



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 04 111 A1** 2004.10.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 04 111.7**
(22) Anmeldetag: **31.01.2003**
(43) Offenlegungstag: **28.10.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H04N 13/02**
A61B 6/00, A61C 13/00

(71) Anmelder:
Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, DE

(74) Vertreter:
Sommer, P., Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anw., 68165 Mannheim

(72) Erfinder:
Schwotzer, Axel, 64521 Groß-Gerau, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

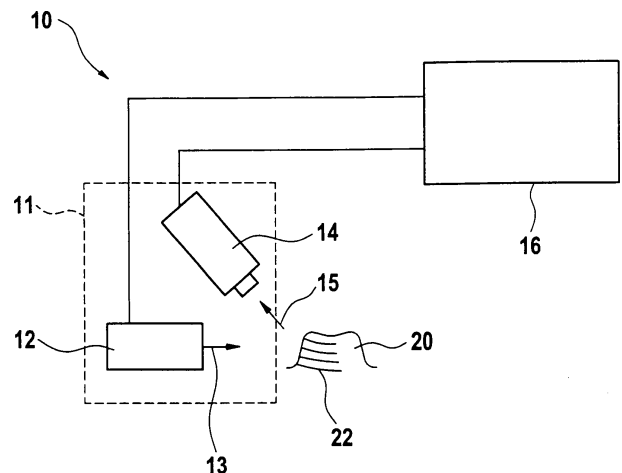
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Aufnahmeverfahren für ein Bild eines Aufnahmeobjekts und Aufnahmevorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren zur Erstellung eines Bildes eines Aufnahmeobjekts (20), insbesondere für zahnmedizinische Zwecke, umfasst die Verfahrensschritte: a) Projizieren eines Streifenmusters auf das Aufnahmeobjekt (20), b) Aufnehmen eines projizierten Streifenmusters (22) als Rohbild (R_1) mit einem Bildempfänger (14; 17) unter einem anderen Winkel als die Projektion, wobei die Schritte a) und b) bei mehreren verschiedenen Positionen der Phasenlage des Streifenmusters durchgeführt werden, und c) Berechnen eines Bildes des Aufnahmeobjekts aus den mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern ($R_1, \dots, R_n$).

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zur Unterdrückung periodischer Störungen in Schritt c) c_1) aus den Kamerarohbildern ($R_1, \dots, R_m$) zumindest zwei Rohbildergruppen ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) gebildet werden, c_2) aus jeder Rohbildergruppe ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) ein Phasenbild (P_i) des Aufnahmeobjekts (20) berechnet wird, c_3) die berechneten Phasenbilder (P_1, P_2) so gemittelt werden, dass ein Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen entsteht und dass c_4) aus dem Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen ein Bild des Aufnahmeobjekts berechnet wird.

Als Bilder kommen insbesondere ein Höhenbild oder ein Kontrastbild in Frage.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erstellung eines Bildes eines Aufnahmeobjektes, insbesondere für zahnmedizinische Zwecke, mit den Verfahrensschritten: a) Projizieren eines Streifenmusters auf das Aufnahmeobjekt, b) Aufnehmen des projizierten Streifenmusters als Rohbild mit einer Kamera, wobei die Schritte a) und b) bei mehreren verschiedenen Positionen der Phasenlage des Streifenmusters durchgeführt werden, und c) Berechnen eines Bildes des Aufnahmeobjektes aus den mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern. Als Bilder kommen insbesondere Höhenbilder oder Kontrastbilder in Frage.

Stand der Technik

[0002] Durch eine direkte optische dreidimensionale Vermessung eines oder mehrere Zähne im Mund eines Patienten können digitale Konstruktionsdaten für die rechnergesteuerte Anfertigung von Zahnersatz ohne Abdruck gewonnen werden. Eine solche, in Analogie zur physischen Abformung "optischer Abdruck" genannte, dreidimensionale Darstellung kann mit einer oder mehreren Kameraaufnahmen berührungsfrei aufgenommen werden. Die Kamera kann dabei wie ein Winkelstück freihändig geführt oder einhändig oder beidhändig auf der Zahnreihe abgestützt werden.

[0003] Die Messmethode benützt das Prinzip der aktiven Triangulation, bei der von einer Projektionseinrichtung ein einzelner Lichtstrich oder ein Streifenmuster aus parallelen Lichtstrichen auf das aufzunehmende Objekt aufprojiziert und das projizierte Bild unter einem Parallaxe-Winkel mit einer Flächenkamera wieder aufgenommen wird.

[0004] Aufgrund der Oberflächenstruktur der Zähne erscheint der Streifenverlauf nicht mehr gerade, sondern gegenüber dem geraden Verlauf gekrümmt und verschoben. Aus der Lage der Lichtstrichlinien kann auf die Oberflächenstruktur des Aufnahmeobjektes zurückgeschlossen werden. Nach dem Messvorgang liegt im Speicher des Rechners ein digitales dreidimensionales Datenmodell des Aufnahmeobjektes vor, welches etwa auf einem Monitor als Videostandbild dargestellt werden oder als Grundlage für eine rechnergesteuerte Herstellung von Zahnersatz dienen kann.

[0005] Zur Erhöhung der Genauigkeit kann die so genannte Phasen-Shift-Triangulations-Methode (phase-shifting triangulation) eingesetzt werden. Dabei werden nacheinander mehrere Rohbilder mit verschiedenen Positionen der Phasenlage des Gitters erzeugt und aus diesen ein Phasenbild berechnet.

