



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 39 241 A1** 2004.03.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 39 241.6**

(22) Anmeldetag: **26.08.2003**

(43) Offenlegungstag: **25.03.2004**

(51) Int Cl.⁷: **A61C 19/045**

(30) Unionspriorität:

10/2002-50544 26.08.2002 KR

(74) Vertreter:

Grosse, Bockhorni, Schumacher, 81476 München

(71) Anmelder:

**Korea Institute of Science and Technology,
Seoul/Soul, KR**

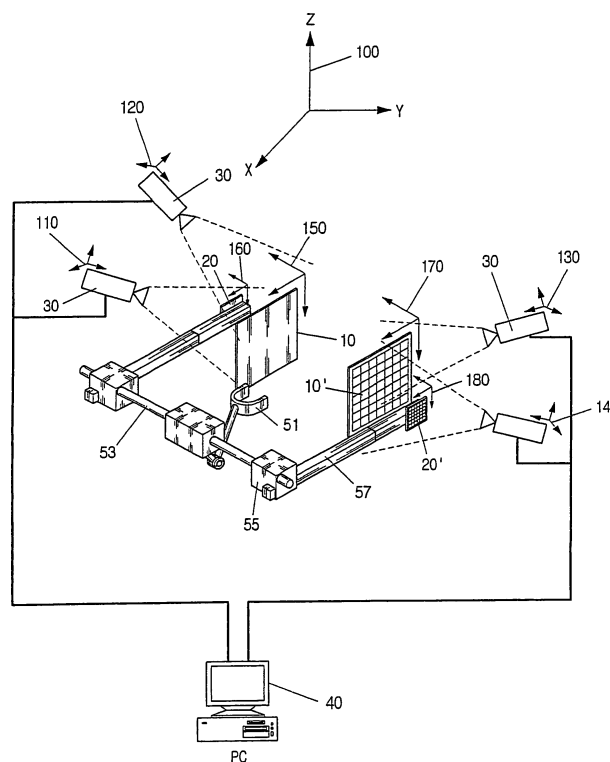
(72) Erfinder:

**Kim, Mun-sang, Seoul/Soul, KR; Kim, Joong-han,
Seoul/Soul, KR**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Messen der Kieferbewegung**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zum Messen einer Kieferbewegung weist ein Paar feste Markierungen, die an beiden Seiten des Gesichts eines Patienten angebracht sind, ein Paar bewegliche Markierungen, die so angeordnet sind, dass sie der festen Markierung in einem Abstand zugewandt sind und sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers des Patienten bewegen, vier Kameras, die die dreidimensionale Bewegung der beweglichen Markierung relativ zur festen Markierung aufzeichnen, während sich der Unterkiefer bewegt, und einen Personalcomputer zum Empfangen und Verarbeiten der von den angeschlossenen Kameras zugeführten Bildsignale auf. Die Vorrichtung kann genau den Ort des Drehmittelpunkts der Unterkieferbewegung und die Bewegungsbahn desselben mit räumlicher Bildverarbeitung der von der Kamera erhaltenen Bildsignale messen.



Beschreibung**VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN**

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der koreanischen Patentanmeldung Nr. 2002-50544, eingereicht am 26. August 2003, beim Koreanischen Amt für Geistiges Eigentum, deren Offenbarung durch Bezugnahme hierin enthalten ist.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG**1. Gebiet der Erfindung**

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen der Bewegung eines Kiefers zur Diagnose eines Zahneinschlusses, und insbesondere betrifft sie eine Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung, die eine kurze Messzeit und eine gute Reproduzierbarkeit aufweist.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0003] Die Analyse der Kieferbewegung ist ein fundamentaler Bestandteil auf dem Gebiet der Rekonstruktion eines Zahneinschlusses und der Zahnbehandlung des Kiefers oder der Zähne. Auf diesem Gebiet wurde eine handbetätigte Vorrichtung verwendet, um die Bewegung des Kiefers zu messen und diese zu analysieren und zu reproduzieren. Diese handbetätigte Vorrichtung weist jedoch den Nachteil der langen Messzeit auf, die sowohl Patienten als auch den Arzt gemeinsam belastet, und der Grad der Reproduzierbarkeit war bislang nicht verlässlich. Zudem ist die handbetätigte Vorrichtung nicht in der Lage, geeignete Daten zur Diagnose und Behandlung eines Kiefereinschlusses unter Verwendung von CAD zu erzeugen, woran gerade Forschungen betrieben werden.

[0004] Heutzutage steigt das Bedürfnis nach einer automatisierten Messvorrichtung, was eine Reihe von Versuchen zur Entwicklung neuer automatischer Messvorrichtungen und deren Kommerzialisierung auslöst. Die kommerziellen (Vorrichtungen) verwenden einen Drehsensor, magnetischen Sensor, Infrarotsensor oder eine Kamera. Unter diesen kommerziellen (Vorrichtungen) war jene, die den magnetischen Sensor verwendet, am Markt relativ erfolgreich. Sie ist jedoch deutlich teurer als die handbetätigte Vorrichtung und weist Schwierigkeiten beim Definieren der Orbitalebene auf, was ein wichtiges Konzept bei der Konstruktion prothetischer Einrichtungen ist. Inzwischen werden die Messvorrichtungen, die Kameras verwendet, erforscht, von denen die meisten auf der Technologie der räumlichen Bildverarbeitung (Stereo Vision Processing) unter Einsatz von Markierungen basieren, die bislang aber noch nicht kommerzialisiert sind.

[0005] US 4,836,778 und US 5,340,390 offenbaren die die Kameras verwendende Vorrichtung, diese Er-

findungen verwiesen jedoch nicht auf die starken Zahneinschlüsse und deren Behandlung und lassen somit den Praxisbezug vermissen.

[0006] Es ist insbesondere ein Simulationssystem für Zahneinschlüsse, das die CAD-Technologie verwendet, Gegenstand dynamischer Forschungen, und ein solches System erfordert eine kostengünstige und automatisierte Vorrichtung zur Messung der Kieferbewegung.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um die obigen Probleme des Standes der Technik zu lösen, und sie hat den Zweck, eine geeignete Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung zu schaffen, die eine verkürzte Messzeit, einen ausgezeichneten Grad der Reproduzierbarkeit und der Anwendbarkeit für die CAD-Technologie aufweist.

[0008] Das weitere Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung bereitzustellen, die direkt den Mittelpunkt der Kieferbewegung markieren kann und sich so für die herkömmliche Diagnose von Einschlüssen und zur Zahnbehandlung unter Verwendung einer Einschlussvorrichtung und eines Füllmaterials (plaster) verwenden lässt.

[0009] Das erfindungsgemäße Ziel kann erreicht werden durch eine Vorrichtung zum Messen einer Kieferbewegung, die folgendes aufweist: ein Paar feste Markierungen, die an beiden Seiten des Gesichts eines Patienten angebracht sind; ein Paar bewegliche Markierungen, die so angeordnet sind, dass sie den festen Markierungen in einem Abstand zugewandt sind, und die sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers des Patienten bewegen; eine Kopp- lungseinrichtung zum Verbinden der beweglichen Markierung mit dem Unterkiefer des Patienten; eine Mehrzahl Kameras, die die relative Bewegung der beweglichen Markierung relativ zur festen Markierung aufzeichnen, während sich der Unterkiefer bewegt; und eine Steuereinrichtung zum Empfangen und Verarbeiten der Bildsignale, die von den angeschlossenen Kameras zugeführt werden.

