist. In dem in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiel verläuft die erste Schwenkachse **6** in der Zeichenebene und die zweite Schwenkachse **8** senkrecht durch die Zeichenebene hindurch.

[0050] Bei der zweiten Variante wird das um die Schwenkachse **8** schwenkbare Ablenkmittel **7** von dem in der Laser-Lichtquelle **1b** erzeugten Messlichtstrahl aus beleuchtet, wobei eine koaxiale Position der Laser-Lichtquelle **1b** auf der Schwenkachse **6** nicht unbedingt notwendig ist. Die Winkelgeschwindigkeit der zweiten Schwenkachse **8** ist erheblich höher bemessen als die Winkelgeschwindigkeit der ersten Schwenkachse **6**.

[0051] Der vom Ablenkmittel **7** abgelenkte Messlichtstrahl überstreicht infolge der Schwenkung des Ablenkmittels **7** um seine Schwenkachse **8** einen Abtastbereich **9** und trifft auf die zu vermessende Oberfläche **10** eines Objekts **11** in einem Punkt P an der Oberflächenstelle **12** auf. Die Schwenkachse **8** ist dabei im dargestellten Beispiel um einen Winkel α aus ihrer zentralen Ruhelage ausgelenkt. Das von der Oberfläche **10** des Objekts **11** im Punkt P diffus reflektierte Messlicht wird von einer Sammeloptik **13** gebündelt auf einen Empfangsdetektor **14** abgebildet. Als Empfangsdetektor **14** kann z. B. eine Zeilenkamera oder ein analoger PSD (Position Sensitive Detector) verwendet werden.

[0052] Der Empfangsdetektor **14** liefert das Bild (falls Zeilenkamera) bzw. den Auftreffpunkt des gesammelten Lichtes als Koordinate x (falls analoges PSD) an eine zentrale Elektronik **15**. Im Falle einer Zeilenkamera als Empfangsdetektor **14** muss in der zentralen Elektronik **15** die Koordinate x aus dem Bild ermittelt werden. Zusammen mit dem Auslenkwinkel α der zweiten, schnellen Schwenkachse **8** ist nun der Abtastpunkt P in der Triangulationsebene bestimmt. Die Triangulationsebene ist durch die effektiven Positionen der Ablenkeinheit **8**, des Abtastpunktes P auf der Oberfläche **10** des Objekts **11** sowie des optischen Empfangsdetektors **14** festgelegt. Die erste Schwenkachse **6** liegt in dieser Triangulationsebene.

[0053] Mittels des Antriebsmotors **5** kann die Schwenkachse **6** und damit der bewegliche Teil **3** samt der Ablenkeinheit **7**, der Sammeloptik **13** und dem Empfangsdetektor **14** um einen Winkel β in Bezug auf den feststehenden Teil **2** ausgelenkt werden. Der Bewegungsablauf ist dabei beliebig. Der Antriebsmotor **5** ist über einen Drehgeber **16** positionsgeregelt, der im dargestellten Ausführungsbeispiel auf der dem Antriebsmotor **5** abgewandten Sei-

te des feststehenden Teils **2** angebracht ist, jedoch auch auf der Seite des Antriebsmotors **5** angebracht werden kann oder im Antriebsmotor **5** selbst integriert sein kann. Der Drehgeber **16** liefert die dritte Koordinate β des Abtastpunktes P(α , x, β).

[0054] Die Daten- und Energieübertragung zwischen dem feststehenden Teil **2** und dem beweglichen Teil **3** kann über Kabel (bei limitiertem Bewegungsraum des Schwenkwinkels β der Schwenkachse **6**), über Schleifkontakte oder berührungslos vorgenommen werden. Die Ablenkeinheit **7** bildet infolge ihrer Abtastbewegungsfähigkeit zusammen mit dem beweglichen Teil **3** ein einfaches Strahlablenmittel um die beiden Achsen **6** und **8** für eine zweidimensionale Abtastung der Oberfläche **10** des Objekts **11**.

[0055] Die zentrale Elektronik **15** koordiniert den Messablauf und ordnet jeder Messung einen Zeitsempel zu. Ein Datensatz besteht aus den Koordinaten α , β und x sowie dem Zeitstempel und der Laserintensität P_i . Über eine Datenschnittstelle **17**, **18** werden die Messdaten zusammen mit eventuellen Statusinformationen ausgegeben und Steuerkommandos und Anzeigeeinformationen empfangen.