Aus dem Phasenbild kann dann mit Hilfe von Kalibrier-Daten ein Höhenbild des Aufnahmeobjektes berechnet werden. Dabei sind verschiedene Algorithmen zur Berechnung des Phasenbildes aus den einzelnen Rohbildern bekannt. Beispielsweise können drei, vier oder fünf Rohbilder mit einer relativen Phasenverschiebung von 120° oder 90° aufgenommen werden. Aus den Rohbildern kann auch ein Kontrastbild berechnet werden. Beispielsweise berechnet sich ein Kontrastbild aus vier Rohbildern mit den Intensitätswerten $I_1 \dots I_4$ nach der Formel:

$$K = \sqrt{((I_1 - I_3)^2 + (I_2 - I_4)^2)}.$$

[0006] Bei der Phasen-Shift-Methode verbleiben aufgrund von Toleranzen oder systematischen Fehlerquellen typische periodische Störungen. Diese periodischen Störungen treten mit Vielfachen der Gitterfrequenz im Phasenbild und auch im Kontrastbild oder Höhenbild auf.

[0007] Beispielsweise führt eine Abweichung von der linearen Bewegung des Lichtgitters zu einer Störung mit der 2-fachen Gitterfrequenz, eine Änderung der Intensität der Gitterbeleuchtung zu einer Störung mit der 1-fachen Gitterfrequenz, und Abweichungen von der Linearität zwischen Lichtsignal und elektrischem Signal zu einer Störung mit der 4-fachen Gitterfrequenz.

[0008] Generell sind die Berechnungsalgorithmen umso störungsresistenter, je mehr Rohbilder aufgenommen werden. Dennoch treten die beschriebenen periodischen Fehler trotz des deutlich erhöhten Aufwands in unterschiedlicher Ausprägung auf.

[0009] Zur Steigerung der Qualität des Phasen- und Kontrastbildes kann etwa eine Filterung durchgeführt werden. Dabei muss jedoch ein Auflösungsverlust in Kauf genommen werden. Die Qualitätsverbesserung durch Mittelung mehrerer Phasen- und Kontrastbilder hat dagegen den Nachteil einer deutlich verlängerten Aufnahmezeit.

[0010] Es ist weiter möglich, die Steuerung für die Aufnahme der Rohbilder sehr genau durchzuführen, so dass die periodischen Fehler in geringerem Maße auftreten. Allerdings ist eine solche genaue Steuerung sehr aufwendig. Auch haben äußere Bedingungen, wie Temperatur, Feuchte oder die Schwerkraft, sowie Langzeiteffekte Einfluss auf die Bildaufnahme und die erreichbare Bildqualität.

Aufgabenstellung

[0011] Hier setzt die Erfindung an. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der genannten Art zur Aufnahme eines Bildes eines Aufnahmeobjektes anzugeben, das gegenüber bekannten Techniken bei vergleichsweise geringem Aufwand eine

deutlich erhöhte Messgenauigkeit liefert.

Darstellung der Erfindung

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren nach Anspruch 1 und die Aufnahmevorrichtung nach Anspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] Die Erfindung baut auf dem Stand der Technik dadurch auf, dass zur Unterdrückung periodischer Störungen im Verfahrensschritt c) der Berechnung eines Bildes des Aufnahmeobjekts aus den mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern:

- c₁) aus den Kamerarohbildern zumindest zwei Rohbildgruppen gebildet werden,
- c₂) aus jeder Rohbildgruppe ein Phasenbild des Aufnahmeobjekts berechnet wird,
- c₃) die berechneten Phasenbilder mit Wichtungsfaktoren versehen gemittelt werden, um ein Phasenbild mit reduzierten Störungsanteilen zu erhalten, und
- c₄) aus dem Phasenbild mit reduzierten Störungsanteilen ein Bild des Aufnahmeobjekts berechnet wird.

[0014] Nach dem Verfahren c₁) bis c₄) können Störungen in einem Höhenbild oder in einem Kontrastbild unterdrückt werden.

[0015] Die Erfindung beruht somit auf dem Gedanken, die Rohbilder so in zwei oder mehr Gruppen aufzuteilen, dass die Störungen der aus den jeweiligen Rohbildgruppen berechneten Phasenbilder eine gewisse Phasenverschiebung zueinander haben. Diese Phasenbilder werden geeignet gemittelt um dadurch Störungen mit bestimmten Vielfachen der Gitterfrequenz zu unterdrücken oder zu eliminieren. Dadurch kann bei einer nur geringen Verlängerung der gesamten Aufnahmedauer durch zusätzliche Rohbildaufnahmen eine deutliche Erhöhung der Messgenauigkeit erreicht werden.

[0016] Bevorzugt werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Rohbilder jeweils mit einer konstanten Verschiebung der Phasenlage des Gitters aufgenommen.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass $(n + 1)$ Rohbilder $R_1, R_2, \dots, R_{n+1}$ aufgenommen werden, wobei aufeinander folgende Rohbilder eine vorgegebene Phasenverschiebung aufweisen. Es werden zwei Rohbildgruppen $R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$ gebildet und es wird ein erstes Phasenbild P_1 aus der ersten Rohbildgruppe $R_1, R_2, \dots, R_n$ und ein zweites Phasenbild P_2 aus der zweiten Rohbildgruppe $R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$ berechnet. Das erste und zweite Phasen-

bild, P_1 bzw. P_2 , werden mit gleicher Wichtung gemittelt, um ein Phasenbild P mit reduzierten Störungsanteilen zu erhalten. Dabei stellt n eine ganze Zahl größer oder gleich 3 dar, um mit den bekannten Methoden ein Phasenbild zu erzeugen.

[0018] In einer anderen, ebenfalls bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass $(n + 2)$ Rohbilder $R_2, R_3, \dots, R_{n+2}$ aufgenommen werden, wobei aufeinander folgende Rohbilder eine vorgegebene Phasenverschiebung aufweisen. Es werden drei Rohbildgruppen $R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}; R_3, R_4, \dots, R_{n+2}$ gebildet und ein erstes Phasenbild P_1 wird aus der ersten Rohbildgruppe $R_1, R_2, \dots, R_n$, ein zweites Phasenbild P_2 wird aus der zweiten Rohbildgruppe $R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$ und ein drittes Phasenbild P_3 wird aus der dritten Rohbildgruppe $R_3, R_4, \dots, R_{n+2}$ berechnet. Das erste und dritte Phasenbild, P_1 bzw. P_3 , werden mit gleicher Wichtung gemittelt, um ein Zwischenbild P_z zu erhalten das zweite Phasenbild P_2 und das Zwischenbild P_z werden gemittelt, um ein Phasenbild P mit reduzierten Störungsanteilen zu erhalten. Dabei stellt n eine ganze Zahl größer oder gleich 3 dar.