[0010] Es wird empfohlen, dass zwei Kameras an jeder Seite des Gesichts des Patienten positioniert sind, um die dreidimensionale Bewegung der beweglichen Markierung relativ zur festen Markierung zu messen.

[0011] Die feste Markierung weist die Form einer Platte auf, und eine Grenzlinie mit einer spezifischen Farbe am Rand der festen Markierung ist zur einfachen Unterscheidung von der Umgebung vorgesehen. Die feste Markierung weist eine Eckpunktextraktionsmarkierung auf, die auf der Grenzlinie zur Extraktion eines Eckpunktes ausgebildet ist, der benötigt wird, um das lokale Koordinatensystem für die feste Markierung einzurichten, und die Eckpunktextraktionsmarkierung weist eine von der Grenzlinie verschiedene Farbe auf. Eine Mehrzahl Vierecke sind in-

nerhalb der Grenzlinie in einem schachbrettartigen Muster angeordnet, welches auf der Oberfläche der festen Markierung ausgebildet ist, und der Eckpunkt ist als der Punkt definiert, an dem sich die Ecken der Vierecke treffen.

[0012] Die bewegliche Markierung weist die Form einer Platte und eine kleinere Größe als die feste Markierung auf, und die bewegliche Markierung weist eine Grenzlinie am Rand mit einer spezifischen Farbe zur leichten Unterscheidung von der Umgebung auf. Um den Eckpunkt zu erhalten, der als Datum für die Bewegung verwendet wird, sind eine Mehrzahl Vierecke in einem schachbrettartigen Muster auf der Oberfläche der beweglichen Markierung angeordnet. Die bewegliche Markierung weist eine Eckpunktextraktionsmarkierung mit einer anderen Farbe zur Extraktion eines Eckpunktes auf, und die Eckpunktextraktionsmarkierung ist als diejenigen Viereckpaare identifiziert, die sich an den vier Ecken der beweglichen Markierung befinden.

[0013] Die Kopplungseinrichtung umfasst folgendes: eine Querleiste; eine Haltevorrichtung, deren eines Ende am Unterkiefer des Patienten verankert und deren anderes Ende mit dem Mittelpunkt der Querleiste so verbunden ist, dass das andere Ende der Haltevorrichtung eine Drehbewegung relativ zur Querleiste ausführen kann; ein Paar Translationsrahmen, die mit beiden Enden der Querleiste in einer Weise verbunden sind, dass der Translationsrahmen bezüglich der Querleiste eine Translations- und Drehbewegung ausführen kann; und einen Messrahmen, dessen eines Ende mit dem Translationsrahmen so verbunden ist, dass der Messrahmen eine gerade Bewegung in senkrechter Richtung zur Querleiste ausführen kann, und dessen anderes Ende mit der beweglichen Markierung verbunden ist. Die bewegliche Markierung ist entfernbar mit dem anderen Ende des Messrahmens verbunden.

[0014] Statt der beweglichen Markierung kann alternativ ein Zeiger mit dem anderen Ende des Messrahmens verbunden werden, so dass er den Drehmittelpunkt des Unterkiefers des Patienten auf der Oberfläche der festen Markierung oder dem Gesicht des Patienten darstellt.

[0015] Zusätzlich enthält die Erfindung eine Orbitalebene-markierung, die an einem spezifischen Ort um das Auge des Patienten herum angebracht ist, um Orbitales (Böden der Augenhöhle) zu messen, wobei die Orbitales (Böden der Augenhöhle) zur Definition der Orbitalebene verwendet werden.

[0016] Die Orbitalebene-markierung hat die Form einer dünnen Platte, und eine Grenzlinie mit einer spezifischen Farbe ist am Rand der Orbitalebene-markierung zur einfachen Unterscheidung von der Umgebung vorgesehen. Vier Vierecke sind in einem schachbrettartigen Muster innerhalb der Grenzlinie der Orbitalebene-markierung angeordnet, und der Eckpunkt der Orbitalebene-markierung wird als derjenige Punkt identifiziert, an dem sich die Ecken der vier Vierecke treffen.

[0017] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Messen der Kieferbewegung bereit, das folgende Schritte umfasst: Sammeln der Bilddaten durch Aufzeichnen einer festen Markierung, die am Gesicht eines Patienten angebracht ist, und einer beweglichen Markierung, die sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers bewegt, mit einer Kamera; Berechnen der Koordinatenwerte für jeden Eckpunkt der festen Markierung und der beweglichen Markierung entsprechend der Bewegung des Unterkiefers mit räumlicher Bildverarbeitung der gesammelten Daten; Berechnen einer Koordinatentransformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem der festen Markierung und dem lokalen Koordinatensystem der beweglichen Markierung; Berechnen der Lage der Schwenkachse durch Verwenden der Koordinatenwerte der entsprechenden Eckpunkte vor und nach der Bewegung der beweglichen Markierung; und Definieren des linken und rechten Drehmittelpunktes der Kieferbewegung durch Identifizieren des Schnittpunktes zwischen der Schwenkachse und der festen Markierung.

[0018] Konkret enthalten die Schritte des Berechnens der Lage der Schwenkachse folgende Schritte: Transformieren der dreidimensionalen Koordinatenwerte der Eckpunkte vor und nach der Translationsbewegung der beweglichen Markierung; Berechnen des Ortsvektors und eines Richtungsvektors aus den obigen transformierten Koordinatenwerten; und Ermitteln der linearen Gleichung der Gerade der Schwenkachse bezüglich des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung.

[0019] Die vorliegende Erfindung enthält folgende Schritte: Sammeln der Bilddaten durch Aufzeichnen der Orbitalebene-markierung, die um das Auge des Patienten herum angebracht ist, mit der Kamera, und Berechnen des Koordinatenwertes der Bahn; und erneutes Definieren des Drehmittelpunktes mit Bezug auf das absolute Koordinatensystem. Eine Orbitalebene ist als eine Ebene definiert, die die drei Punkte der erneut definierten linken und rechten Drehmittelpunkte und der Bahn enthält.

[0020] In dem Fall, in dem der Unterkiefer sowohl eine Dreh- als auch eine Translationsbewegung ausführt, enthält die vorliegende Erfindung folgende Schritte: Identifizieren des Drehmittelpunktes als festen Punkt auf der beweglichen Markierung; Berechnen der Transformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem der festen Markierung und dem lokalen Koordinatensystem der beweglichen Markierung zu jedem Zeitpunkt der Bewegung des Unterkiefers; Transformieren des Koordinatenwertes des Drehmittelpunktes, der bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die bewegliche Markierung definiert ist, in den Koordinatenwert des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung; und Verfolgen der Bahn des Drehmittelpunktes bezüglich der Orbitalebene.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] Diese und andere Ziele der vorliegenden Erfindung wird man leichter schätzen und verstehen, wenn man die folgende detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform zusammen mit den beiliegenden Zeichnungen berücksichtigt, in denen:

[0022] **Fig. 1** eine schematische Ansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung ist;

[0023] **Fig. 2** eine Seitenansicht der Vorrichtung von **Fig. 1** ist;

[0024] **Fig. 3** eine Vorderansicht der festen Markierung der Vorrichtung von **Fig. 1** ist;

[0025] **Fig. 4** eine Vorderansicht der beweglichen Markierung der Vorrichtung von **Fig. 1** ist;

[0026] **Fig. 5** eine Vorderansicht der Orbitalebene-markierung der Vorrichtung von **Fig. 1** ist;

[0027] **Fig. 6** ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Messen der Kieferbewegung bei geringer Bewegung des Unterkiefers des Patienten ist, wobei nur eine Drehbewegung gezeigt ist;

[0028] **Fig. 7** eine schematische Ansicht der Drehung und Translation des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung und des lokalen Koordinatensystems bezüglich des Koordinatensystems der Kamera ist;

[0029] **Fig. 8** eine schematische Ansicht der Beziehung zwischen dem absoluten Koordinatensystem und den lokalen Koordinatensystem der festen Markierung ist;

[0030] **Fig. 9** eine schematische Ansicht der Orbitalebene ist, die bezüglich des absoluten Koordinatensystems definiert ist;

[0031] **Fig. 10** ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Messen der Kieferbewegung bei sowohl Dreh- als auch Translationsbewegung des Unterkiefers des Patienten ist;

[0032] **Fig. 11A** eine perspektivische Ansicht eines Zustands ist, bei dem die feste Markierung von der Messvorrichtung entfernt ist; und

[0033] **Fig. 11B** eine perspektivische Ansicht eines Zustands ist, bei dem ein Zeiger mit der Messvorrichtung von **Fig. 1** dort verbunden ist, wo die feste Markierung entfernt ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0034] Nachfolgend wird die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung genauer mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben.

