

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. März 2010 (18.03.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/029163 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/25 (2006.01) *A61B 5/107* (2006.01)
A61B 5/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/061827
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. September 2009 (11.09.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 044 522.3
12. September 2008 (12.09.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DEGUDENT GMBH** [DE/DE]; Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ERTL, Thomas** [DE/DE]; Seegartenstr. 4, 61197 Florstadt (DE).
- (74) Anwalt: **STOFFREGEN, Hans-Herbert**; Friedrich-Ebert-Anlage 11b, 63450 Hanau (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING CONTOUR DATA AND/OR OPTICAL CHARACTERISTICS OF A THREE-DIMENSIONAL SEMITRANSSPARENT OBJECT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERFASSUNG VON KONTURDATEN UND/ODER OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN EINES DREIDIMENSIONALEN SEMITRANSARENTEN OBJEKTS

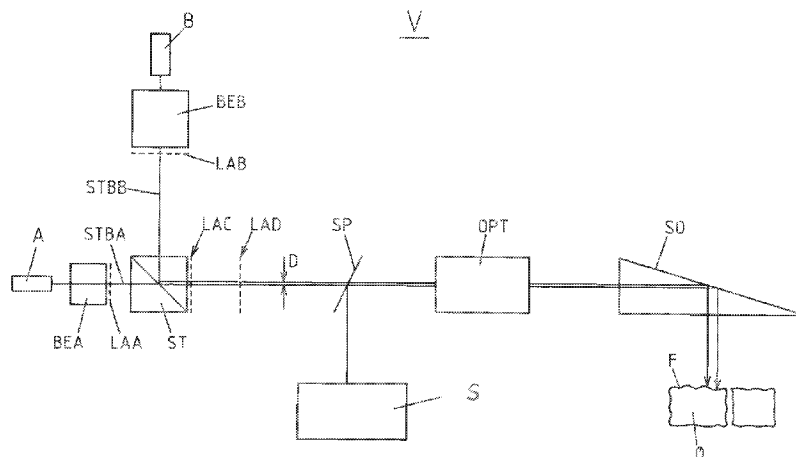


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting contour data of a three-dimensional object, wherein a grid of illumination points of a multi-point illumination is projected onto the object using an optical device and these illumination points are then projected back onto a sensor comprising pixels. In order to achieve an improvement of the signal-noise ratio and to reduce the background signal, it is proposed that a grid of illumination points of at least two multi-point illuminations are projected onto the object, that the beams of the illuminating points of the multi-point illuminations are modulated in intensity and that a frequency-selective and/or phase-selective detection is performed of mutually associated first and second illumination points back-projected onto the sensor, wherein the first illumination points derive from a first of the at least two multipoint illuminations and the second illumination points derive from a second of the at least two multipoint illuminations and wherein differences in intensity and/or frequency of the measurement signals of adjacent pixels of the sensor on which the mutually associated first and second image points are depicted are evaluated for the purposes of determining the contour data.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/029163 A1



SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erfassung von Konturdaten eines dreidimensionalen Objekts, wobei mittels einer optischen Einrichtung Raster von Beleuchtungspunkten einer Multipunktbeleuchtung auf das Objekt projiziert und diese sodann auf einen Pixel aufweisenden Sensor rückprojiziert werden. Um eine Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses und eine Reduktion des Hintergrundsignals zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass Raster von Beleuchtungspunkten von zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen auf das Objekt projiziert werden, dass die Strahlungen der Beleuchtungspunkte der Multipunktbeleuchtungen in ihren Intensitäten moduliert werden und dass eine frequenz- und/oder phasenselektive Detektion von auf den Sensor rückprojizierten einander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkten erfolgt, wobei die ersten Beleuchtungspunkte von einer ersten und die zweiten Beleuchtungspunkte von einer zweiten der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen stammen und zur Ermittlung der Konturdaten Unterschiede von Intensität und/oder Frequenz der Messsignale benachbarter Pixel des Sensors ausgewertet werden, auf die die einander zugeordneten ersten und zweiten Bildpunkte abgebildet werden.

Verfahren und Anordnung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts, wobei ein Einzellichtstrahlen aufweisendes Strahlenbündel von zumindest einer Lichtquelle zur Multipunktbeleuchtung des Objekts erzeugt wird, welches über eine Fokussieroptik auf das Objekt geleitet wird und die vom Objekt reflektierte Strahlung von einem Pixel aufweisenden Bildsensor erfasst werden. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts im Dentalbereich wie Zahn oder Zahnrestauration, umfassend zumindest eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Einzelstrahlen aufweisendes Strahlenbündels, einen die Einzelstrahlen auf das Objekt leitende Fokussieroptik sowie einen Pixel aufweisenden Bildsensor, der mit von dem Objekt reflektierte Strahlung beaufschlagbar ist.

Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Erfassung von Konturdaten eines dreidimensionalen Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts, wie zahnmedizinischen Objekts, wobei vorzugsweise mittels einer optischen Einrichtung vorzugsweise für konfokale oder OCT (optische Kohärenztomografie)- oder depth of focus - Strahlengänge Raster von Beleuchtungspunkten einer Multipunktbeleuchtung auf das Objekt projiziert und diese sodann auf einen Pixel aufweisenden Sensor rückprojiziert werden.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Anordnung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen Objektes, insbesondere eines semitransparenten Objektes wie zahnmedizinischen Objekts, umfassend eine Multipunktbeleuchtung sowie einen Pixel aufweisenden Sensor, wobei zwischen der Multipunktbeleuchtung und dem Objekt und diesem und dem Sensor eine optische Einrichtung für vorzugsweise konfokale oder OCT (optische Kohärenztomografie)- oder depth of focus - Strahlengänge angeordnet wird, über die zum einen von der Multipunktbe-

leuchtung ein Raster von Beleuchtungspunkten auf das Objekt projiziert und zum anderen die Beleuchtungspunkte auf den Sensor rückprojiziert werden.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art ist in der WO2006/048164 A2 beschrieben.

Bei dem bekannten Verfahren wird das Strahlenbündel vor Auftreten auf einen Strahlteiler in räumlich beabstandete parallele Einzellichtstrahlen aufgeteilt, wobei die Einzellichtstrahlen einen Abstand derart zueinander aufweisen, dass ein Auftreffen von reflektierten Einzellichtstrahlen auf unmittelbar aneinander grenzende Pixel des Bildsensors unterbleibt. Bei dem Verfahren wird eine Interferenz- und oder Autokorrelationsmessung eingesetzt, wobei in einem Strahlteiler aus dem Strahlenbündel ein Referenzstrahl abgespalten und von einem entlang des Referenzstrahls verschiebbaren Referenzspiegel reflektiert wird. Durch Verschieben des Referenzspiegels kann eine Position einer Signalgewinnungsfläche relativ zum Objekt festgelegt werden.

Aus der DE 699 28 453 T2 ist eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Objektoberfläche eines Zahnbereichs bekannt. Die Vorrichtung umfasst eine Beleuchtungseinheit zum Bereitstellen einer Anordnung von Auflicht-Strahlen, welche zu dem Zahnbereich entlang einem optischen Pfad durch ein Sondenelement übertragen werden, um beleuchtete Punkte auf dem Bereich zu erzeugen. Ferner ist eine Licht fokussierende Optik vorgesehen, welche eine oder mehrere fokale Ebenen von der Abschlussfläche bei einer durch die Optik veränderbaren Position definiert, wobei jeder Lichtstrahl seinen Fokus auf einer der fokalen Ebenen hat. Ferner ist ein Translationsmechanismus vorgesehen zum Verlagern der fokalen Ebenen relativ zum Zahnbereich entlang einer Achse (Z), welche definiert ist durch die Ausbreitung der Auflicht-Strahlen.

Die von dem Zahnbereich reflektierte Strahlung wird von einem Detektor aufgenommen, der eine Anordnung von Erfassungselementen zum Messen der Intensität von jedem einer Mehrzahl von abbildenden Lichtstrahlen aufweist, welche von den Punkten zurückkehren und sich entlang einem optischen Pfad ausbreiten, welcher entgegengesetzt zu denen der Auflicht-Strahlen ist. Im Strahlengang ist zudem ein Spiegel ange-

ordnet, welcher zwischen der Beleuchtungseinheit und der Licht fokussierenden Optik vorgesehen ist, wobei der Spiegel eine zentrale Apertur hat und die Auflicht-Strahlen in Richtung der Licht fokussierenden Optik leiten kann und die abbildenden Lichtstrahlen zu einem Detektor mittels einer Fläche des Spiegels, welches die Apertur umgibt, reflektieren kann. Mit dem Detektor ist ein Prozessor zum Bestimmen für jeden Lichtstrahl einer punktspezifischen Position verbunden, welcher die Position der entsprechenden Fokalebene der einen oder mehreren Fokalebenen ist, welcher die maximale gemessene Intensität des zurückgekehrten Lichtstrahls ergeben, und zum Erzeugen basierend auf den punktspezifischen Positionen, von Daten, welche repräsentativ für die Topologie des Bereichs sind.