[0019] Bei den beiden geschilderten Ausgestaltungen ist es bevorzugt, wenn n gleich 4 gewählt ist, weil hier die Messgenauigkeit und die erforderliche Messzeit in einem besonders günstigen Verhältnis zueinander stehen.

[0020] Nach einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Rohbilder im Halbbildverfahren aufgenommen werden, so dass dann, wenn das Streifenmuster kontinuierlich bewegt wird, die beiden Halbbilder zueinander eine Phasenverschiebung aufweisen, die die Hälfte der Phasenverschiebung aufeinander folgender Rohbilder beträgt.

[0021] Im Halbbildverfahren wird das aufzunehmende Bild in zwei Halbbilder unterteilt. Das erste Halbbild entspricht in der Regel den geradzahligen Zeilen, das zweite Halbbild den ungeradzahligen Zeilen. Die beiden Halbbilder werden nacheinander und folglich zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen.

[0022] Mit Vorteil wird in diesem Zusammenhang aus jedem der Halbbilder eines Rohbilds ein Phasenbild berechnet und die beiden Phasenbilder werden vor der Weiterverarbeitung gemittelt, um ein Phasenbild mit reduzierten hochfrequenten Störungsanteilen zu erhalten. Werden etwa die Rohbilder bei einer kontinuierlichen Bewegung des das Streifenmuster hervorrufenden Gitters mit einer Phasenverschiebung von 90° aufgenommen, so ergibt sich eine Phasenverschiebung der beiden Halbbilder von 45° . Entscheidend ist hierbei die zeitliche Mitte der Integrationsphase bei der Erzeugung der Halbbilder, wobei die der zeitlichen Dauer der Integrationsphase selbst,

also der Belichtung des Empfängers, eine untergeordnete Rolle spielt. Somit können durch Mittelung der beiden Phasen- bzw. Kontrast-Halbbilder Störungen mit der 4-fachen Gitterfrequenz unterdrückt werden. Dabei muss zwar ein Verlust an Auflösung in Kauf genommen werden, doch überwiegt bei starken Störungen der positive Effekt der Störungsunterdrückung. Die Mittelung erfolgt vorzugsweise mit gleitendem Mittelwert.

[0023] Zweckmäßig ist bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, dass vor dem Schritt a) ein Bild eines vorbestimmten Testobjekts aufgenommen wird, und auf Grundlage einer Analyse des Bilds des Testobjekts ein geeignetes Schema für die Berechnung des störungsreduzierten Phasenbildes für das Aufnahmeobjekt ausgewählt wird. Da periodische Störungen abhängig von äußeren Einflüssen sowohl sporadisch auftreten können, als auch systembedingt stets vorhanden sein können, kann durch diese Maßnahme erreicht werden, dass ein die Aufnahmezeit verlängerndes Algorithmus nur dann eingesetzt wird, wenn die entsprechende Störung bei der Aufnahme vorliegt.

[0024] Die Aufnahme des Testobjekts kann dabei während einer ohnehin notwendigen Kalibrierung des Systems zur Berechnung von Kontrast- oder Höhenbildern aus den Phasenbildern ohne wesentlichen zusätzlichen Zeitaufwand erfolgen. Sie kann jedoch auch separat durchgeführt werden, so dass vor jeder Messung eines Aufnahmeobjekts das jeweils günstigste Berechnungsschema ausgewählt werden kann.

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren liefert insbesondere bei solchen Systemen große Vorteile, bei denen das Aufnahmeobjekt und die Kamera zum Aufnehmen des projizierten Streifenmusters frei zueinander positionierbar sind und Freihandaufnahmen durchgeführt werden.

[0026] Ein besonders bevorzugtes Anwendungsbeispiel stellt die Aufnahme eines Höhenbilds eines oder mehrere Zähne im Mundraum eines Patienten dar, die durch eine Handvermessung in kurzer Messzeit vorgenommen wird. Dabei ist die erfindungsgemäß erzielte Steigerung der Messgenauigkeit ohne wesentliche Verlängerung der Aufnahmezeit von besonderem Vorteil.

[0027] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens enthält eine Projektionseinrichtung zum Projizieren eines Streifenmusters auf das Aufnahmeobjekt, eine Kamera zum Aufnehmen des projizierten Streifenmusters als Rohbild, und Mittel zum Berechnen eines Bildes des Aufnahmeobjekts aus mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern, welche zu mindestens zwei Rohbildgruppen zusammen-

gefasst sind.

[0028] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung der Ausführungsbeispiele und den Zeichnungen.

Ausführungsbeispiel

[0029] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Dabei zeigt

[0030] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Aufnahmevorrichtung nach dem Prinzip der Phasen-Shift-Triangulation;

[0031] Fig. 2 einen Graphen, der die Phase φ von sechs Rohbildern R_i mit $i = 1..6$ relativ zu einer Bezugsphase darstellt;

[0032] Fig. 3 einen Graphen, der die Amplitude A einer Störung mit 2-facher Gitterfrequenz als Funktion der Phase φ darstellt;

[0033] Fig. 4 einen Graphen, der die Amplitude A einer Störung mit 1-facher Gitterfrequenz als Funktion der Phase φ darstellt; und

[0034] Fig. 5 eine Schemazeichnung einer Intraoralkamera; und

[0035] Fig. 6 eine Schemazeichnung eines Teils des Projektionsstrahlenganges der Intraoralkamera aus Fig. 5.