[0035] **Fig. 1** ist eine schematische Ansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung.

[0036] Wie in **Fig. 1** gezeigt, umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung ein Paar fester Markierungen **10, 10'**, die an beiden Seiten des Gesichtes eines Patienten an-

gebracht sind; zwei bewegliche Markierungen **20, 20'**, die so angeordnet sind, dass sie der festen Markierung in einem Abstand zugewandt sind und sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers des Patienten bewegen; vier Kameras **30**, die die relative Bewegung der beweglichen Markierung bezüglich der festen Markierung aufzeichnen, während sich der Unterkiefer bewegt; und einen Personalcomputer **40** zum Empfangen und Verarbeiten der durch die angeschlossenen Kameras zugeführten Bildsignale.

[0037] Die bewegliche Markierung **20, 20'** ist über eine Querleiste **53**, einen Translationsrahmen **55** und einen Messrahmen **57** mit einer Haltevorrichtung verbunden, die am Unterkiefer des Patienten befestigt ist, so dass sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers des Patienten bewegen kann.

[0038] Ein Ende der Haltevorrichtung **51** ist am Unterkiefer des Patienten verankert, und das andere Ende der Haltevorrichtung **51** ist mit dem Mittelpunkt der Querleiste **53** so verbunden, dass das andere Ende der Haltevorrichtung eine Dreh- und Translationsbewegung bezüglich der Querleiste **53** ausführen kann. Ein Translationsrahmen **55** ist mit beiden Enden der Querleiste **53** so verbunden, dass der Translationsrahmen **55** eine Translations- und Drehbewegung bezüglich der Querleiste **53** ausführen kann. Die bewegliche Markierung **20, 20'** ist entfernbare am Messrahmen angebracht. Ein Ende des Messrahmens **57** ist mit dem Translationsrahmen **55** so verbunden, dass der Messrahmen eine gerade Bewegung in Richtung senkrecht zur Querleiste **53** durchführen kann.

[0039] Die Position der beweglichen Markierung **20, 20'** wird so eingestellt, dass sie der festen Markierung **10, 10'** im Sichtbereich der Kamera zugewandt ist, und zwar geschieht dies durch Ausführen einer Dreh- oder Translationsbewegung der Halteeinrichtung **51** und des Translationsrahmens **55** an der Querleiste **53** und durch Ausführen einer Translationsbewegung des Messrahmens **57** am Translationsrahmen **55** entsprechend der Schädelgröße des Patienten.

[0040] Bezugszeichen **100** bezeichnet ein dreidimensionales absolutes Koordinatensystem, und die Bezugszeichen **110, 120, 130, 140** bezeichnen die entsprechenden lokalen dreidimensionalen Koordinatensysteme der vier Kameras. Bezugszeichen **150, 170** bezeichnet das entsprechende lokale Koordinatensystem des Paares fester Markierungen **10, 10'**, und Bezugszeichen **160, 180** bezeichnet das entsprechende lokale Koordinatensystem des Paares beweglicher Markierungen **20, 20'**.

[0041] **Fig. 2** ist eine Seitenansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die am Kopf eines Patienten befestigt ist.

[0042] Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist die feste Markierung **10, 10'** am wahrscheinlichsten Drehmittelpunkt des Kiefers im Sichtbereich der Kamera angebracht. Bezugszeichen **60** bezeichnet die Orbitalebene-markierung. Die Orbitalebene-markierung **60** ist zusammen mit der festen Markierung **10, 10'** an einem spe-

zifischen Ort um das Auge des Patienten herum angebracht, z. B. an den Orbitales (Böden der Augenhöhle). Zusammen mit dem Drehmittelpunkt des Kiefers definiert die Orbitalebene**markierung 60** die Orbitalebene, wie unten beschrieben, und es genügt, wenn sie an einer Seite des Gesichts des Patienten angebracht ist.

[0043] Für den Prozess der räumlichen Bildverarbeitung werden vier Kameras – zwei an jeder Seite des Gesichts des Patienten – eingerichtet, um die Fokussierung auf der festen Markierung **10**, **19'**, der beweglichen Markierung **20**, **20'** und der Orbitalebene**markierung** durchzuführen. Während eine CCD-Kamera (Charge Control Device) oder eine CMOS-Kamera (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) empfohlen wird, die allgemein für Personalcomputer verwendet wird, kann stattdessen eine Infrarotkamera verwendet werden.

[0044] **Fig. 3** ist eine Zeichnung, die eine Frontansicht der festen Markierung **10**, **10'** oder der Ebene zeigt, die auf die Kamera **30** zugewandt ist. Die feste Markierung **10**, **10'** dient der Einrichtung eines Koordinatensystems **150**, **170**, das die Rolle des Basiskoordinatensystems für das relative lokale Koordinatensystem der beweglichen Markierung **20**, **20'** übernimmt.

[0045] Wie in **Fig. 3** gezeigt, nimmt die feste Markierung **10** die Form einer quadratischen Platte an. Die feste Markierung **10** weist am Rand eine Grenzlinie **11** mit einer spezifischen Farbe (z. B. Blau) auf. Die Grenzlinie **11** dient der Unterscheidung zwischen Innen- und Außenbereich der festen Markierung **10**. Konkret spielt die Grenzlinie **11** die Rolle der Grenze, die unnötige Signale aus den Signalen entfernt, die man von der Kamera **30** erhält, mit der Ausnahme vom Innenbereich der festen Markierung **10**.

[0046] Innerhalb der Grenzlinie **11** sind weiße und schwarze Vierecke in einem schachbrettartigen Muster angeordnet, um das lokale Koordinatensystem für die feste Markierung präzise einzurichten. Anders ausgedrückt, der Koordinatenwert des Treffpunkts der Vierecke (nachfolgend als „Eckpunkt“ bezeichnet) wird verwendet, um die feste Markierung **150**, **170** einzurichten.

[0047] In der Nähe der drei Ecken der Grenzlinie **11** sind drei Paare von Eckpunktextraktionsmarkierungen **12**, **13**, **14** – zwei in jedem Eckbereich – ausgebildet. Die Eckpunktextraktionsmarkierungen **12**, **13**, **14**, die verschiedene Farben (z. B. Rot, Grün, Gelb) annehmen, so dass sie voneinander unterschieden werden können, werden verwendet, um den Basisseckpunkt **16** zu extrahieren. Der Basisseckpunkt **16**, der sich in der Nähe der Eckpunktextraktionsmarkierung **12**, **13**, **14** befindet, ist der Bezugspunkt zum Berechnen aller Eckpunkte der festen Markierung **19**. Wenn der Basisseckpunkt **16** bekannt ist, kann jeder Eckpunkt auf der Grundlage des Basisseckpunkts **16** extrahiert werden, womit die Einrichtung des lokalen Koordinatensystem für die feste Markierung **150**, **170** ermöglicht wird.