[0056] Innerhalb der Sensorvorrichtung übernimmt die zentrale Elektronik **15** folgende Aufgaben:

- Generieren eines Messtaktes und Ansteuern und Auslesen des Empfangsdetektors **14** im Messtakt sowie im Fall eines digitalen Empfangsdetektors **14** die Generierung der Koordinate x aus den Bilddaten;
- die Positionsregelung des die Schwenkachse **6** und damit den beweglichen Teil **3** antreibenden Antriebsmotors **5** über den Drehgeber **16** sowie zum Messtakt synchrones Auslesen des Auslenkwinkels β ;
- die Steuerung der schnellen Schwenkachse **8** sowie zum Messtakt synchrones Auslesen des Auslenkwinkels α ;
- die Intensitätsregelung und Pulsung der Laser-Lichtquelle **1a** bzw. **1b**, ausgehend von der Intensität des am Empfangsdetektor **14** empfangenen Lichtes oder in Abhängigkeit von von außen vorgegebenen Werten; und
- im Anzeigemodus die Ansteuerung der Schwenkachsen **6** und **8** sowie die Pulsung der Laser-Lichtquelle **1a** bzw. **1b**, um ein von außen übermitteltes Bild darzustellen.

Bezugszeichenliste

1a, 1b	Laser-Lichtquelle
2	Feststehender Teil
3	Beweglicher Teil
4	Hohlwelle
5	Antriebsmotor
6	Erste Schwenkachse
7	Ablenkeinheit

8	Zweite Schwenkachse
9	Abtastbereich
10	Oberfläche
11	Objekt
12	Oberflächenstelle
13	Sammeloptik
14	Empfangsdetektor
15	Zentrale Elektronik
16	Drehgeber
17, 18	Datenschnittstelle
α	Winkel
β	Winkel
Pi	Laserstrahlintensität
x	Koordinate

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abtasten der dreidimensionalen Oberfläche eines Objekts mittels eines Laser-Scanners,

dessen von einer Lichtquelle ausgehender, pulsmodulierter Laserstrahl einer Abtastbewegung unterworfen wird und danach entsprechend dieser Abtastbewegung auf der Oberfläche des Objekts an einem Abtastpunkt auftrifft, von dem er rückgestreut und als Streulicht in einem optischen Empfangsdetektor erfasst wird,

wobei dann zur Erzielung einer dreidimensionalen Abbildungsinformation das Prinzip der Triangulation angewandt wird, indem, ausgehend von der bekannten Abstrahlrichtung, vom bekannten direkten Abstand zwischen der Lichtquelle und dem optischen Empfangsdetektor und vom Einfallswinkel des rückgestreuten Lichts abhängig, bestimmte Koordinaten (x) auf dem optischen Empfangsdetektor, für jeden Abtastpunkt auf der Oberfläche des Objekts die Daten ermittelt werden,

wobei die Abtastbewegung des Laserstrahls durch ein im Strahlverlauf angeordnetes, um zwei zueinander senkrecht stehende Schwenkachsen (**6, 8**) voneinander unabhängig schwenkbares Strahlablenmittel (**7**) vorgenommen wird,

dass die Ebene, in welcher die Triangulation vorgenommen wird, durch die effektiven Positionen des Strahlablenmittels, des Abtastpunktes (P) auf der Oberfläche (**10**) des Objekts (**11**) sowie des optischen Empfangsdetektors (**14**) festgelegt wird und auch die erste (**6**) der beiden Schwenkachsen in dieser Ebene verlaufen kann,

dass das Schwenken des Strahlablenmittels um die zweite (**8**) der beiden Schwenkachsen einer Abtastbewegung des Strahls in der Triangulationsebene entspricht, und