Ausführungsbeispiele

[0036] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine allgemein mit 10 bezeichnete Aufnahmevorrichtung, die nach dem Prinzip der Phasen-Shift-Triangulation arbeitet. Die Projektionseinrichtung 12 erzeugt dabei ein Lichtgitter mit parallelen Gitterlinien, das auf ein Aufnahmeobjekt, im Ausführungsbeispiel ein Zahn 20, projiziert wird. Aufgrund der dreidimensionalen Oberflächenstruktur des Zahns 20 erscheinen die Lichtgitterlinien auf dem Zahn gekrümmt und unter ungleichmäßigen Abständen. Das über den Projektionsstrahlengang 13 projizierte Bild 22 wird unter einem Parallaxe-Winkel mit einer im Beobachtungsstrahlengang 15 angeordneten Flächenkamera 14 aufgenommen und zur Auswertung einer Auswertereinheit 16 zugeführt. Die Projektionseinrichtung 12 und die Kamera 14 können auch in einer baulichen Einheit 11 zusammengefasst sein, wie dies später für eine Intraoralkamera in Fig. 5 gezeigt ist.

[0037] Nach der Aufnahme eines ersten Rohbildes

R_1 werden weitere Rohbilder mit definierter Phasenverschiebung aufgenommen, wie in **Fig. 2** illustriert. Dort ist für sechs Rohbilder R_i mit $i = 1, \dots, 6$ die jeweilige Phase φ relativ zur Bezugsphase 0° gezeigt. Zwei aufeinander folgende Rohbilder weisen jeweils eine Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ von 90° auf. Durch die konstante Phasenverschiebung ergibt sich ein linearer Verlauf **30** der Phase.

[0038] Die Steuerung der Projektionseinrichtung **12** zur Erzeugung der phasenverschobenen Lichtgitter erfolgt ebenfalls durch die Recheneinheit **16**.

[0039] In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird von einem Algorithmus ausgegangen, der auf der Verwendung von vier Rohbildern mit 90° Phasenverschiebung zwischen aufeinander folgenden Rohbildern beruht. Dabei berechnet die Recheneinheit **16** in an sich bekannter Weise die Phase eines Bildpunktes aus den Intensitäten der vier Rohbilder. Erfindungsgemäß werden gegenüber dem Standardalgorithmus fünf statt vier, jeweils um 90° gegeneinander phasenverschobene Rohbilder $R_1, \dots, R_5$ aufgenommen. Die Aufnahmezeit verlängert sich dadurch um 25%.

[0040] Anschließend wird aus den Rohbildern R_1 bis R_4 nach dem Standardalgorithmus ein erstes Phasenbild P_1 berechnet und aus den Rohbildern R_2 bis R_5 ein zweites Phasenbild P_2 . Da die einzelnen Rohbilder R_1, R_2 bis R_4, R_5 zueinander jeweils eine Phasenverschiebung von 90° haben, weisen auch die beiden Phasenbilder P_1 und P_2 zueinander eine Phasenverschiebung von 90° auf. Nun werden die beiden Phasenbilder P_1 und P_2 gemittelt. Störungen mit der 2-fachen Gitterfrequenz werden dadurch stark unterdrückt oder eliminiert.

[0041] Dies ist in dem Graphen der **Fig. 3** illustriert, der die Amplitude A einer Störung mit 2-facher Gitterfrequenz als Funktion der Phase φ darstellt. Die Kurve **32** (offene Quadrate) zeigt den Verlauf der Störung in dem Phasenbild P_1 , die Kurve **34** (gefüllte Kreise) den dazu um 90° verschobenen Verlauf der Störung im Phasenbild P_2 . Durch Mittelung der Phasenbilder ergibt sich die Kurve **36** (Kreuze), in der die Störung mit 2-facher Gitterfrequenz eliminiert ist.

[0042] In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird wieder von dem auf vier Rohbildern mit 90° Phasenverschiebung beruhenden Algorithmus ausgegangen. In diesem Ausführungsbeispiel werden sechs um jeweils 90° gegeneinander phasenverschobene Rohbilder $R_1, \dots, R_6$ aufgenommen. Die Aufnahmezeit verlängert sich um 50% gegenüber dem Standardalgorithmus. Anschließend werden nach dem Standardalgorithmus drei Phasenbilder berechnet, ein erstes Phasenbild P_1 aus den Rohbildern R_1 bis R_4 , ein zweites Phasenbild P_2 aus den Rohbildern R_2 bis R_5 , und ein drittes Phasenbild P_3

aus den Rohbildern R_3 bis R_6 .

[0043] Da die einzelnen Rohbilder des ersten und dritten Phasenbildes R_1, R_3 bis R_4, R_6 zueinander jeweils eine Phasenverschiebung von 180° haben, weisen auch die beiden Phasenbilder P_1 und P_3 zueinander eine Phaseverschiebung von 180° auf. Durch eine Mittelung der Phasenbilder P_1 und P_3 werden somit Störungen mit der 1-fachen Gitterfrequenz stark unterdrückt oder eliminiert. Dies ist in dem Graphen der **Fig. 4** illustriert, der die Amplitude A einer Störung mit 1-facher Gitterfrequenz als Funktion der Phase φ darstellt.

[0044] Die Kurve **42** (offene Quadrate) zeigt den Verlauf der Störung in dem Phasenbild P_1 , die Kurve **44** (gefüllte Kreise) den dazu um 180° verschobenen Verlauf der Störung im Phasenbild P_3 . Durch Mittelung der Phasenbilder ergibt sich die Kurve **46** (Kreuze), in der die Störung mit 1-facher Gitterfrequenz eliminiert ist. Anschließend kann das aus den Phasenbildern P_1 und P_3 durch Mittelung erhaltene Zwischenphasenbild P_z wie oben beschrieben mit dem Phasenbild P_2 gemittelt werden, um Störungen mit der 2-fachen Gitterfrequenz zu eliminieren.

[0045] Die mit Bezug auf die Phasenbilder gemachten Ausführungen gelten in gleicher Weise für die Kontrastbilder.