[0048] **Fig. 4** zeigt die Frontansicht der beweglichen Markierung, d. h. die Betrachtungsebene der Kamera.

[0049] Wie in **Fig. 4** gezeigt, ist die Größe der beweglichen Markierung **20** kleiner als die der festen Markierung **10**, und die bewegliche Markierung **20** weist die Form einer rechteckigen Platte auf. Die bewegliche Markierung **20** weist zwei angrenzende Grenzlinien, eine äußere Grenzlinie **21** und eine innere Grenzlinie **22** an dem Rand auf, der verschiedene Farben aufweist (z. B. Rot und Schwarz). Innerhalb der äußeren Grenzlinie **21** und der inneren Grenzlinie **22** der beweglichen Markierung **20** sind eine Mehrzahl Vierecke in einem schachbrettartigen Muster ausgebildet, um Eckpunkte zu erhalten, die als Basispunkt zum Einrichten der beweglichen Markierung **20** und der Daten zum Bewegung der beweglichen Markierung **160**, **180** verwendet werden. Die äußere Grenzlinie **21** und die innere Grenzlinie **22** spielen die Rolle einer Grenze, die verwendet wird, um andere Bildsignale als die Signale vom schachbrettartigen Teil zu beseitigen.

[0050] Jedes der beiden Vierecke, die sich an den vier Ecken der beweglichen Markierung **20** befinden, wird als Eckpunktextraktionsmarkierung **23**, **24**, **25**, **26** verwendet. Die Eckpunktextraktionsmarkierungen **23**, **24**, **25**, **26** dienen als Indikator für die vier Basisseckpunkte **28**, die verwendet werden, um den Eckpunkt der beweglichen Markierung **20** zu extrahieren. Die Eckpunktextraktionsmarkierungen **23**, **24**, **25**, **26** nehmen vier Farben an, die von den Farben der äußeren Grenzlinie **21** und der inneren Grenzlinie **22** verschieden sind (z. B. Rot, Grün, Blau, Gelb). Der Basisseckpunkt **28** wird als Treffpunkt der Ecke eines Paares von Vierecken identifiziert, die die Eckpunktextraktionsmarkierung umfassen, d. h. als der Punkt, an dem sich die Ecken von vier Vierecken, die sich im Eckenbereich der beweglichen Markierung befinden, treffen.

[0051] Die anderen Vierecke, mit Ausnahme von denen, die eine Eckpunktextraktionsmarkierung **23**, **24**, **25**, **26** umfassen, sind in einem schachbrettartigen Muster mit zwei abwechselnden Farben (z. B. Weiß und Schwarz) angeordnet. Der Eckpunkt der beweglichen Markierung **20** befindet sich in einer Position, an der sich die Ecken der Vierecke treffen.

[0052] **Fig. 5** zeigt die Frontansicht einer Orbitalebene**markierung**, d. h. die Sichtebeine der Kamera **30**.

[0053] Wie in **Fig. 5** gezeigt, ist die Größe der Orbitalebene**markierung 60** kleiner als die der beweglichen Markierung **20**, und die Orbitalebene**markierung 20** weist die Form einer rechteckigen Ebene auf. Die Orbitalebene**markierung 60** weist am Rand eine Grenzlinie **61** mit spezifischer Farbe (z. B. Blau) auf. Innerhalb der Grenzlinie **61** der Orbitalebene **60** sind regelmäßig angeordnete Vierecke mit zwei verschiedenen Farben in einem schachbrettartigen Muster (z. B. Weiß und Rot) angeordnet. Die Grenzlinie **61** wird verwendet, um zwischen dem schachbrettartigen Teil

und dem anderen Teil zu unterscheiden und so unnötige andere Signale als die Signale vom schachbrettartigen Teil zu beseitigen.

[0054] Die Eckpunktextraktionsmarkierung **62** der Orbitalebene markierung **60** wird als zwei diagonal angeordnete Vierecke der vier Vierecke identifiziert, die in einem schachbrettartigen Muster angeordnet sind. Die Eckpunktextraktionsmarkierung **62** spielt die Rolle eines Indikators für die direkte Extraktion eines Eckpunktes wie dem spezifischen Punkt der Orbitales (Böden der Augenhöhle), und der Eckpunkt nimmt eine von den Farben der Grenzlinie **61** und der restlichen Vierecke verschiedene Farbe an. Der Eckpunkt O der Orbitalebene markierung **60** wird als der Treffpunkt der Ecken der vier Vierecke identifiziert, die in einem schachbrettartigen Muster angeordnet sind.

[0055] Während diese bevorzugte Ausführungsform das Verfahren zum Definieren der Orbitalebene durch Vermessen der Orbitales (Böden der Augenhöhle) erläutert, können andere Verfahren zum Definieren der Orbitalebene wie das direkte Erkennen eines spezifischen Punktes, z. B. den Spitzenpunkt des Orbitales, mit der Kamera **30** und Identifizierung der Position mit den Orbitales (Böden der Augenhöhle) möglich sein.

[0056] Nachfolgend wird das Verfahren zum Bestimmen des Drehmittelpunktes der Bewegung des Kiefers eines Patienten und zum Definieren der Orbitalebene durch Messen der Bewegung des Kiefers des Patienten erläutert.

[0057] Bei der vorliegenden Erfindung können die Haltevorrichtung **51**, die Querleiste **53**, der Translationsrahmen **55** und der Messrahmen **57**, an dem die bewegliche Markierung **20, 20'** installiert wird, als ein starrer Körper angesehen werden, und die obigen Komponenten führen Bewegungen aus, wenn sich der Unterkiefer des Patienten bewegt. Wenn sich die bewegliche Markierung **20** einheitlich mit dem Unterkiefer des Patienten bewegt, führt die bewegliche Markierung **20, 20'** eine Relativbewegung bezüglich der festen Markierung aus, die an beiden Seiten des Gesichts des Patienten angebracht ist. Die Relativbewegung kann mit vier Kameras **30** durch Aufzeichnen der Relativbewegung des Eckpunktes der beweglichen Markierung **20, 20'** im Verhältnis zum Eckpunkt der festen Markierung **10, 10'** und durch räumliche Bildverarbeitung der Bilddaten mit einem Personalcomputer **40** gemessen werden.

[0058] **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Messen der Kieferbewegung, wobei die Bewegung des Unterkiefers des Patienten so klein ist, dass dieser nur eine Drehbewegung zeigt. Das Ziel des Verfahrens gemäß **Fig. 6** ist es, den Drehmittelpunkt der Bewegung des Patienten auf der festen Markierung **10, 10'** zu definieren und die Orbitalebene bezüglich des absoluten Koordinatensystems **100** einzurichten. Fall die Bewegung des Unterkiefers des Patienten so klein ist und nur eine Drehbewegung zeigt, wird der Messvorgang für den Kiefer des Pati-

enten durch den unten beschriebenen Vorgang erreicht.