Den oben beschriebenen Verfahren ist gemeinsam, dass vorzugsweise Licht aus einer bestimmten Entfernung (Z-Tiefe) detektiert wird. Eine Messung des Oberflächenprofils bzw. Volumens wird durch Durchfahren der Z-Koordinate, d. h. der Tiefe, mittels einer beweglichen Optik erreicht.

Von CD- / DVD-Playern ist ebenfalls bekannt, dass sich eine Tiefenselektion auch über Optik mit hoher numerischer Apertur erreichen lässt, die schnell defokussiert, wenn man die Soll-Z-Tiefe verlässt.

Es werden sowohl Vollfeldbeleuchtungen mit strukturiertem Licht, wie in der EP 0968687 A2, als auch Multipunktbeleuchtungen verwendet, wie diese in der WO2006/048163 A2 sowie der DE 699 28 453 C2 bzw. der WO00/08415 A1 beschrieben sind.

Der Nachteil von Vollfeldbeleuchtungen ist ein hoher Hintergrundsignalpegel, der durch Streuung von Beleuchtungslicht innerhalb des semitransparenten Objekts hervorgerufen wird sowie ein hoher Bedarf an Beleuchtungsintensität.

Bei Multipunktanordnungen ist der Bedarf an Beleuchtungsintensität deutlich geringer, jedoch kann auch hier der Fall auftreten, dass das Signal-Rauschverhältnis nicht ausreicht, bzw. die Empfindlichkeit gegen Umgebungslicht vermindert werden muss.

Die EP-A-1 548 481 bezieht sich auf ein Konfokalmikroskop, das mit polarisiertem Licht arbeitet. Ein Übersprechen der Strahlen einzelner Strahlenbündel soll vermieden werden.

Gegenstand der DE-A-10 2005 043 443 ist ein Lumineszenzmikroskop, wobei Bereiche eines zu messenden Objekts in unterschiedliche Lumineszenzzustände angeregt werden.

Nach der DE-A-197 37 760 sollen dreidimensionale Strukturen mittels richtungsabhängig codierter zeitlich erfassbarer Wellenzüge erfasst werden. Hierzu gelangt das Prinzip der Laufzeitmessung zur Anwendung.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass eine Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses und eine Reduktion des Hintergrundsignals erreicht wird. Es sollen mit hoher Genauigkeit Konturdaten des Objekts wie zumindest eines Zahns oder eines Bereichs eines solchen erfasst werden.

Die Aufgabe wird verfahrensmäßig dadurch gelöst, dass vorzugsweise jeder Punkt der Multipunktbeleuchtung in seiner Intensität moduliert wird und eine Frequenz- und gegebenenfalls phasenselektive Detektion erfolgt. Die Modulation erfolgt vorzugsweise durch eine sich räumlich und/oder zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung eines Messorts bzw. eines Sensorbereichs.

Insbesondere wird die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe dadurch gelöst, dass Beleuchtungspunkte der Raster von zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen auf das Objekt projiziert werden, dass die Strahlungen der Beleuchtungspunkte der Multipunktbeleuchtungen in ihren Intensitäten moduliert werden und dass eine frequenz- und/oder phasenselektive Detektion von auf den Sensor rückprojizierten einander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkten erfolgt, wobei die ersten Beleuchtungspunkte von einer ersten und die zweiten Beleuchtungspunkte von einer zweiten der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen stammen und dass zur Ermittlung der Konturdaten Un-

terschiede von Intensität und/oder Frequenz des Messsignals benachbarter Pixel des Sensors ausgewertet werden, auf die die einander zugeordneten ersten und zweiten Bildpunkte abgebildet werden.

Vorzugsweise wird in einer an sich bekannten Messanordnung (Punkterasterprojektion auf ein Objekt und Rückprojektion mittels konfokaler Optik mit Verfahren der Konfokalebene, oder ähnlichen Verfahren wie „Depth of Focus“) jeder Punkt einer Multi-punktbeleuchtung in seiner Intensität moduliert und es erfolgt eine frequenz- und ggf. phasenselektive Detektion, wobei durch die Modulation eine sich räumlich und zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung des Messorts- bzw. -bereichs und damit des Sensorbereichs, auf den der Messort bzw. -bereich abgebildet wird, ergibt.

Vorzugsweise werden dazu mindestens zwei Beleuchtungsquellen oder Lichtpunktgitter, die auch eine Matrix-LCD- oder DLP (Digital Light Processing)-Anordnung einschließen, verwendet, wobei die optische Achse der Lichtpunktgitter kollinear oder leicht gewinkelt zueinander angeordnet werden können. Die Strahlungen der Lichtpunktgitter werden unterschiedlich, vorzugsweise mit veränderter Phasenlage moduliert.

Aus Gründen der Vereinfachung wird nachstehend der Begriff Beleuchtungsquelle auch als Synonym für Lichtpunktgitter, das eine Matrix LCD- oder DLP-Anordnung einschließt, verwendet.

Im Fall zweier Beleuchtungsquellen liefert Beleuchtungsquelle A ein Beleuchtungspunkteraster A und Beleuchtungsquelle B ein Beleuchtungspunkteraster B. Dabei sind die Raster A und B leicht gegeneinander versetzt, so dass ein Beleuchtungspunkt aus Raster A von seinem korrespondierenden Punkt aus Raster B nur eine geringe Entfernung aufweist, jedenfalls deutlich geringer als der Abstand zum nächsten Rasterpunkt des eigenen Punkteraster. Insbesondere kann der Abstand zwischen zwei Beleuchtungspunkten eines Rasters oder Gitters im Bereich zwischen 100 μm bis 300 μm , insbesondere 200 μm , und der Abstand einander zugeordneter Beleuchtungspunkte der von den Rastern bzw. Gittern, die auf das Objekt abgebildet werden, im Bereich von 5 μm bis

100 μm , vorzugsweise zwischen 10 μm und 30 μm liegen, sofern es sich um eine kollineare Anordnung handelt, also die Strahlen der zumindest zwei Lichtpunktgitter in Richtung des Objekts parallel zueinander verlaufen. Der Abstand ist der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Beleuchtungspunkte in der Fokusebene der Multipunktbeleuchtung. Der Durchmesser eines scharf abgebildeten Beleuchtungspunktes sollte zwischen 5 μm und 40 μm liegen. Ferner ist der Abstand von einander zugeordneten Bildpunkten der abgebildeten Beleuchtungspunkteraster oder -gitter derart, dass in der Fokusebene eine Überlappung nicht erfolgt.

Grundsätzlich sollte dann, wenn die Bildpunkte scharf auf dem Objekt abgebildet sind, der Abstand der Mittelpunkte der Beleuchtungspunkte eines Rasters zumindest 3 mal größer, vorzugsweise 3 bis 15 mal größer als der Abstand zweier einander zugeordneter Bildpunkte sein.

Mit anderen Worten werden die Multipunktbeleuchtungen mit den von diesen erzeugten Bildpunkterastern derart zueinander abgebildet, dass ein von einem der Raster stammender Beleuchtungspunkt zu einem nächstliegenden und damit zugeordneten Beleuchtungspunkt des anderen Rasters einen Abstand aufweist, der zumindest 4-mal kleiner als der nächstliegende Abstand von benachbarten Bildpunkten eines jeden Beleuchtungspunkterasters ist.

Im kollinearen Fall werden bei Messung in der Fokusebene die Beleuchtungspunkte der Lichtquellen A und B an unterschiedlichen Orten (z.B. anderen Pixeln des Sensors) abgebildet. Falls jedoch defokussiert gemessen wird, werden die Beleuchtungspunkte unscharf und vergrößert auf das Objekt abgebildet und somit auch unscharf auf den Sensor rückabgebildet.

Dadurch erhalten benachbarte Pixel des Sensors jeweils auch Licht von der jeweils anderen Beleuchtungsquelle. Dadurch werden die Unterschiede (z. B. bei gegenphasiger Modulation) in den Signalen geringer. Ausgewertet wird der maximale Signalunterschied zwischen den benachbarten Pixeln des Sensors, als Indikator für die beste Fokussierung in einer bestimmten z-Distanz vom Sensor (Differentialmessung). Um den ent-

sprechenden Abstandswert in Richtung der optischen Achse (z-Achse) zu ermitteln, wird die fokale Ebene, d. h., Fokusebene entlang der z-Achse relativ zum Objekt verfahren. Dies erfolgt insbesondere durch Verstellen der Optik, über die die Beleuchtungspunkterraster bzw. -gitter und/oder die Messstrahlen auf den Sensor abgebildet werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Messung mit nur einem zugeordneten Pixel möglich. Der eine eng benachbarte Beleuchtungspunkt wird bei Messung in der Fokusebene „ins Leere“ abgebildet, während der andere direkt auf einen Pixel trifft. Im defokussierten Fall überlagert der jetzt größere Durchmesser des ursprünglich „ins Leere“ laufenden Beleuchtungspunkt den anderen Beleuchtungspunkt und vermindert bei beispielsweise gegenphasiger Modulation das Signal. Dies kann notwendig sein bei Sensoren mit einem Pixelabstand, der deutlich größer ist, als der Abstand zwischen den Beleuchtungspunkten der Beleuchtungsraster A und B, also der einander zugeordneten Beleuchtungspunkte.