[0046] Analog zu den beschriebenen Vorgehensweisen ist es auch möglich, Störungen mit der 4-fachen Gitterfrequenz durch eine Mittelung zweier Phasen- bzw. Kontrastbilder, die aus um 45° phasenverschobenen Rohbildern berechnet wurden, zu eliminieren. Dabei kann eine spezielle Eigenschaft von Halbbildsensoren ausgenutzt werden. Bei einer Phasenverschiebung der Rohbilder um 90° ergibt sich für beiden Halbbilder eine Phasenverschiebung um 45° . Dies kann durch Mittelung der beiden Phasen- bzw. Kontrast-Halbbilder zur Eliminierung von Störungen mit 4-facher Gitterfrequenz ausgenutzt werden. Der Verlust an Auflösung wird bei starken Störungen durch den Gewinn an Messgenauigkeit mehr als kompensiert.

[0047] Periodische Störungen können sporadisch als Antwort auf äußere Einflüsse auftreten oder systembedingt stets vorhanden sein. Daher wird in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel das Auftreten von Störungen 1-facher, 2-facher oder 4-facher Gitterfrequenz durch Fourier-Analyse eines Höhenbildes eines Testobjekts, beispielsweise einer Ebene, festgestellt.

[0048] Ohne zusätzlichen Zeitaufwand kann dies während einer ohnehin erforderlichen Kalibrierung des Systems erfolgen. Dann kann je nachdem, welche Vielfache der Gitterfrequenz festgestellt werden, ein geeignetes Berechnungsschema gewählt wer-

den, das lediglich Störungen mit den festgestellten Frequenzen unterdrückt und somit in kürzestmöglicher Zeit ausgeführt werden kann. Die Nachteile der beschriebenen Korrekturen, eine längere Aufnahmedauer und/oder ein Auflösungsverlust werden somit nicht unnötig in Kauf genommen. Eine längere Aufnahmedauer ist oft besonders dann nachteilig, wenn das Messsystem und das Aufnahmeobjekt frei zueinander positionierbar sind.

[0049] Eine Vorrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens ist in **Fig. 5** in Form einer Intraoralkamera **1** gezeigt.

[0050] Die Intraoralkamera kann mit einem Ende **2** in eine Mundhöhle **3** eines Patienten **4** eingeführt werden und die aufgenommenen Bilddaten eines Aufnahmeobjekts **20** können über ein Kabel **6** ausgelesen werden. Über die Auswerteeinheit **16** wird ein Höhenbildes des Aufnahmeobjekts **20** aus mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern, welche zu mindestens zwei Rohbildgruppen zusammengefasst sind, berechnet. Die Auswerteeinheit **16** kann Komponenten eines handelsüblichen PC aufweisen. Die Kamera **1** umfasst einen Projektionsstrahlengang **13** zur Erzeugung eines Streifenmusters auf dem Aufnahmeobjekt **20**. Über einen Beobachtungsstrahlengang **15** wird das auf das Aufnahmeobjekt **20** projizierte Streifenmuster als Rohbild von einem Empfänger **17** aufgenommen.

[0051] Die Intraoralkamera aus **Fig. 5** enthält hierzu eine in **Fig. 6** dargestellte Projektionseinrichtung **12** zum Projizieren eines durch ein im Projektionsstrahlengang **13** angeordnetes Gitter **19** erzeugtes Streifenmuster auf das Aufnahmeobjekt. Das Gitter **19** wird über einen Biegeschwinger **23** in einer Richtung **24**, die im wesentlichen senkrecht zur Projektionsrichtung ist, bewegt. Dies erfolgt in der Regel kontinuierlich, wobei allerdings die Eigenschaften des Biegeschwingers zu berücksichtigen sind. Da es sich hier um kleine Bewegungen handelt, haben herstellungsbedingte Streuungen im Verhalten des Biegeschwingers einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf diese Bewegung. Grundsätzlich ist es auch möglich, anstelle einer kontinuierlichen Bewegung eine sprunghafte Bewegung auszuführen, sodass das Streifenmuster während der Integrationszeit, also während der Belichtung des Bildempfängers, still steht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung eines Bildes eines Aufnahmeobjekts (**20**), insbesondere für zahnmedizinische Zwecke, mit den Verfahrensschritten:

- a) Projizieren eines Streifenmusters auf das Aufnahmeobjekt (**20**),
- b) Aufnehmen des projizierten Streifenmusters (**22**) als Rohbild (R_i) mit einem Bildempfänger (**14**; **17**) un-

ter einem anderen Winkel als die Projektion, wobei die Schritte a) und b) bei mehreren verschiedenen Positionen der Phasenlage des Streifenmusters durchgeführt werden, und

c) Berechnen eines Bildes des Aufnahmeobjekts aus den mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern ($R_1, \dots, R_n$),

dadurch gekennzeichnet, dass

zur Unterdrückung periodischer Störungen in Schritt c)

c₁) aus den Kamerarohbildern ($R_1, \dots, R_m$) zumindest zwei Rohbildergruppen ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) gebildet werden,

c₂) aus jeder Rohbildgruppe ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) ein Phasenbild (P_i) des Aufnahmeobjekts (**20**) berechnet wird,

c₃) die berechneten Phasenbilder (P_1, P_2) so gemittelt werden, dass ein Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen entsteht und dass

c₄) aus dem Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen ein Bild des Aufnahmeobjekts berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die berechneten Phasenbilder (P_1, P_2) mit Wichtungsfaktoren versehen gemittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohbilder ($R_1, \dots, R_m$) jeweils mit einer konstanten Verschiebung der Phasenlage des Gitters (**19**) aufgenommen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass

– ($n + 1$) Rohbilder ($R_1, R_2, \dots, R_{n+1}$) aufgenommen werden, wobei aufeinander folgende Rohbilder eine Phasenverschiebung aufweisen,

– zwei Rohbildgruppen ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) gebildet werden,