[0059] Zunächst werden die Bilddaten für die feste Markierung **10, 10'**, die bewegliche Markierung **20, 20'** und die Orbitalebene markierung **60** mit vier Kameras **30** während der Bewegung des Unterkiefers des Patienten ermittelt (S11) und der entsprechende dreidimensionale Koordinatenwert für die Eckpunkte der Markierungen **10, 10', 20, 20', 60** berechnet (S12). Die dreidimensionalen Koordinatenwerte für die Eckpunkte werden bezüglich des lokalen Koordinatensystems **110, 140** der beiden Kameras definiert, die sich an beiden Seiten des Gesichts des Patienten, z. B. an der unteren linken und unteren rechten Position in **Fig. 1**, befinden.

[0060] Anschließend wird die Koordinatentransformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem der festen Markierung **150, 170** und dem Koordinatensystem der beweglichen Markierung **160, 180** unter Verwendung der dreidimensionalen Koordinatenwerte der festen Markierung **10, 10'** und der beweglichen Markierung **20, 20'** mit dem Computer **40** berechnet (S13). Im Falle der links positionierten festen Markierung **10** und beweglichen Markierung **20** in **Fig. 1**, kann beispielsweise die Koordinatentransformationsmatrix, die das Maß der Drehung oder Translation des Koordinatensystems für die feste Markierung **150** und des Koordinatensystems für die bewegliche Markierung **160** bezüglich der Lage des Koordinatensystems **110** der links unten positionierten Kamera angibt, berechnet werden, wie es in **Fig. 7** gezeigt ist.

[0061] Anschließend wird die Schwenkachse entsprechend der Bewegung der beweglichen Markierung **20, 20'** unter Verwendung der Koordinatenwerte vor und nach der Bewegung der beweglichen Markierung **20, 20'** berechnet (S14). Dann wird der Drehmittelpunkt der Unterkieferbewegung, d. h. der linke und rechte Schwenkpunkt des Kiefers aus der Schwenkachse berechnet, die man aus dem obigen Vorgehen abgeleitet hat (S15).

[0062] Die ausführliche Erklärung des Prozesses zum Berechnen der Schwenkpunkte entsprechend der Prozesse S14 und S15 ist die folgende. Wie oben gezeigt, kann das lokale Koordinatensystem für die feste Markierung durch Verwenden dreidimensionaler Koordinatenwerte des Eckpunktes der festen Markierung **10, 10'** eingerichtet werden. Das entsprechende lokale Koordinatensystem für die feste Markierung **150, 170** ist bezüglich des absoluten Koordinatensystems definiert, wie es in **Fig. 8** gezeigt ist. Der Mittelpunkt der Unterkieferbewegung (d. h. der Schwenkpunkt) kann mit Bezug auf das lokale Koordinatensystem für die feste Markierung **150, 170** ermittelt werden. Zuerst werden die dreidimensionalen Koordinatenwerte vor und nach der Bewegung des Eckpunktes der beweglichen Markierung **20, 20'** in Werte des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung **150, 170** transformiert. Dann werden der Ortsvektor und der Richtungsvektor der Schwenk-

achse unter Verwendung der Schraubentheorie berechnet. Wenn der Ortsvektor und der Richtungsvektor der Schwenkachse ermittelt sind, kann die lineare Gleichung der Schwenkachse bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung berechnet werden. Und anschließend wird der Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) als der Schnittpunkt der linearen Gleichung der Schwenkachse und der x-y-Ebene des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung **150, 170** (d. h. der Oberfläche der festen Markierung **10, 10'**) identifiziert.

[0063] Der Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2), der in S15 ermittelt wird, ist der Wert, der in dem entsprechenden lokalen Koordinatensystem für die feste Markierung **150, 170** definiert ist. Nach S15 wird der Drehmittelpunkt des Unterkiefers erneut bezüglich des absoluten Koordinatensystems **100** definiert (S16). Anschließend wird die Orbitalebene durch Verwenden des linken und rechten Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) und des spezifischen Punktes, wie der Orbitales (Böden der Augenhöhle) definiert, der mit der Orbitalebenenmarkierung **60** gemessen wurde (S17). Die Orbitalebene ist als die Ebene definiert, die drei Punkte enthält, nämlich den linken und rechten Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) und dem Orbitales (Boden der Augenhöhle), wie es in **Fig. 9** gezeigt ist. In **Fig. 9** bezeichnet das Bezugszeichen **190** das lokale Koordinatensystem der Orbitalebene.

[0064] Die Translationsbewegung und die Drehbewegung treten auf, wenn die Bewegung des Unterkiefers groß ist, was es daher erforderlich macht, die Bahn der Bewegung des Drehmittelpunktes des Kiefers zu verfolgen.

[0065] Die vorliegende Erfindung definiert den linken und rechten Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die bewegliche Markierung neu, die bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung **150, 170** definiert worden sind, um die Bahn des Drehmittelpunktes des Unterkiefers zu verfolgen, wie es in **Fig. 6** gezeigt ist. Anders ausgedrückt, wenn der Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2), der aus dem Verfahren von **Fig. 6** bestimmt wurde, als permanent fester Punkt im lokalen Koordinatensystem für die bewegliche Markierung **160, 180** eingerichtet wird, bleibt der Koordinatenwert für den Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) ein fester Punkt, jedoch verändert sich mit Bezug auf das Koordinatensystem für die feste Markierung **150, 170** der Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) weiterhin, wenn sich der Unterkiefer weiter bewegt. Die Transformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem für die feste Markierung **150, 170** und dem lokalen Koordinatensystem für die bewegliche Markierung **160, 180** kann für jeden Zeitpunkt der Bewegung des Unterkiefers berechnet werden. Als Ergebnis wird die Verfolgung des Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung **150, 170** er-

möglicht durch Transformieren des Koordinatenwerts des Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die bewegliche Markierung in den entsprechenden Koordinatenwert bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung.

[0066] Zudem kann die Bahn der Bewegung bezüglich der festen Markierung in eine entsprechende Bahn der Bewegung bezüglich des Koordinatensystems der Orbitalebene transformiert werden, da die Transformationsbeziehung zwischen den beiden obigen Koordinatensystemen berechnet werden kann. Das bedeutet, die Bewegungsbahn des Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) kann bezüglich der Orbitalebene berechnet werden, die in **Fig. 6** definiert wurde.

[0067] **Fig. 10** ist ein Flussdiagramm des Verfahrens zum Vermessen der Kieferbewegung für den Fall, in dem die Bewegung des Unterkiefers des Patienten so groß ist, dass er sowohl eine Dreh- als auch eine Translationsbewegung ausführt.

[0068] Zunächst werden die Bilddaten der festen Markierung **10, 10'** und der beweglichen Markierung **20, 20'** zu jedem Zeitpunkt der Bewegung ermittelt (S21) und der dreidimensionale Koordinatenwert der entsprechenden Eckpunkte der festen Markierung **10, 10'** und der beweglichen Markierung **20, 20'** durch eine räumliche Bildverarbeitung mit dem Computer **40** berechnet (S22). Anschließend wird die Transformationsmatrix zwischen der festen Markierung **10, 10'** und der beweglichen Markierung **20, 20'** berechnet (S23).

[0069] Dann wird durch Verwenden der in S23 erhaltenen Transformationsmatrix der Koordinatenwert des Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) bezüglich des lokalen Koordinatensystems der beweglichen Markierung **160, 180** in den entsprechenden Wert bezüglich des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung **150, 170** transformiert (S24). Der Wert des Drehmittelpunktes des Unterkiefers (C1, C2) bezüglich des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung **150, 170** verändert sich fortlaufend, und nachfolgend wird dieser sich ändernde Koordinatenwert als „virtueller Drehmittelpunkt“ bezeichnet.