Im Fall von leicht zueinander gewinkelt angeordneten Beleuchtungsquellen kann ein Beleuchtungsstrahl koaxial zur Messrichtung laufen, der andere kreuzt den ersten in der Fokusebene oder beide Beleuchtungsstrahlen laufen leicht gewinkelt zur Messrichtung.

In diesem Fall kann die Beleuchtungsoptik auch nur schwach fokussierend oder gar nicht fokussierend ausgelegt sein, da neben der Aufweitung durch Defokussierung sich auch die räumliche Lage zumindest eines der beiden Beleuchtungspunkte in Abhängigkeit vom Z-Abstand ändert.

Es bestehen mehrere Auswertungsmöglichkeiten:

1. Im Falle von zwei Lichtquellen wird vorzugsweise mit der halben Frequenz der geplanten Detektionsfrequenz und vorzugsweise 180° Phasenversatz beleuchtet. In der Fokusebene überlagern sich beide Beleuchtungsstrahlen und erzeugen die Detektionsfrequenz mit entsprechender Phasenlage.

Entsprechendes gilt für mehrere Lichtquellen z. B. 1/3 Frequenz und 120° Phasenversatz für 3 Lichtquellen etc.

Außerhalb der Fokusebene laufen die Beleuchtungsstrahlen auseinander und die Intensität der Detektionsfrequenz wird geringer.

2. Bei beispielsweise zwei sich kreuzenden Strahlen kann auch festgestellt werden, ob sich die zu messende Oberfläche oberhalb oder unterhalb der Fokusebene befindet, da sich die Strahlen in der Fokusebene kreuzen und sich somit die Phasenlage am Ort des jeweiligen Messpixels (bezogen auf ein Nachbarpixel) beim Durchlaufen der Fokusebene ändert. Dazu wird ein Modulationssignal z. B. + 90° zum Referenztakt und das andere -90° zum Referenztakt moduliert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform können vorzugsweise einzelne Beleuchtungspunkte oder Gruppen von Beleuchtungspunkten innerhalb des Beleuchtungsrasters mit unterschiedlicher Phasenlage und/oder Frequenz moduliert werden, um das Übersprechen der Messpunkte untereinander zu verringern. Dies kann beispielsweise mit einem DLP (Digital Light Processing ® Verfahren der Firma Texas Instruments) oder mit einem LCoS (Liquid Cristal on Silicon) Display erfolgen. Man kann dann mit Hilfe eines Referenztaktes das Signal unterschiedlicher Rasterpunkte nach Frequenz und Phasenlage trennen.

Erfindungsgemäß nutzt man das sich beim Durchfahren der Fokus- oder Schnittpunktebene verändernde Übersprechen (cross talk) zwischen benachbarten Beleuchtungspunkten, um die Konturdaten des zu messenden Objektes zu ermitteln. Im Falle gegenphasiger Modulation der Strahlungen der Beleuchtungspunkte der zumindest zwei Beleuchtungspunktgitter wird der maximale Signalunterschied zwischen benachbarten Pixeln eines Sensors genutzt, in deren Bereichen jeweils ein vom Objekt abgebildeter Beleuchtungspunkt des jeweiligen Lichtpunktgitters auftrifft, wobei die Beleuchtungspunkte einander so zugeordnet sind, dass diese in der Fokusebene einen Abstand aufweisen, der erheblich kleiner als der Abstand von Beleuchtungspunkten eines jeden Lichtpunktgitters. Diese Messart gelangt insbesondere bei Lichtpunktgittern zur An-

wendung, bei denen die Beleuchtungsstrahlen kollinear verlaufen. Treffen die Beleuchtungspunkte nicht in der Fokusebene auf das Objekt, so erfolgt eine Defokussierung mit der Folge, dass die Intensitäten der von dem Objekt auf den Sensor abgebildeten Beleuchtungspunkte sich teilweise überlagern, also ein Übersprechen erfolgt, so dass eine Intensitätsreduzierung eintritt, die mittels der Pixel ermittelt wird.

Es wird die lokale Kontrasterzeugung bzw. deren Änderung in eng benachbarten Bereichen der Pixel des Sensors genutzt.

Werden Beleuchtungsquellen bzw. Lichtpunktgitter mit Strahlen verwendet, die leicht gewinkelt zueinander angeordnet sind, so schneiden sich die nicht notwendigerweise fokussierten Strahlen (z. B. Laserstrahlung) der einander zugeordneten Beleuchtungspunkte in der Fokusebene bzw. in der als Fokusebene definierten Strahlenschnittpunktebene, so dass gleichfalls eine Signaländerung einzelner Pixel und/oder der Signalunterschied zwischen den einzelnen Pixeln zur Bestimmung des Abstands Z ausgewertet werden; denn im Schnittpunkt ist z. B. bei gegenphasig modulierten Beleuchtungsquellen bzw. Lichtpunktgittern, durch die das Beleuchtungspunkteraster bzw. -gitter auf das Objekt abgebildet wird, die Intensität Null oder nahezu Null, wenn die einander zugeordneten Beleuchtungspunkte scharf auf dem Objekt abgebildet sind, sofern die Strahlen fokussiert sind. Befindet sich die Fokusebene vor oder hinter der Objektoberfläche, so ergibt sich eine Intensität, die von der im Schnittpunkt abweicht.

Anstelle einer gegenphasigen Modulation kann auch eine Pulsmodulation erfolgen. Entsprechend wird die Frequenz bzw. Pulsfolge der auf die Pixel des Sensors auftreffenden Strahlung ausgewertet, um den Z -Abstand zu ermitteln, bei dem die Strahlen der einander zugeordneten Bildpunkte sich auf der Objektoberfläche schneiden.

Bei der gewinkelten Anordnung der Beleuchtungsquellen bzw. Lichtpunktgitter ist es nicht erforderlich, dass man die Defokussierung ausnutzt, da der Schnittpunkt der Strahlen und die sich hieraus ergebenden Signale zur Auswertung benutzt werden.

Eine Anordnung der eingangs genannten Art zeichnet sich dadurch aus, dass die Anordnung zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen aufweist, dass Abstand von benachbarten Bildpunkten zwischen den zumindest zwei Bildpunkterastern in der Fokusebene kleiner als Abstand der Bildpunkte im jeweiligen Bildpunkteraster ist.

Dabei können die Multipunktbeleuchtungen bzw. die von diesen erzeugten Lichtpunktegitter kollinear angeordnet sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Multipunktbeleuchtungen derart bzw. die Lichtpunktegitter zueinander angeordnet sind, dass die die Bildpunkte bildenden Strahlen geneigt zueinander verlaufen.

Unabhängig hiervon sollte Abstand zwischen den Bildpunkten in der Fokusebene eines jeden Bildpunkterasters zwischen $100\ \mu\text{m}$ und $300\ \mu\text{m}$ liegen, betrachtet zwischen Bildpunktmitte zu Bildpunktmitte, wobei insbesondere Abstand der Bildpunkte eines jeden Bildpunkterasters in der Fokusebene drei- bis fünfmal größer ist als Abstand zwischen benachbarter einander zugeordneter Bildpunkte der Bildpunkteraster in der Fokusebene.

Ferner kann vorgesehen sein, dass Abstand benachbarter Pixel des Sensors gleich oder größer als Abstand zweier einander zugeordneter Bildpunkte der Bildpunkteraster in der Fokusebene ist.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen - für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung und von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau einer Vorrichtung zur Erfassung von Konturdaten eines Objekts mit zumindest zwei Beleuchtungsquellen, die kollinear zueinander angeordnet sind,

- Fig. 2 eine schematische Darstellung des Pixelrasters eines Sensors mit Beleuchtungspunkten aus zwei Beleuchtungsrastern,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung von Beleuchtungspunkten aus zwei Beleuchtungsrastern auf dem Pixelraster des Sensors bei kollinearer Anordnung und defokussierter Optik,
- Fig. 4 eine schematische Anordnung der Beleuchtungspunkte mit unterschiedlichem Winkel zur Messrichtung,
- Fig. 5 a)-c) schematische Darstellungen des Pixelrasters des Sensors in Seitenansicht, mit gewinkelter Projektion eines ersten Beleuchtungsrasters und axialer Projektion eines zweiten Beleuchtungsrasters,
- Fig. 6 a)-c) schematische Darstellungen des Pixelrasters des Sensors in Seitenansicht, mit gewinkelter Projektionsrichtung des ersten Beleuchtungsrasters und gewinkelter Projektionsrichtung des zweiten Beleuchtungsrasters,
- Fig. 7 ein Diagramm von Taktfrequenzen zur Modulation der Beleuchtungsra-
ster sowie ein Überlagerungssignal,
- Fig. 8 ein prinzipieller Aufbau einer alternativen Vorrichtung zur Erfassung von
Konturdaten eines Objekts und
- Fig. 9 einen schematischen Aufbau eines Modulators zur Erzeugung von
Modulationssignalen für die Lichtquellen.

Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau einer Vorrichtung V zur Erfassung von Konturdaten einer Freiformfläche F eines semitransparenten Objekts O wie Zahn.

Die Vorrichtung umfasst zwei Lichtquellen A, B wie Laserdioden, deren Licht jeweils über einen Beamexpander BEA, BEB aufgeweitet und jeweils auf ein Linsenarray

LAA, LAB projiziert wird, wodurch ein Strahlenbündel STBA, STBB einer Vielzahl paralleler Einzelstrahlen erzeugt wird, so dass eine Punktrasterprojektion von ersten und zweiten Beleuchtungspunkten auf der Freifläche F des Objektes O erfolgt. Die Einzelstrahlen werden über einen Strahlteiler ST, einen teilweise durchlässigen Spiegel SP, eine vorzugsweise konfokale Optik OPT sowie ein endoskopisches Sonderelement SO auf das Objekt O geleitet, so dass auf diesem die ersten und zweiten Beleuchtungspunkte abgebildet werden. Die reflektierten Einzelstrahlen gelangen ebenfalls über das Sonderelement SO, die Optik OPT und den halbdurchlässigen Spiegel SP zu einem Detektor in Form eines Pixel PI aufweisenden Sensors S.

Alternativ zu den unmittelbar hinter den Beamexpandern BEA, BAB angeordneten Mikrolinsenarrays LAA, LAB kann ein einzelnes Mikrolinsenarray LAC als Verbund bzw. Einheit mit dem Strahlteiler ST ausgebildet sein. Eine weitere Alternative besteht darin, ein gemeinsames Mikrolinsenarray MLD separat dem Strahlteiler ST nachzuordnen.

Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Beleuchtungsquellen A, B mit dem Beamexpander BEA, BEB und den Linsenarrays LAA, LAB kollinear zueinander angeordnet und werden unterschiedlich, vorzugsweise mit veränderter Phasenlage moduliert.

Die Lichtquellen A, B mit den Beamexpandern BEA, BEB und den Linsenarrays LAA, LAB bilden dem Grunde nach ein Lichtpunktgitter, das technisch auch auf andere Weise realisiert werden kann. So kann z. B. eine LCD- oder DLP (Digital Light Processing) - Anordnung verwendet werden, mit der gleichfalls entsprechende Lichtpunkteraster auf dem Objekt O abgebildet werden, um die ersten und zweiten Beleuchtungspunkteraster oder -gitter zu erzeugen.

Im Fall zweier Beleuchtungsquellen A, B liefert Beleuchtungsquelle A ein Beleuchtungsraster BRA und Beleuchtungsquelle B ein Beleuchtungsraster BRB, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Durch die kollineare Anordnung werden Beleuchtungsraster BRA, BRB parallel versetzt zueinander abgebildet. Die die Bildpunkte erzeugenden Strahlen verlaufen parallel zueinander. Jedes

verlaufen parallel zueinander. Jedes Beleuchtungspunkteraster BRA, BRB besteht aus einzelnen Beleuchtungspunkten BPA sowie Beleuchtungspunkten BPB. Dabei sind die Beleuchtungsraster BRA, BRB um einen Abstand D leicht gegeneinander versetzt, so dass ein Beleuchtungspunkt BPA (erster Beleuchtungspunkt) des Beleuchtungsrasters BRA von seinem korrespondierenden, also zugeordneten Beleuchtungspunkt BPB (zweiter Beleuchtungspunkt) des Beleuchtungsrasters BRB nur eine geringe Entfernung aufweist. Diese Entfernung ist jedenfalls deutlich geringer als ein Abstand E zum nächsten Rasterpunkt des eigenen Punkterasters. Ferner zeigt Fig. 2 ein Pixelraster PR eines Sensors S bestehend aus einzelnen Pixeln P .

Insbesondere ist vorgesehen, dass der Abstand der jeweiligen Beleuchtungspunkte eines Beleuchtungsrasters zwischen $100\ \mu\text{m}$ und $300\ \mu\text{m}$ und der Abstand der einander zugeordneten Beleuchtungspunkte, also der ersten und zweiten Beleuchtungspunkte, zwischen $5\ \mu\text{m}$ und $100\ \mu\text{m}$, vorzugsweise zwischen $10\ \mu\text{m}$ und $30\ \mu\text{m}$ liegt. Der Abstand ist dabei der Abstand zwischen Beleuchtungspunktmitte zu Beleuchtungspunktmitte in der Fokusebene.

Fig. 2 zeigt, dass im kollinearen Fall bei Messung in der Fokusebene die Beleuchtungspunkte BPA, BPB der Lichtquellen A und B an unterschiedlichen Orten, z. B. in anderen Pixeln $PI1$, $PI2$ abgebildet werden. Aus der Fig. 2 ergibt sich des Weiteren, dass dann, wenn die ersten und zweiten Beleuchtungspunkte, die einander zugeordnet sind, auf dem Objekt scharf abgebildet werden, also der zu messende Bereich des Objekts in der Fokusebene liegt, die Beleuchtungspunkte BPA, BPB sich nicht überlappen, sondern allerhöchstens berühren.

Falls jedoch defokussiert gemessen wird, wenn also der Bereich des Objekts O , auf den die einander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkte BPA, BPB abgebildet werden, nicht in der Fokusebene liegt, werden die Beleuchtungspunkte BPA, BPB unscharf und vergrößert auf das Objekt abgebildet und somit auch unscharf auf den Sensor S rückabgebildet. Dadurch erhalten benachbarte Pixel $PI1$, $PI2$ des Sensors S jeweils auch Licht von der jeweils anderen Lichtquelle A, B. Dadurch werden die Unterschiede, z. B. bei gegenphasiger Modulation, in den Signalen geringer (s. Fig. 3).

In diesem Fall wird der maximale Signalunterschied zwischen benachbarten Pixeln PI1, PI2 des Sensors S als Indikator für beste Fokussierung in einer bestimmten Z-Distanz zwischen Objekt O und Sensor S verwendet (Differentialmessung).

Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform, bei der die Beleuchtungsquelle A in einem Winkel α zur Messrichtung MR und die Beleuchtungsquelle B in einem Winkel β zur Messrichtung MR angeordnet ist. Im Fall von leicht zueinander gewinkelt angeordneten Beleuchtungsquellen A, B kann ein Beleuchtungsstrahl BSA koaxial zur Messrichtung MR laufen, wobei der Beleuchtungsstrahl B der Lichtquelle B in einem Winkel zu dem Beleuchtungsstrahl A verläuft.

Alternativ können beide Beleuchtungsstrahlen BSA und BSB leicht gewinkelt zur Messrichtung MR verlaufen.

Die Fig. 5a) bis 5c) zeigen einen Blick auf den Sensor S von der Seite unter der Annahme, dass sich das zu messende Objekt O gemäß Fig. 5a) über der eingestellten Fokusebene befindet, gemäß Fig. 5b, in der eingestellten Fokusebene und gemäß Fig. 5c) bzw. unterhalb der eingestellten Fokusebene befindet.

Die Fig. 6a) bis 6c) zeigen ebenfalls Pixelraster des Sensors S in Seitenansicht, wobei sich das Objekt gemäß Fig. 6a) oberhalb der Fokusebene, gem. Fig. 6b) innerhalb der Fokusebene und gemäß Fig. 6c) unterhalb der Fokusebene befindet.

In oben genannten Fällen kann die Beleuchtungsoptik auch nur schwach fokussierend oder gar nicht fokussierend ausgelegt sein, da neben der Aufweitung durch Defokussierung sich auch die räumliche Lage zumindest eines der beiden Beleuchtungspunkte in Abhängigkeit vom Z-Abstand ändert.