dass der Bereich, die Reihenfolge und die Auflösung der Erfassung der Daten von Abtastpunkten (P) mittels einer zentralen Elektronik (**15**) im Bereich der Empfangsreichweite gesteuert wird, derselbe Laser-Lichtstrahl sowohl zum Messen als auch zum Anzeigen der Daten der Abtastpunkte (P) verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Geschwindigkeit der Schwenkbewegung des Strahlablenmittels um die zweite Schwenkachse (**8**) höher als diejenige des Strahlablenmittels um die erste Schwenkachse (**6**) gewählt wird, derselbe Laser-Lichtstrahl sowohl zum Messen als auch zum Anzeigen der Daten der Abtastpunkte (P) verwendet wird, neben der Datenerfassung auch positions- und/oder richtungsgebundene Informationen in der Realität dargestellt werden, wobei die gleiche Technik wie bei der Datenerfassung genutzt wird, ohne dass zusätzliche Komponenten erforderlich sind, indem im Anzeigemodus beide Schwenkachsen (**6, 8**) genutzt werden, um ein Bild zu projizieren und/oder eine Richtung oder Position auf einer bekannten Oberfläche zu zeigen und die Laserstrahlquelle (**1a, 1b**) so gepulst wird, dass die gewünschten, mittels der zweiten, also der schneller schwenkenden Schwenkachse (**8**) abgetasteten Winkelbereiche belichtet werden und dass die erste, also langsamere Schwenkachse (**6**) entsprechend der gewünschten Anzeigerichtung positioniert oder so bewegt wird, dass sich zeilenweise ein Bild aufbauen kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die momentanen Abtastwinkel (α , β) des Laserstrahls durch Erfassung des momentanen Schwenkwinkels der beiden Schwenkachsen (**8, 6**) des Strahlablenmittels (**7**) zum Zeitpunkt der Datenerfassung und/oder der Datenanzeige in der zentralen Elektronik (**15**) registriert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schwenkachse (**8**), also die die Abtastbewegung des Strahls in der Triangulationsebene erzeugende Achse des Strahlablenmittels nicht positioniert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich im Datenerfassungsmodus entweder eine oder beide Schwenkachsen (**6, 8**) bewegen, wobei der Bewegungsraum und der Bewegungsablauf der Achsen unabhängig voneinander konfiguriert oder von der zentralen Elektronik (**15**) gesteuert werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei jedem einzelnen Abtastpunkt (P) die Laserstrahlintensität der Messaufgabe angepasst wird und dass dem empfangsseitig erfassten Messwert ein Intensitätswert zugeordnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Benutzer mittels der Anzeige durch eine Messaufgabe geführt wird, indem noch abzutastende Bereiche gezeigt werden, Statusmeldungen ausgegeben werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass speziell in der Medizintechnik die Abtastung mittels des Laser-Scanners benutzt wird, um nach einer erfolgreichen Registrierung eines Patienten im Operationssaal einem Chirurgen Einstichpunkte oder Schnittstellen anzuzeigen.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Vermessung eines bekannten Objektes mittels des Laser-Scanners interessierende Messstellen markiert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Elektronik (**15**) den Messablauf koordiniert und jeder Messung einen Zeitstempel t zuordnet, wobei ein Datensatz für einen Abtastpunkt (P) aus den Schwenkwinkelkoordinaten (α , β) der beiden Schwenkachsen (**8**, **6**) und der auf Triangulation basierenden Abstandscoordinate (x) sowie einem Zeitstempel und der Laserstrahlintensität (P_i) besteht.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass über eine Datenschnittstelle (**17**, **18**) die Messdaten zusammen mit eventuellen Statusinformationen ausgegeben und Steuerkommandos und Anzeigeeinformationen empfangen werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Elektronik (**15**) folgende Aufgaben übernimmt:

- a) Generieren eines Messtaktes und Ansteuern und Auslesen des Empfangsdetektors (**14**) im Messtakt sowie im Fall eines digitalen Empfangsdetektors die Generierung der die Strahlstreckenlänge betreffenden Coordinate (x) aus den Bilddaten;
- b) die Positionsregelung des die erste Schwenkachse (**6**) und damit den beweglichen Teil (**3**) antreibenden Antriebsmotors (**5**) über einen Drehgeber (**16**) sowie zum Messtakt synchrones Auslesen des durch die erste Schwenkachse (**6**) bestimmten Auslenkwinkels (β);
- c) die Steuerung der zweiten, schnellen Schwenkachse (**8**) sowie zum Messtakt synchrones Auslesen des durch die zweite Schwenkachse (**8**) bestimmten Auslenkwinkels (α);
- d) die Intensitätsregelung und Pulsung der Laser-Lichtquelle (**1a** bzw. **1b**), ausgehend von der Intensität des am Empfangsdetektor (**14**) empfangenen Lichtes oder in Abhängigkeit von von außen vorgegebenen Werten; und
- e) im Anzeigemodus die Ansteuerung der Schwenkachsen (**6**, **8**) sowie die Pulsung der Laser-Lichtquelle (**1a** bzw. **1b**), um ein von außen übermitteltes Bild darzustellen.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