[0070] Schließlich wird der virtuelle Drehmittelpunkt zu jedem Zeitpunkt der Kieferbewegung im Computer gespeichert (S25) und die Bewegungsbahn kann auf dem Computermonitor durch ein graphisches Ausgabeformat angezeigt werden.

[0071] Der Drehmittelpunkt der Kieferbewegung und seine Bewegungsbahn sollten auf der Oberfläche der festen Markierung **10, 10'** und dem Seitenteil des Gesichts des Patienten markiert werden, und dieses Verfahren ist in **Fig. 11A** und **Fig. 11B** gezeigt.

[0072] Wie in **Fig. 11A** gezeigt, ist die bewegliche Markierung **20, 20'** am vorderen Ende des Messrahmens **57** in einer entfernbar angebrachten Weise eingerichtet. Die bewegliche Markierung **20, 20'** wird vom Messrahmen entfernt, nachdem sie bei der Be-

stimmung des Drehmittelpunkts des Kiefers des Patienten verwendet worden ist. Anschließend wird, wie in **Fig. 11B** gezeigt, ein Zeiger **80** am vordern Ende des Messrahmens anstelle der entfernten beweglichen Markierung **20, 20'** eingerichtet. Die Spitze des Zeigers **80** ist mit einer farbigen Flüssigkeit wie Tinte versehen, um den Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) auf der Oberfläche der festen Markierung **10, 10'** zu markieren.

[0073] Die Lage des Zeigers **80** kann im Computermonitor durch die Kamera **30** beobachtet werden. Der Benutzer kann den Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) auf der Oberfläche der festen Markierung **10, 10'**, während die Lage des Zeigers **80** eingestellt wird, dadurch markieren, dass er den Translationsrahmen **55** und den Messrahmen **57** Translations- und Drehbewegungen ausführen lässt, und der gesamte Prozess kann auf dem Computermonitor beobachtet werden.

[0074] Um den Drehmittelpunkt des Unterkiefers (C1, C2) direkt auf dem Gesicht des Patienten zu markieren, wird die feste Markierung **10, 10'** entfernt und der Zeiger **80** zum Gesicht des Patienten soweit hin bewegt, wie die feste Markierung **10, 10'** das Gesicht des Patienten berührt.

[0075] Erfindungsgemäß kann, wie oben gezeigt, die Erfindung die Schmerzen reduzieren, die sich aus der langen Messzeit älterer handbetätigter Vorrichtungen ergaben, und diese Erfindung verbessert auch den Grad der Reproduzierbarkeit.

[0076] Zudem kann die vorliegende Erfindung die Kosten zu Messung der Kieferbewegung reduzieren, da sie einen billigen Personalcomputer im Vergleich zu älteren automatisierten Messvorrichtungen einsetzt, die teure Einrichtungen wie einen Infrarotsensor verwenden.

[0077] Die vorliegende Erfindung kann zudem auf die Einschulssimulation mit CAD-Technologie angepasst werden, da diese Erfindung die Orbitalebene auf einfache Weise definieren kann. Außerdem kann die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Messen der Kieferbewegung bereitstellen, die direkt den Mittelpunkt der Kieferbewegung auf der Oberfläche des Gesichts des Patienten markieren kann und so für die herkömmliche Diagnose von Einschulss- und Zahnbehandlung unter Verwendung einer Einschulseinrichtung oder eines Füllmaterials anwendbar ist.

[0078] Die vorherige Ausführungsform ist nur beispielhaft und soll nicht als die vorliegende Erfindung beschränkend ausgelegt werden. Die vorliegende Lehre kann leicht auf andere Vorrichtungstypen angewendet werden. Die Beschreibung der vorliegenden Erfindung soll illustrativ sein und den Umfang der Ansprüche nicht beschränken. Viele Alternativen, Modifikationen und Variationen werden sich dem Fachmann ergeben.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen des Drehmittelpunkts

einer Kieferbewegung und deren Bahn, wobei die Vorrichtung folgendes aufweist:

ein Paar feste Markierungen, die an der linken Seite bzw. der rechten Seite des Gesichts eines Patienten angebracht sind;

ein Paar bewegliche Markierungen, die so angeordnet sind, dass sie den festen Markierungen in einem Abstand zugewandt sind, und die sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers des Patienten bewegen;

eine Kopplungseinrichtung zum Verbinden der beweglichen Markierung mit dem Unterkiefer des Patienten;

eine Mehrzahl Kameras zum Aufzeichnen der Bewegung der beweglichen Markierung relativ zur festen Markierung entsprechend der Bewegung des Unterkiefers; und

eine Steuereinrichtung zum Empfangen und Verarbeiten der Bildsignale, die von den angeschlossenen Kameras zugeführt werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der zwei Kameras an jeder Seite des Gesichts des Patienten positioniert sind, um die dreidimensionale Bewegung der beweglichen Markierung relativ zur festen Markierung zu messen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die feste Markierung die Form einer Platte aufweist und eine Grenzlinie mit einer spezifischen Farbe am Rand der festen Markierung zur einfachen Unterscheidung von der Umgebung vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der die feste Markierung eine Eckpunktextraktionsmarkierung aufweist, die auf der Grenzlinie zur Extraktion eines Eckpunktes ausgebildet ist, der benötigt wird, um das lokale Koordinatensystem für die feste Markierung einzurichten, und bei der die Eckpunktextraktionsmarkierung eine von der Grenzlinie verschiedene Farbe aufweist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der eine Mehrzahl Vierecke innerhalb der Grenzlinie in einem schachbrettartigen Muster angeordnet sind, welches auf der Oberfläche der festen Markierung ausgebildet ist, und bei der der Eckpunkt als der Punkt identifiziert ist, an dem sich die Ecken der Vierecke treffen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die bewegliche Markierung die Form einer Platte und eine kleinere Größe als die feste Markierung aufweist, und bei der die bewegliche Markierung einer Grenzlinie am Rand mit einer spezifischen Farbe zur leichten Unterscheidung von der Umgebung aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der eine Mehrzahl Vierecke in einem schachbrettartigen Muster auf der Oberfläche der beweglichen Markierung angeordnet sind und die bewegliche Markierung die

Form einer viereckigen Platte aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der die bewegliche Markierung eine Eckpunktextraktionsmarkierung mit einer anderen Farbe zur Extraktion eines Eckpunktes aufweist, der benötigt wird, um das lokale Koordinatensystem für die bewegliche Markierung einzurichten, und bei der die Eckpunktextraktionsmarkierung als diejenigen Viereckpaare identifiziert ist, die sich an den vier Ecken der beweglichen Markierung befinden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Kopplungseinrichtung folgendes umfasst: eine Querleiste; eine Haltevorrichtung, deren eines Ende am Unterkiefer des Patienten verankert und deren anderes Ende drehbar mit dem Mittelpunkt der Querleiste verbunden ist; ein Paar Translationrahmen, die mit beiden Enden der Querleiste in einer Weise verbunden sind, dass der Translationsrahmen eine Translations- und Rotationsbewegung ausführen kann; und einen Messrahmen, dessen eines Ende mit dem Translationsrahmen so verbunden ist, dass der Messrahmen eine gerade Bewegung in senkrechter Richtung zur Querleiste ausführen kann, und dessen anderes Ende mit der beweglichen Markierung verbunden ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei der die bewegliche Markierung entfernbar mit dem anderen Ende des Messrahmens verbunden ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, bei der statt der beweglichen Markierung alternativ ein Zeiger mit dem anderen Ende des Messrahmens verbunden ist, so dass er den Drehmittelpunkt des Unterkiefers des Patienten auf der Oberfläche der festen Markierung oder dem Gesicht des Patienten darstellt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend einen Zeiger, der den Drehmittelpunkt des Unterkiefers des Patienten auf der Oberfläche der festen Markierung oder dem Gesicht des Patienten darstellt, wobei der Zeiger alternativ an der Kopplungseinrichtung statt an der beweglichen Markierung angebracht werden kann.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Steuereinrichtung ein Personalcomputer ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend eine Orbitalebene-markierung, die an einem spezifischen Ort um das Auge des Patienten herum angebracht ist, um eine Bahn zu messen, wobei die Bahn zur Definition der Orbitalebene verwendet wird.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei der die Orbitalebene-markierung die Form einer dünnen Platte

hat und eine Grenzlinie mit einer spezifischen Farbe am Rand der Orbitalebene-markierung zur einfachen Unterscheidung von der Umgebung vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei der vier Vierecke in einem schachbrettartigen Muster innerhalb der Grenzlinie der Orbitalebene-markierung angeordnet sind und der Eckpunkt der Orbitalebene-markierung als derjenige Punkt identifiziert wird, an dem sich die Ecken der vier Vierecke treffen.