Aus den Fig. 5 und 6 wird erkennbar, dass dann, wenn die geneigt zueinander ausgelegten Strahlen, die die ersten und zweiten Beleuchtungspunkte bilden, sich schneiden, Messort bzw. -punkt auf der Objektoberfläche F in der Fokusebene liegt. So ist die

Anordnung ausgelegt. Dieser Schnittpunkt wird entsprechend auf den Sensor rückprojiziert. In diesem Fall wird das Messsignal des entsprechenden Pixels durch die beiden einander zugeordneten Bildpunkte bestimmt. Auf die unmittelbar benachbarten Pixel werden Beleuchtungspunkte nicht abgebildet. Infolgedessen wird gleichfalls die Messsignaldifferenz benachbarter Pixel ausgewertet, um eine Abstandsbestimmung (Z-Achse) zum Objekt durchzuführen.

Für diese Art der Auswertung ist Voraussetzung, dass der Abstand zweier Pixel kleiner als der Abstand zwischen den Bildpunkten eines Bildrasters ist und somit auch der Abstand zwischen einem Paar von zueinander angeordneten ersten und zweiten Bildpunkten. Ferner sollte die Anordnung optisch oder rechnerisch so ausgelegt werden, dass der Schnittpunkt zweier Strahlen, die die einander zugeordneten Beleuchtungspunkte erzeugen, in der Fokusebene des Sensors liegt.

Es sind mehrere Auswertungsmöglichkeiten möglich:

Im Falle von zwei Lichtquellen A, B bzw. Lichtpunktegittern, die z. B. auch durch LCDs oder DLPs gebildet werden, wird mit der halben Frequenz der geplanten Detektionsfrequenz und 180° Phasenversatz beleuchtet. In der Fokusebene gemäß Fig. 5b bzw. Fig. 6b überlagern sich beide Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB und erzeugen die Detektionsfrequenz mit entsprechender Phasenlage, wie in Fig. 7 dargestellt. Fig. 7 zeigt das Referenzsignal SREF, ein Modulationssignal SMODA für Beleuchtungsraster BRA, ein Modulationssignal SMODB für das Beleuchtungsraster BRB sowie ein Überlagerungssignal SÜB.

Entsprechendes gilt für mehrere Lichtquellen z. B. ein Drittel Frequenz und 120° Phasenversatz für drei Lichtquellen usw. Außerhalb der Fokusebene laufen die Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB auseinander und die Intensität der Detektionsfrequenz wird geringer (siehe Darstellung in Fig. 5a), c) sowie 6a), c)).

Eine weitere Auswertungsmöglichkeit besteht darin, bei beispielsweise zwei sich kreuzenden Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB festzustellen, ob sich die zu messende Oberflä-

che oberhalb oder unterhalb der Fokusebene befindet, da sich die Strahlen in der Fokusebene kreuzen und sich somit die Phasenlage am Ort des jeweiligen Messpixels PI, bezogen auf ein Nachbarpixel, beim Durchlaufen der Fokusebene ändert. Dazu wird ein Modulationssignal z. B. $+90^\circ$ zum Referenztakt und das andere -90° zum Referenztakt moduliert.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, Gruppen von Beleuchtungspunkten bzw. einzelne Beleuchtungspunkte innerhalb eines Beleuchtungsrasters BRA, BRB mit unterschiedlicher Phasenlage oder Frequenz zu modulieren, um das Übersprechen der Messpunkte untereinander zu verringern. Dies kann beispielsweise mit einem DLP (Digital Light Processing – Verfahren der Firma Texas Instruments), oder mit einem LCoS (Liquid Cristal on Silicon) – Display erfolgen. In diesem Fall kann das Detektorsignal mit Hilfe eines Referenztaktes für die unterschiedlichen Rasterpunkte nach Frequenz und Phasenlage getrennt werden. Ein Ausführungsbeispiel ist in Fig. 8 schematisch dargestellt.

Fig. 8 zeigt eine Beleuchtungseinrichtung BE, wie diese in Bezug zu Fig. 1 bereits erläutert wurde. Die aus der Beleuchtungseinrichtung BE austretenden Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB treffen auf einen halbdurchlässigen Spiegel SP2 und werden über ein DLP (Digital Light Processing) und eine verschiebbare Optik OPT auf das Objekt O abgebildet. Durch Verschieben der Optik entlang in Richtung der Pfeile PF kann die Fokusebene eingestellt werden. Die von dem Objekt O reflektierten Strahlen werden von dem Sensor S wie CMOS- oder CCD-Sensor erfasst.

Schließlich zeigt Fig. 9 einen Modulator MOD zur Modulation des aus der Lichtquelle A bzw. Lichtquelle B austretenden Lichtes. Dabei ist ein Ausgang eines Taktgenerators TG unmittelbar mit einem Steuereingang der Lichtquelle A und über einen Phasenshifter PHS mit einem Steuereingang der Lichtquelle B verbunden. Ein weiterer Ausgang des Taktgenerators TG ist mit einer Verarbeitungseinheit VE1 verbunden, in der die Pixel PI des Sensors S pixelweise eingelesen werden. Anschließend wird in einer weiteren Verarbeitungseinheit VE2 die Pixelintensität mit dem Takt verrechnet. Phasen und frequenzselektive Auswahl sind dabei möglich.

Erfindungsgemäß wird gezielt das Übersprechen, also cross talk genutzt, das von zwei einander zugeordneten Bildpunkten, die von vom dem Objekt O auf den Sensor S abgebildet werden, hervorgerufen werden kann. Dabei wird bei einer kollinearen Anordnung und gegenphasiger Modulation der Strahlung, die die ersten bzw. zweiten Bildpunkte erzeugen, maximale Intensitätsdifferenz benachbarter Pixel bzw. Pixelbereiche genutzt, über die von den rückprojizierten Bildpunkten Messsignale erzeugt werden.

Sofern die die Bildpunkte erzeugenden Strahlen geneigt zueinander verlaufen, können gleichfalls aus Abweichungen in der Intensität und/oder der Frequenz präzise Angaben über die Oberflächendaten des zu messenden Objektes gewonnen werden. Dabei muss die Eigenschaft des Defokussierens nicht zwingend genutzt werden, so dass z. B. auch eine Laserstrahlung verwendet werden kann, da die Schnittpunkte von den die Beleuchtungspunkte bildenden Strahlen zur Auswertung gelangen.

Ferner besteht die Möglichkeit, aus den Messdaten optische Eigenschaften wie wellenlängenabhängige Transparenz des Objektes abzuleiten, sofern eine spektrale Auswertung erfolgt.

Patentansprüche

Verfahren und Anordnung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts

1. Verfahren zur Erfassung von Konturdaten eines dreidimensionalen Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts wie zahnmedizinischen Objekts, wobei vorzugsweise mittels einer optischen Einrichtung vorzugsweise für konfokale oder OCT- oder depth of focus -Strahlengänge Raster von Beleuchtungspunkten einer Multipunktbeleuchtung auf das Objekt projiziert und diese sodann auf einen Pixel aufweisenden Sensor rückprojiziert werden,
dadurch gekennzeichnet,
dass Raster von Beleuchtungspunkten von zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen auf das Objekt projiziert werden, dass die Strahlungen der Beleuchtungspunkte der Multipunktbeleuchtungen in ihren Intensitäten moduliert werden und dass eine frequenz- und/oder phasenselektive Detektion von auf den Sensor rückprojizierten einander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkten erfolgt, wobei die ersten Beleuchtungspunkte von einer ersten und die zweiten Beleuchtungspunkte von einer zweiten der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen stammen und zur Ermittlung der Konturdaten Unterschiede von Intensität und/oder Frequenz der Messsignale benachbarter Pixel des Sensors ausgewertet werden, auf die die einander zugeordneten ersten und zweiten Bildpunkte abgebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine erste und eine zweite Multipunktbeleuchtung verwendet werden, die jeweils auf das Objekt ein Bildpunktegitter bzw. -raster abbilden, bei denen Abstand voneinander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkten kleiner als Abstand der ersten bzw. zweiten Beleuchtungspunkten in dem jeweiligen Bildpunktegitter bzw. -raster in der Fokusebene ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass Abstand zwischen benachbarten ersten Bildpunkten bzw. benachbarten zweiten Bildpunkten in der Fokusebene zumindest dreimal größer als Abstand zwischen einem ersten Bildpunkt und diesem zugeordneten zweiten Bildpunkt gewählt wird.
4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand benachbarter erster bzw. zweiter Bildpunkte betrachtet zwischen deren Mittelpunkten in der Fokusebene so festgelegt wird, dass dieser in etwa zwischen 100 μm und 300 μm liegt.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Modulation der Strahlung bzw. Strahlungen und die Abbildung der Bildpunktegitter bzw. -raster auf das Objekt derart erfolgt, dass eine räumliche und/oder zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung von zumindest einem Pixel des Bildsensors erfolgt.
6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Strahlungen der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen gegenphasig moduliert werden und dass zur Konturbestimmung des Objekts maximaler Signalunterschied zwischen benachbarten Pixel des Bildsensors ausgewertet werden, in deren Bereich jeweils ein erster und ein diesem zugeordneter zweiter Bildpunkt abgebildet werden.
7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen kollinear angeordnet werden.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die die ersten und zweiten Bildpunkte erzeugenden Strahlen der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen geneigt bzw. gewinkelt zueinander verlaufen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen zur Messstrahlrichtung geneigt verläuft.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen zur Messstrahlrichtung zueinander gewinkelt angeordnet werden.
11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Multipunktbeleuchtungen, deren auf das Objekt auftreffende Strahlen gewinkelt zueinander verlaufen, eine Optik verwendet wird, die schwach fokussierend oder nicht fokussierend ausgelegt ist.
12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen einem Paar von einander zugeordneten ersten und zweiten Beleuchtungspunkten zum Abstand der Pixel des Sensors derart gewählt wird, dass bei Messungen in der Fokusebene die ersten Beleuchtungspunkte auf pixelfreie Bereiche des Bildsensors und die zweiten Beleuchtungspunkte auf ein Pixel des Bildsensors treffen und dass bei Defokussieren sowohl die ersten als auch die zweiten Beleuchtungspunkte auf Pixel treffen.
13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