– ein erstes Phasenbild (P_1) aus der ersten Rohbildgruppe ($R_1, R_2, \dots, R_n$) und ein zweites Phasenbild (P_2) aus der zweiten Rohbildgruppe ($R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) berechnet wird, und

– das erste (P_1) und zweite (P_2) Phasenbild gemittelt werden, um ein Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen zu erhalten, wobei n eine ganze Zahl größer oder gleich 3 darstellt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass

– ($n + 2$) Rohbilder ($R_1, R_2, \dots, R_{n+2}$) aufgenommen werden, wobei aufeinander folgende Rohbilder eine Phasenverschiebung aufweisen,

– drei Rohbildgruppen ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}; R_3, R_4, \dots, R_{n+2}$) gebildet werden,

– ein erstes Phasenbild (P_1) aus der ersten Rohbildgruppe ($R_1, R_2, \dots, R_n$), ein zweites Phasenbild (P_2) aus der zweiten Rohbildgruppe ($R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$) und ein drittes Phasenbild (P_3) aus der dritten Rohbildgruppe ($R_3, R_4, \dots, R_{n+2}$) berechnet wird, und

– das erste (P_1) und dritte (P_3) Phasenbild ermittelt werden, um ein Zwischenbild (P_z) zu erhalten das zweite Phasenbild (P_2) und das Zwischenbild (P_z) ermittelt werden, um ein Phasenbild (P) mit reduzierten Störungsanteilen zu erhalten, wobei n eine ganze Zahl größer oder gleich 3 darstellt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass n gleich 4 gewählt ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohbilder ($R_1, \dots, R_m$) im Halbbildverfahren aufgenommen werden, so dass die beiden Halbbilder zueinander eine Phasenverschiebung aufweisen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Halbbilder zueinander eine Phasenverschiebung aufweisen, die die Hälfte der Phasenverschiebung aufeinander folgender Rohbilder ($R_1, \dots, R_m$) beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass aus jedem der Halbbilder eines Rohbilds ($R_1, \dots, R_m$) ein Phasenbild (P_1, P_2) berechnet wird und die beiden Phasenbilder (P_1, P_2) vor der Weiterverarbeitung derart gemittelt werden, dass ein Phasenbild (P) mit reduzierten hochfrequenten Störungsanteilen entsteht.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass vor Schritt a) ein Bild eines vorbestimmten Testobjekts aufgenommen wird und auf Grundlage einer Analyse des Bilds des Testobjekts ein geeignetes Schema für die Berechnung des störungsreduzierten Phasenbildes für das Aufnahmeobjekt ausgewählt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmeobjekt (**20**) und die Kamera (**1**) zum Aufnehmen des projizierten Streifenmusters (**22**) frei zueinander positionierbar sind.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bild eines oder mehrere Zähne (**20**) im Mundraum (**3**) eines Patienten (**4**) durch eine Handvermessung in kurzer Messzeit aufgenommen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das zu erstellende Bild des Aufnahmeobjekts ein Höhenbild oder ein Kontrastbild ist.

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit
– einer Projektionseinrichtung (**12**) zum Projizieren eines Streifenmusters auf das Aufnahmeobjekt (**20**),
– einer Kamera (**14**) zum Aufnehmen des projizierten

Streifenmusters (**22**) als Rohbild ($R_1, \dots, R_m$) und

– Mitteln (**16**) zum Berechnen eines Bildes des Aufnahmeobjekts (**20**) aus mehreren gegeneinander phasenverschobenen Kamerarohbildern ($R_1, \dots, R_m$) unter Ausbildung von mindestens zwei Rohbildgruppen ($R_1, R_2, \dots, R_n; R_2, R_3, \dots, R_{n+1}$)