17. Verfahren zum Messen der Kieferbewegung, das folgende Schritte umfasst: Sammeln der Bilddaten durch Aufzeichnen einer festen Markierung, die am Gesicht eines Patienten angebracht ist, und einer beweglichen Markierung, die sich einheitlich mit der Bewegung des Unterkiefers bewegt, mit einer Kamera; Berechnen der Koordinatenwerte für jeden Eckpunkt der festen Markierung und der beweglichen Markierung entsprechend der Bewegung des Unterkiefers mit räumlicher Bildverarbeitung der gesammelten Daten; Berechnen einer Koordinatentransformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem der festen Markierung und dem lokalen Koordinatensystem der beweglichen Markierung; Berechnen der Lage der Schwenkachse durch Verwenden der Koordinatenwerte der entsprechenden Eckpunkte vor und nach der Bewegung der beweglichen Markierung; und Definieren des linken und rechten Drehmittelpunktes der Kieferbewegung durch Identifizieren des Schnittpunktes zwischen der Schwenkachse und der festen Markierung.

18. Verfahren nach Anspruch 17, das weiter folgende Schritte umfasst: Sammeln der Bilddaten durch Aufzeichnen der Orbitalebene-markierung, die um das Auge des Patienten herum angebracht ist, mit der Kamera, und Berechnen des Koordinatenwertes eines Orbitales; und erneutes Definieren des Drehmittelpunktes mit Bezug auf das absolute Koordinatensystem, wobei eine Orbitalebene als eine Ebene definiert wird, die die drei Punkte der erneut definierten linken und rechten Drehmittelpunkte und des Orbitales enthält.

19. Verfahren nach Anspruch 18, das im Falle, in dem der Unterkiefer sowohl eine Dreh- als auch eine Translationsbewegung ausführt, weiter folgende Schritte umfasst: Identifizieren des Drehmittelpunktes als festen Punkt auf der beweglichen Markierung; Berechnen der Transformationsmatrix zwischen dem lokalen Koordinatensystem der festen Markierung und dem lokalen Koordinatensystem der beweglichen Markierung zu jedem Zeitpunkt der Bewegung

des Unterkiefers;

Transformieren des Koordinatenwerts des Drehmittelpunktes, der in dem lokalen Koordinatensystem für die bewegliche Markierung definiert ist, in den Koordinatenwert bezüglich des lokalen Koordinatensystems für die feste Markierung; und Verfolgen der Bahn des Drehmittelpunktes bezüglich der Orbitalebene.

20. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt des Berechnens der Lage der Schwenkachse folgende Schritte umfasst:

Transformieren der dreidimensionalen Koordinatenwerte der Eckpunkte vor und nach der Bewegung der beweglichen Markierung in Koordinatenwerte bezüglich des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung;

Berechnen eines Ortsvektors und eines Richtungsvektors der Schwenkachse aus den transformierten Koordinatenwerten; und

Ermitteln der linearen Gleichung der Schwenkachse bezüglich des lokalen Koordinatensystems der festen Markierung.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Fig.1