dass bei Verwendung von n -Lichtquellen zur Erzeugung von entsprechenden Multipunktbeleuchtungen Strahlung einer jeden Lichtquelle in Bezug auf die anderen Lichtquellen einen Phasenversatz von $360^\circ/n$ aufweist und/oder Strahlung einer jeden Lichtquelle einer Frequenz v/n mit $v =$ Detektionsfrequenz aufweist.

14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch Änderung der Phasenlage aus Signal eines Pixels ermittelt wird, ob Messpunkt auf dem Objekt in, auf oder unterhalb der Fokusebene liegt.
15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus Art des Übersprechens der von den einander zugeordneten ersten und zweiten Bildpunkten erzeugten Messsignalen die Konturdaten des Objektes ermittelt werden.
16. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale zur Ermittlung optischer Eigenschaften spektral ausgewertet werden.
17. Anordnung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen Objektes (O), insbesondere eines semitransparenten Objektes wie zahnmedizinischen Objekts, umfassend eine Multipunktbeleuchtung (LAA, LAR) sowie einen Pixel (PI1, PI2) aufweisenden Sensor (S), wobei zwischen der Multipunktbeleuchtung und dem Objekt und diesem und dem Sensor eine optische Einrichtung vorzugsweise für konfokale, OCT- oder depth of focus-Strahlengänge angeordnet wird, über die zum einen von der Multipunktbeleuchtung ein Raster von Beleuchtungspunkten (BRA, BRB) auf das Objekt projiziert und zum anderen die Beleuchtungspunkte auf den Sensor rückprojiziert werden, dadurch gekennzeichnet,

dass die Anordnung zumindest zwei Multipunktbeleuchtungen (LAA, LAB) aufweist, dass Abstand von benachbarten Bildpunkten zwischen den zumindest zwei Bildpunkterastern (BRA, BRB) in der Fokusebene kleiner als Abstand der Bildpunkte im jeweiligen Bildpunkteraster ist.

18. Anordnung nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Multipunktbeleuchtungen (LAA, LAB) kollinear angeordnet sind.
19. Anordnung nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Multipunktbeleuchtungen (A, B) derart zueinander angeordnet sind, dass die die Bildpunkte bildenden Strahlen geneigt zueinander verlaufen.
20. Anordnung nach zumindest einem der Ansprüche 17 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass Abstand zwischen den Bildpunkten in der Fokusebene eines jeden Bildpunkterasters (BRA, BRB) zwischen 100 μm und 300 μm liegt, betrachtet zwischen Bildpunktmitte zu Bildpunktmitte.
21. Anordnung nach zumindest einem der Ansprüche 17 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
dass Abstand der Bildpunkte eines jeden Bildpunkterasters (BRA, BRB) in der Fokusebene zumindest dreimal, vorzugsweise dreimal bis fünfzehnmal größer als Abstand zwischen benachbarter einander zugeordneter Bildpunkte der Bildpunkteraster in der Fokusebene ist.
22. Anordnung nach zumindest einem der Ansprüche 17 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass Abstand benachbarter Pixel (PI1, PI2) des Sensors (S) gleich oder größer als Abstand zweier einander zugeordneter Bildpunkte der Bildpunkteraster (BRA, BRB) in der Fokusebene ist.