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

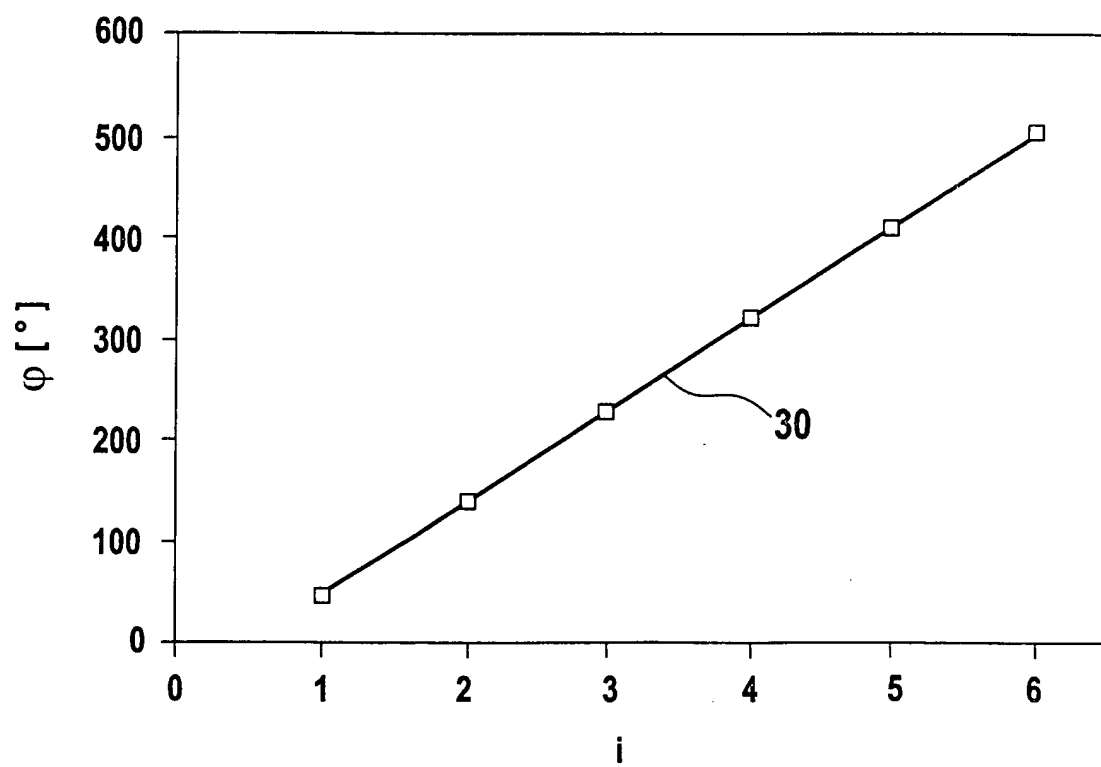
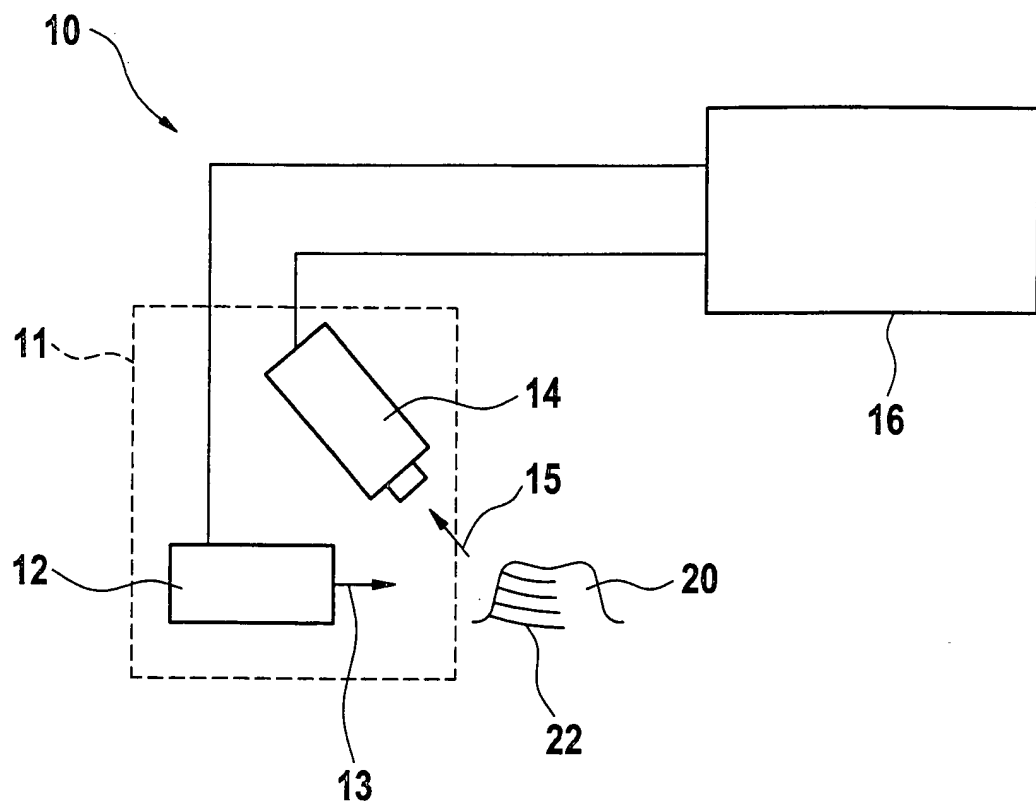