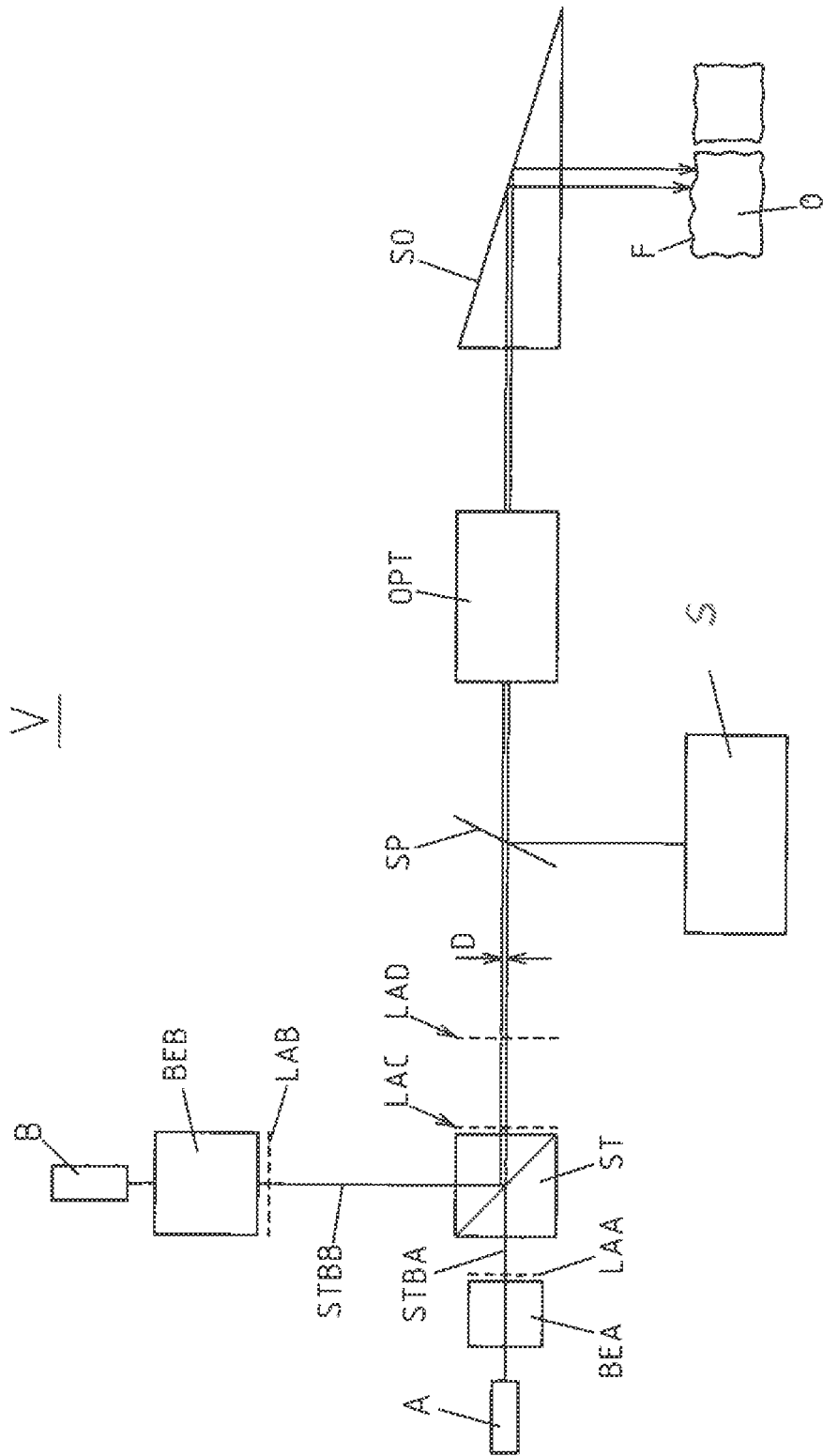


Fig. 1

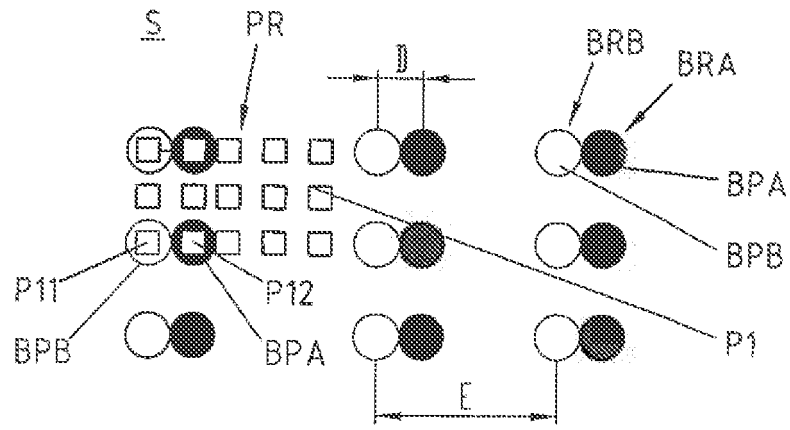


Fig. 2

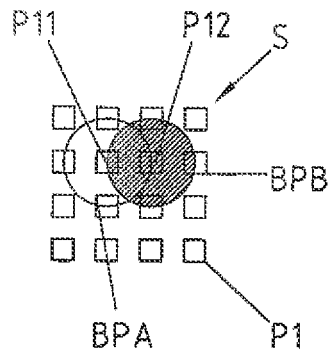


Fig. 3

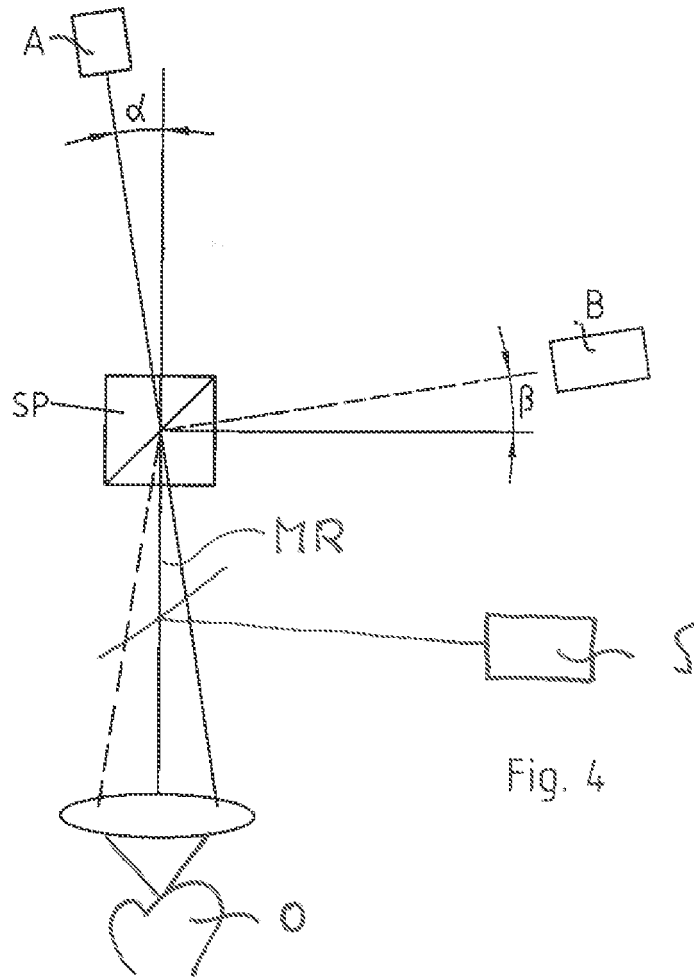


Fig. 4

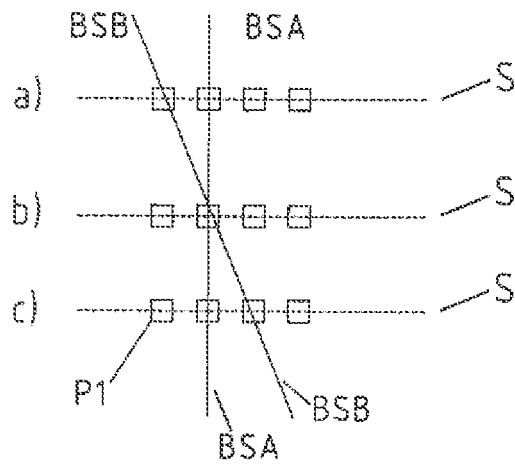


Fig. 5

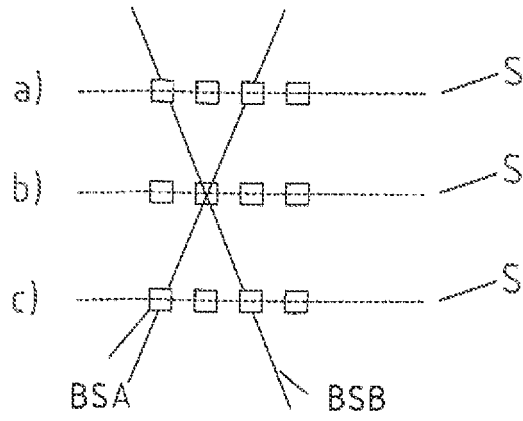


Fig. 6

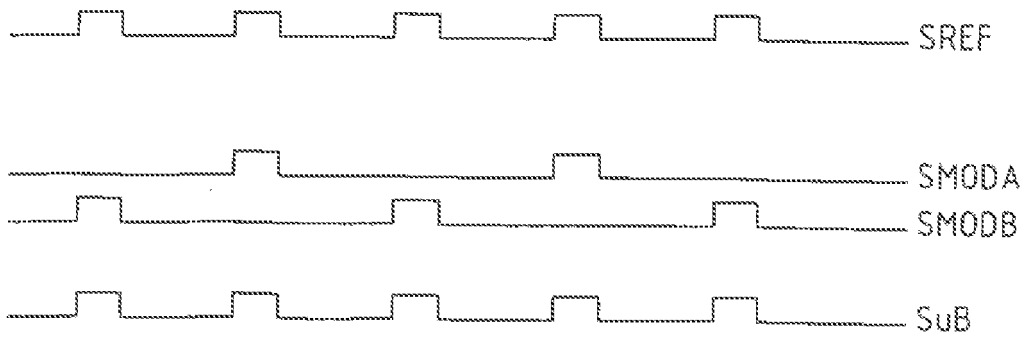


Fig. 7

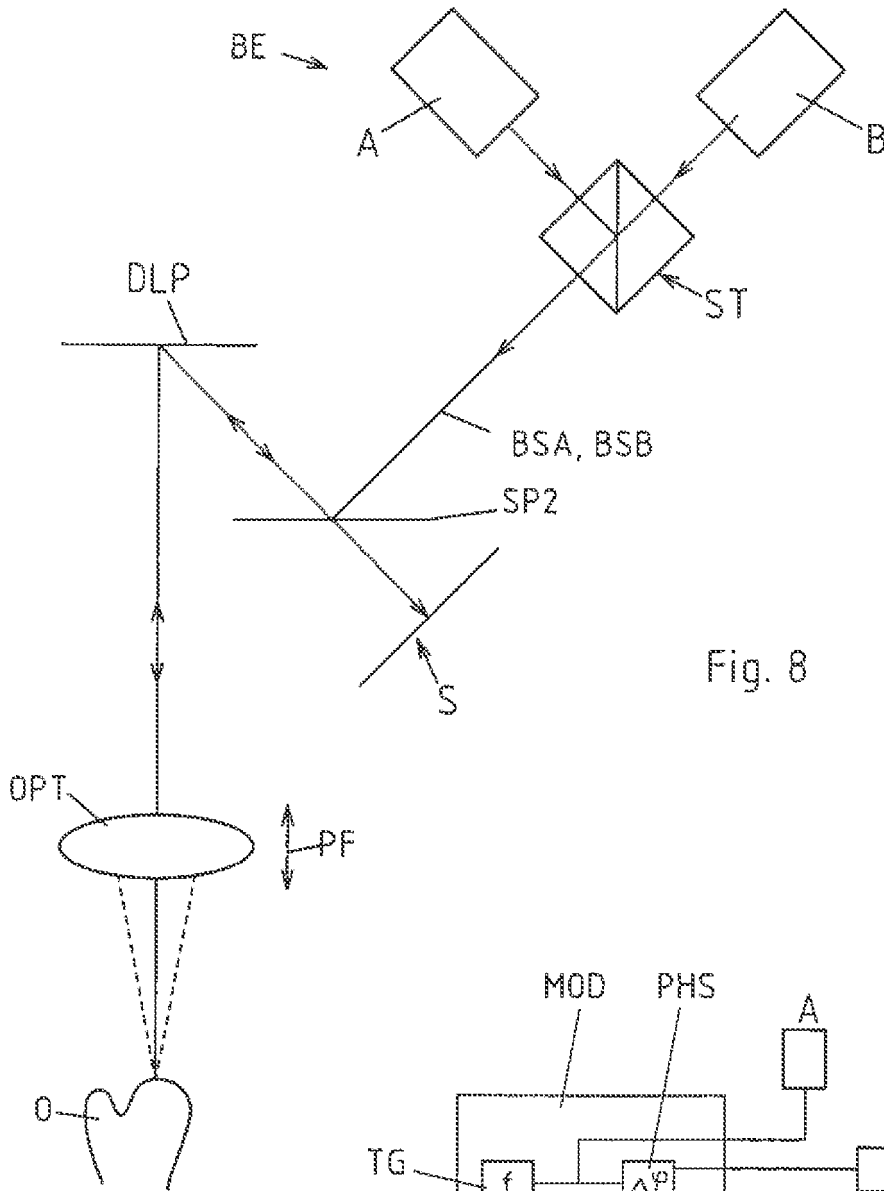


Fig. 8

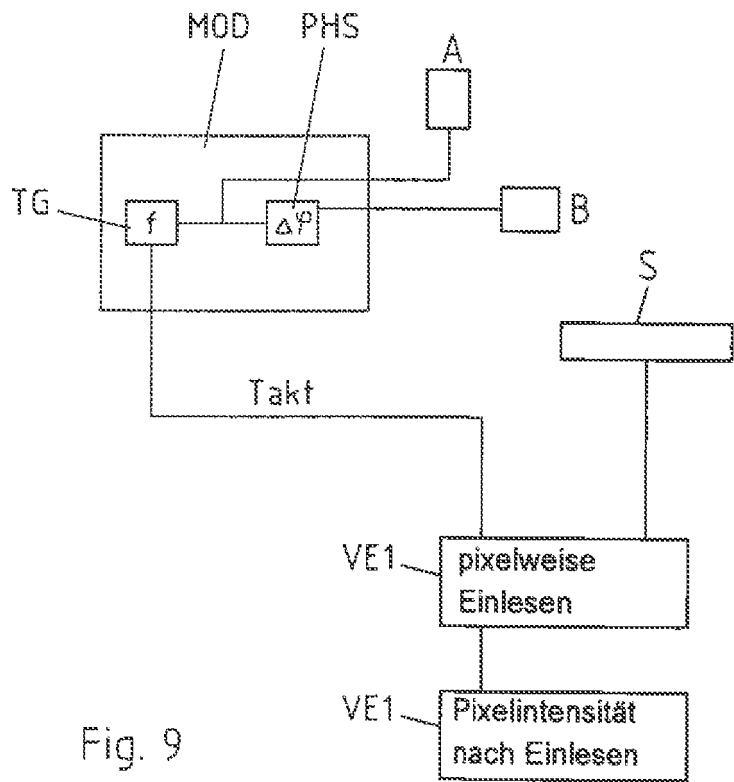


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/061827

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B11/25 A61B5/00 A61B5/107

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/134921 A1 (CATHEY WADE THOMAS [US] CATHEY JR WADE THOMAS [US]) 26 September 2002 (2002-09-26) paragraph [0024] - paragraph [0044]; figures 1-4	1-11, 13-22
A	US 2007/296959 A1 (SCHWOTZER AXEL [DE]) 27 December 2007 (2007-12-27) paragraph [0047] - paragraph [0068]; figures 1-6	1-22
A	US 6 697 164 B1 (BABAYOFF NOAM [IL] ET AL) 24 February 2004 (2004-02-24) column 4, line 64 - column 7, line 37; figures 1-2	1-22
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 November 2009

Date of mailing of the international search report

27/11/2009

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Petelski, Torsten

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/061827

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 248 876 A (KERSTENS PIETER J [US] ET AL) 28 September 1993 (1993-09-28) column 4, line 27 - column 7, line 8; figure 1 column 11, line 53 - column 14, line 50; figures 2,3,15,16 -----	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/061827

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002134921	A1	26-09-2002	WO 02077695 A1	03-10-2002
US 2007296959	A1	27-12-2007	CN 101115970 A DE 102004059526 A1 EP 1825217 A1 WO 2006061347 A1 JP 2008523370 T	30-01-2008 14-06-2006 29-08-2007 15-06-2006 03-07-2008
US 6697164	B1	24-02-2004	AT 310227 T AT 275720 T AU 5190599 A DE 69920023 D1 DE 69920023 T2 DE 69928453 D1 DE 69928453 T2 EP 1327851 A1 EP 1645842 A2 EP 1102963 A1 WO 0008415 A1 IL 125659 A JP 3866516 B2 JP 2002522752 T US 2005264828 A1 US 2009153879 A1 US 2009148807 A1 US 2004090638 A1	15-12-2005 15-09-2004 28-02-2000 14-10-2004 15-09-2005 22-12-2005 03-08-2006 16-07-2003 12-04-2006 30-05-2001 17-02-2000 12-09-2002 10-01-2007 23-07-2002 01-12-2005 18-06-2009 11-06-2009 13-05-2004
US 5248876	A	28-09-1993	JP 2047965 C JP 6094641 A JP 7085060 B	25-04-1996 08-04-1994 13-09-1995

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/061827

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01B11/25 A61B5/00 A61B5/107

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B A61B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2002/134921 A1 (CATHEY WADE THOMAS [US] CATHEY JR WADE THOMAS [US]) 26. September 2002 (2002-09-26) Absatz [0024] - Absatz [0044]; Abbildungen 1-4	1-11, 13-22
A	----- US 2007/296959 A1 (SCHWOTZER AXEL [DE]) 27. Dezember 2007 (2007-12-27) Absatz [0047] - Absatz [0068]; Abbildungen 1-6	1-22
A	----- US 6 697 164 B1 (BABAYOFF NOAM [IL] ET AL) 24. Februar 2004 (2004-02-24) Spalte 4, Zeile 64 - Spalte 7, Zeile 37; Abbildungen 1-2 ----- -/--	1-22

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist | <ul style="list-style-type: none"> *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |
|---|--|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 18. November 2009	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 27/11/2009
---	---

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Petelski, Torsten
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 248 876 A (KERSTENS PIETER J [US] ET AL) 28. September 1993 (1993-09-28) Spalte 4, Zeile 27 - Spalte 7, Zeile 8; Abbildung 1 Spalte 11, Zeile 53 - Spalte 14, Zeile 50; Abbildungen 2,3,15,16 -----	1-22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/061827

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002134921 A1	26-09-2002	WO 02077695 A1	03-10-2002
US 2007296959 A1	27-12-2007	CN 101115970 A	30-01-2008
		DE 102004059526 A1	14-06-2006
		EP 1825217 A1	29-08-2007
		WO 2006061347 A1	15-06-2006
		JP 2008523370 T	03-07-2008
US 6697164 B1	24-02-2004	AT 310227 T	15-12-2005
		AT 275720 T	15-09-2004
		AU 5190599 A	28-02-2000
		DE 69920023 D1	14-10-2004
		DE 69920023 T2	15-09-2005
		DE 69928453 D1	22-12-2005
		DE 69928453 T2	03-08-2006
		EP 1327851 A1	16-07-2003
		EP 1645842 A2	12-04-2006
		EP 1102963 A1	30-05-2001
		WO 0008415 A1	17-02-2000
		IL 125659 A	12-09-2002
		JP 3866516 B2	10-01-2007
		JP 2002522752 T	23-07-2002
		US 2005264828 A1	01-12-2005
		US 2009153879 A1	18-06-2009
		US 2009148807 A1	11-06-2009
		US 2004090638 A1	13-05-2004
US 5248876 A	28-09-1993	JP 2047965 C	25-04-1996
		JP 6094641 A	08-04-1994
		JP 7085060 B	13-09-1995

专利名称(译)	用于检测三维半透明物体的轮廓数据和/或光学特性的方法和设备		
公开(公告)号	EP2326915A1	公开(公告)日	2011-06-01
申请号	EP2009782933	申请日	2009-09-11
[标]申请(专利权)人(译)	德固萨有限责任公司		
申请(专利权)人(译)	DEGUDENT GMBH		
当前申请(专利权)人(译)	DEGUDENT GMBH		
[标]发明人	ERTL THOMAS		
发明人	ERTL, THOMAS		
IPC分类号	G01B11/25 A61B5/00 A61B5/107		
CPC分类号	G01B11/25 A61B5/0068 A61B5/0088 A61B5/1077 G06T7/521		
优先权	102008044522 2008-09-12 DE		
其他公开文献	EP2326915B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

本发明涉及一种用于检测三维物体的轮廓数据的方法，其中使用光学装置将多点照明的照射点的网格投影到物体上，然后将这些照射点投射回包括在像素。为了实现信噪比的提高并减小背景信号，建议将至少两个多点照明的照明点网格投影到物体上，即照明点的光束。多点照明在强度上被调制，并且对被反投影到传感器上的相互关联的第一和第二照射点执行频率选择性和/或相位选择性检测，其中第一照明点来自第一个至少两个多点照明和第二照明点来自至少两个多点照明中的第二个，并且其中传感器的相邻像素的测量信号的强度和/或频率的差异在其上相互关联的第一和第二图像点为了确定轮廓数据的目的，评估被描绘的。