Fig. 2

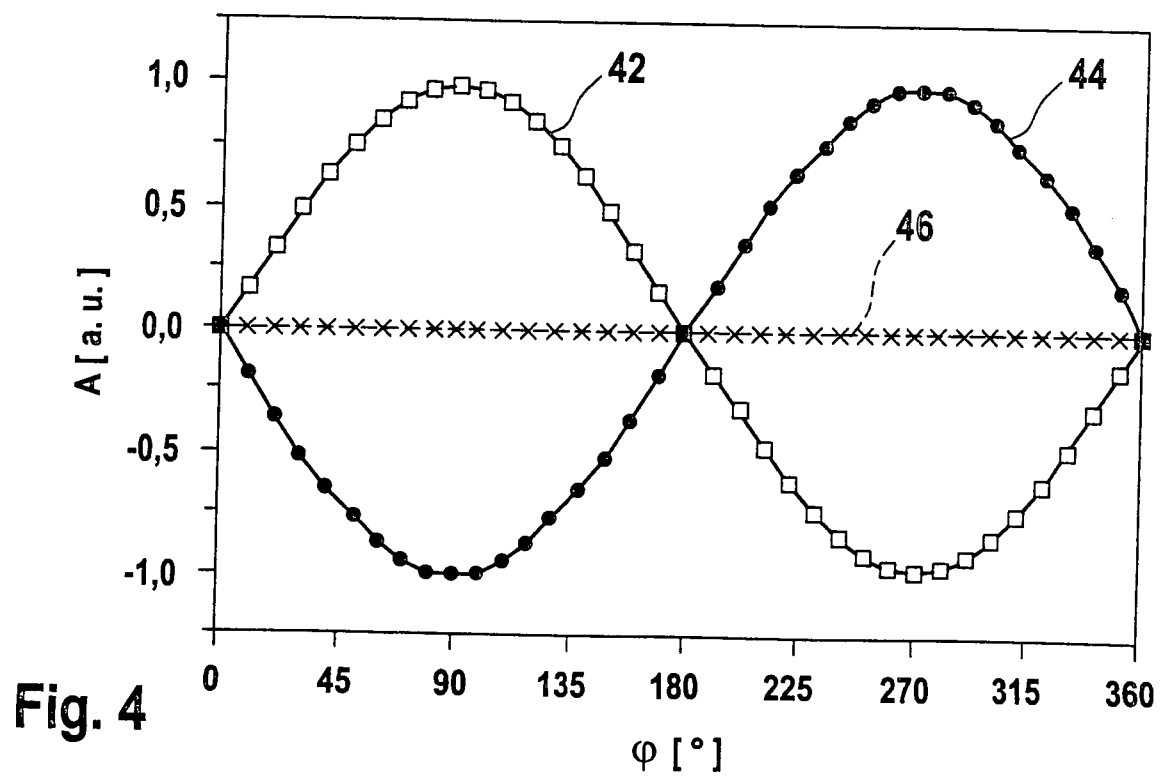
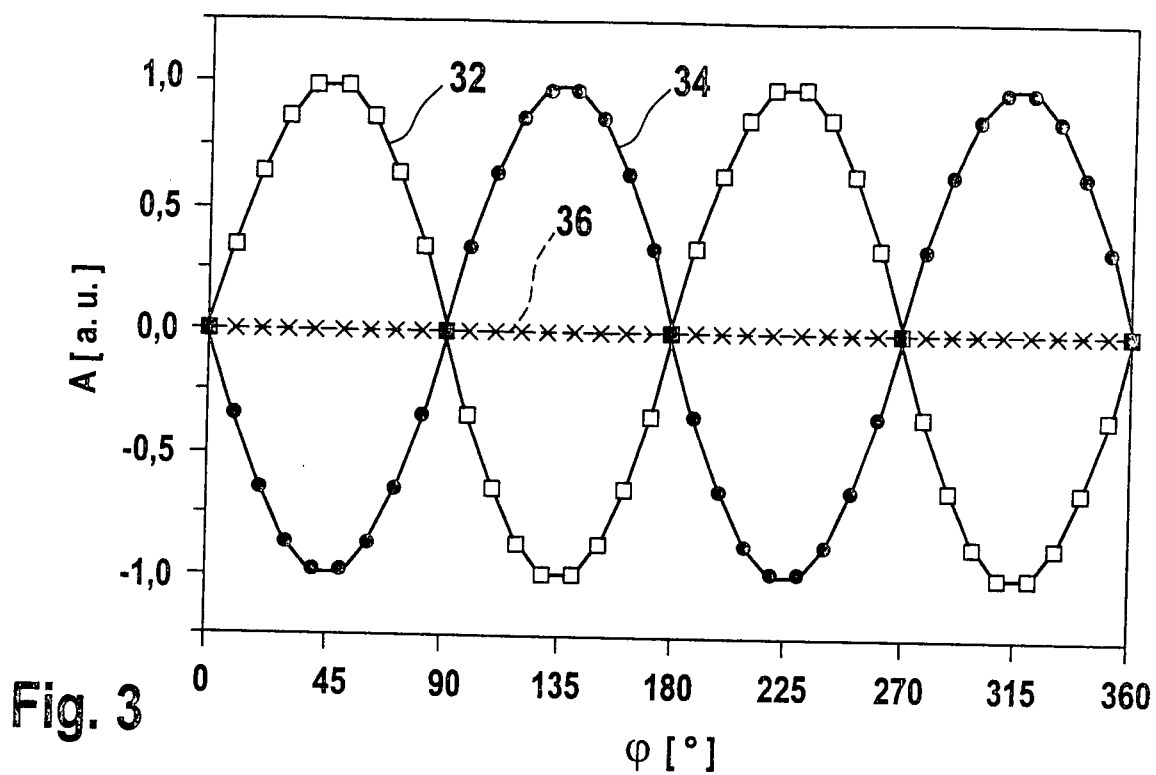


Fig. 5

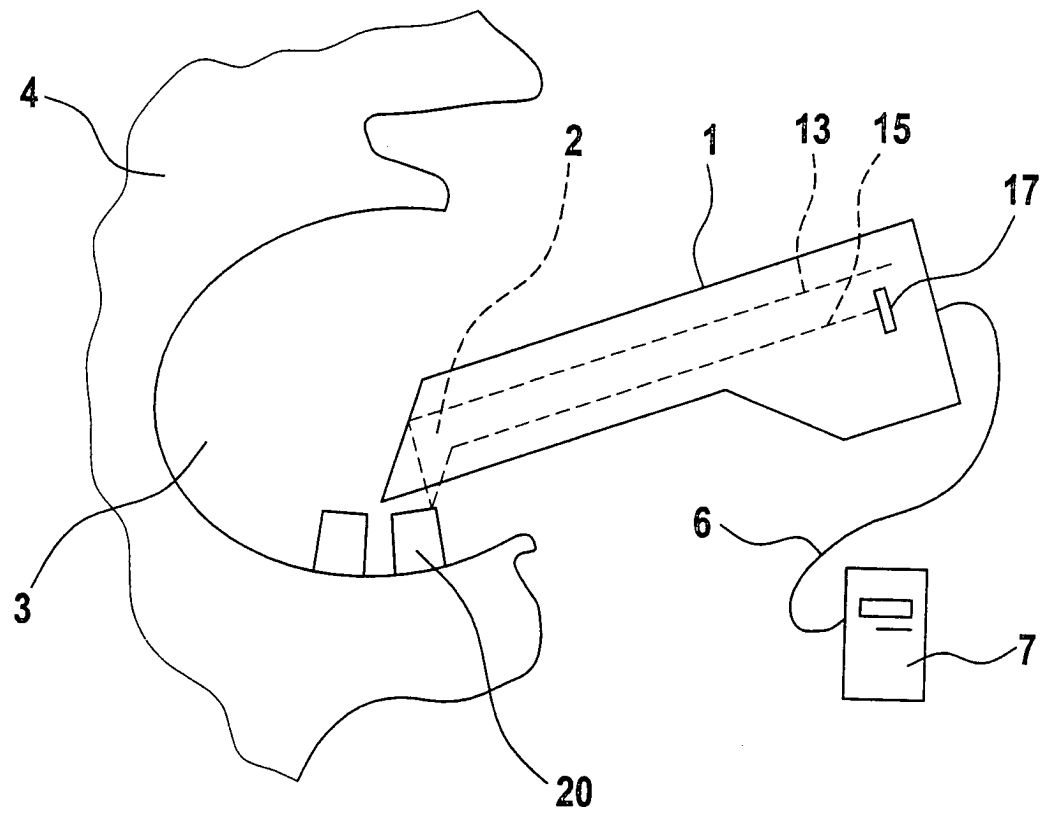


Fig. 6