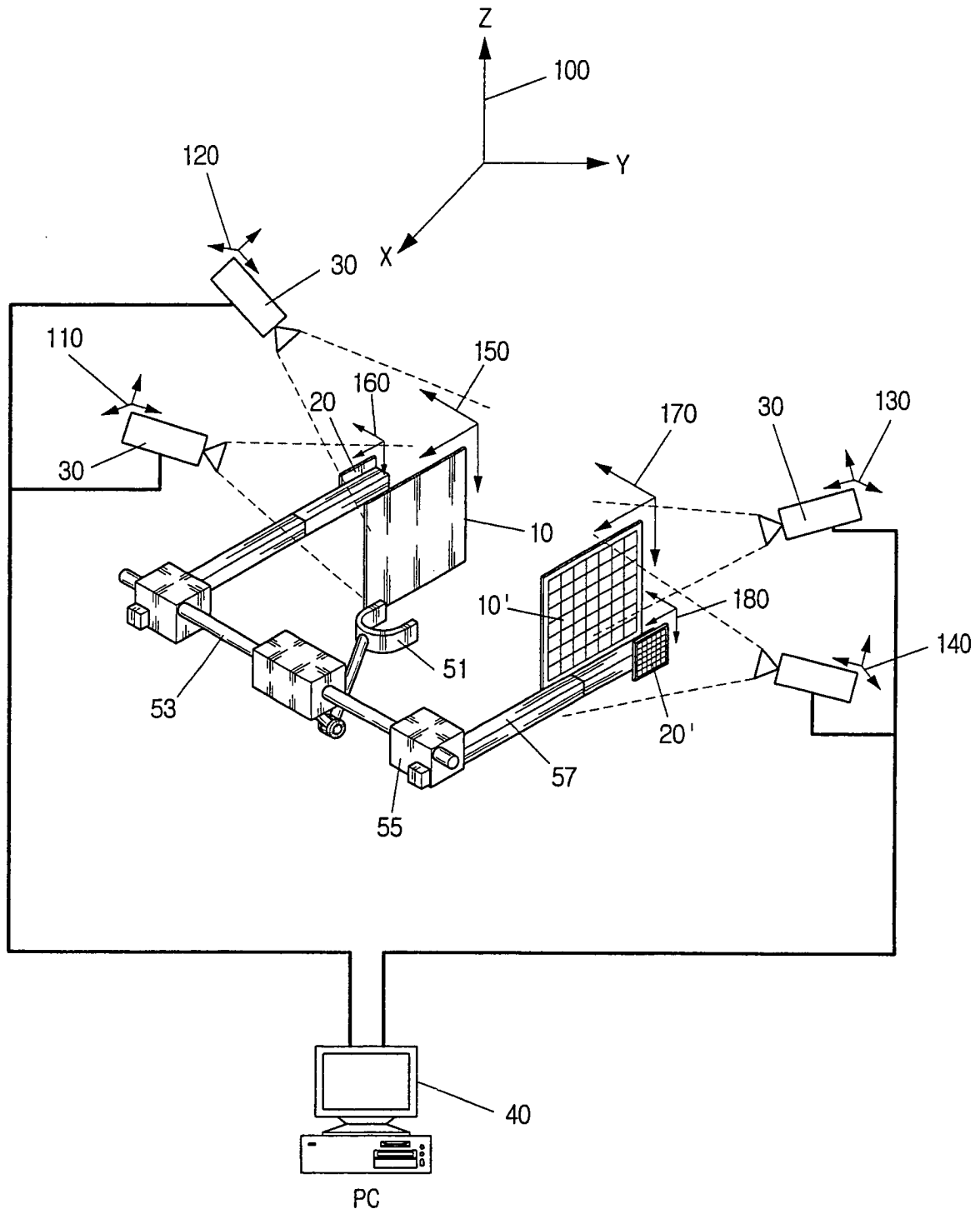


Fig.2

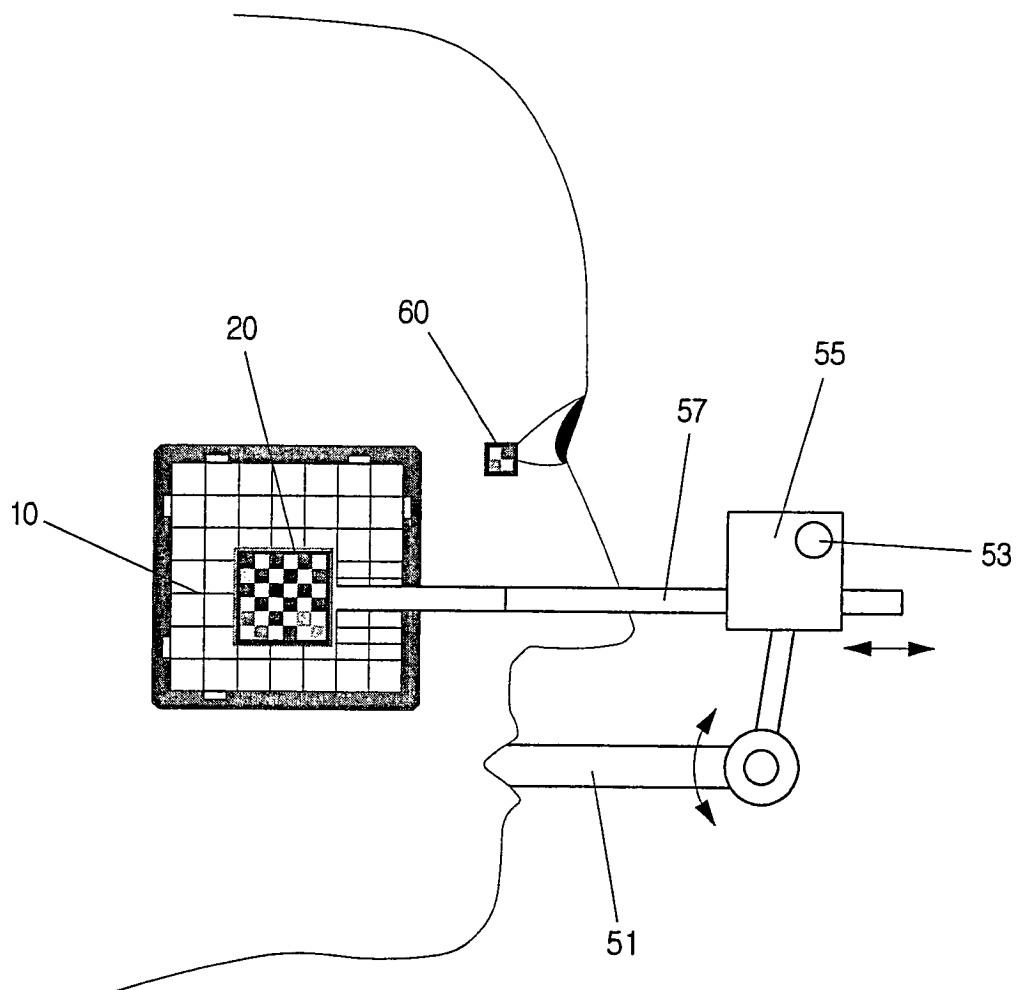


Fig.3

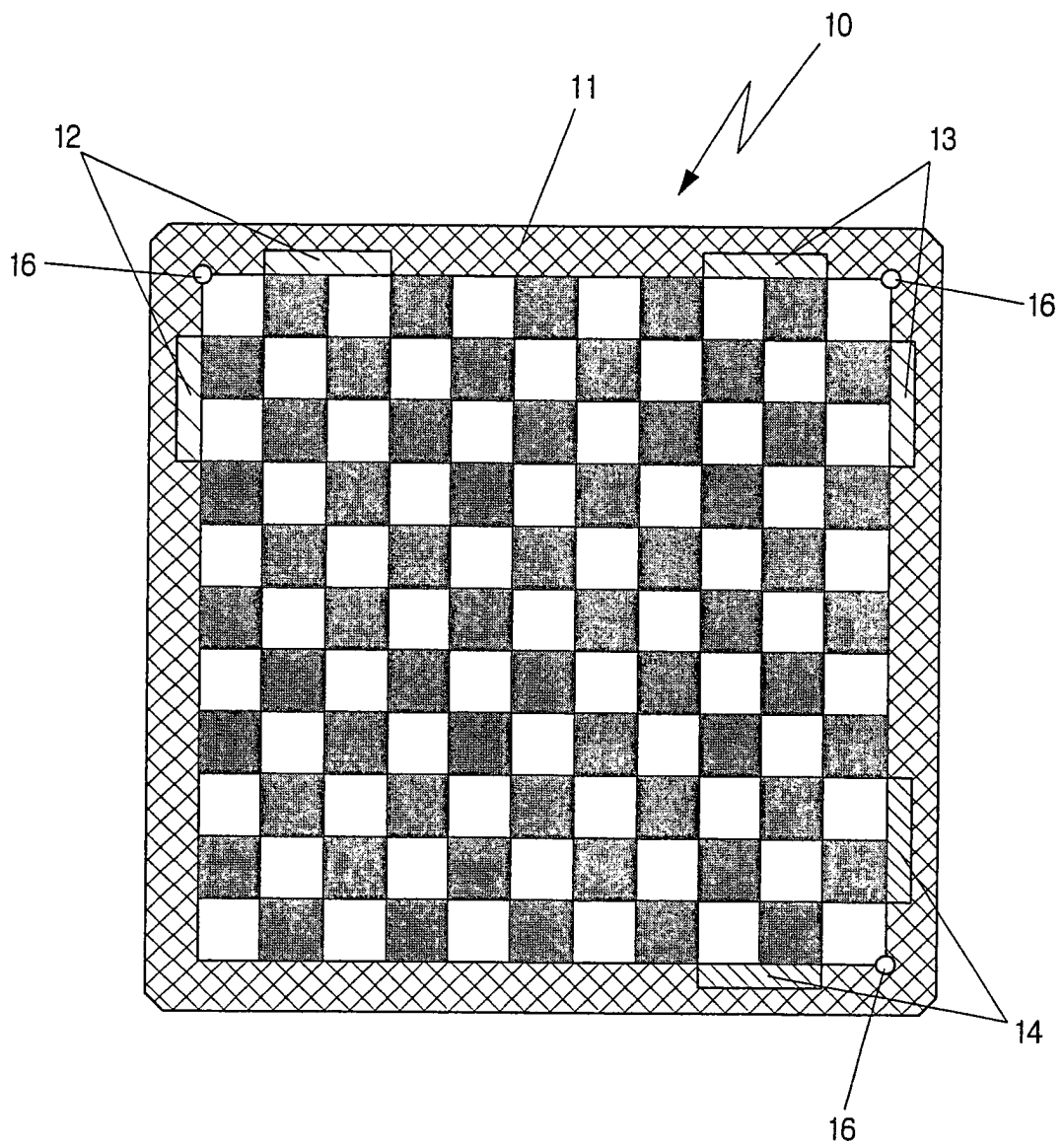


Fig.4

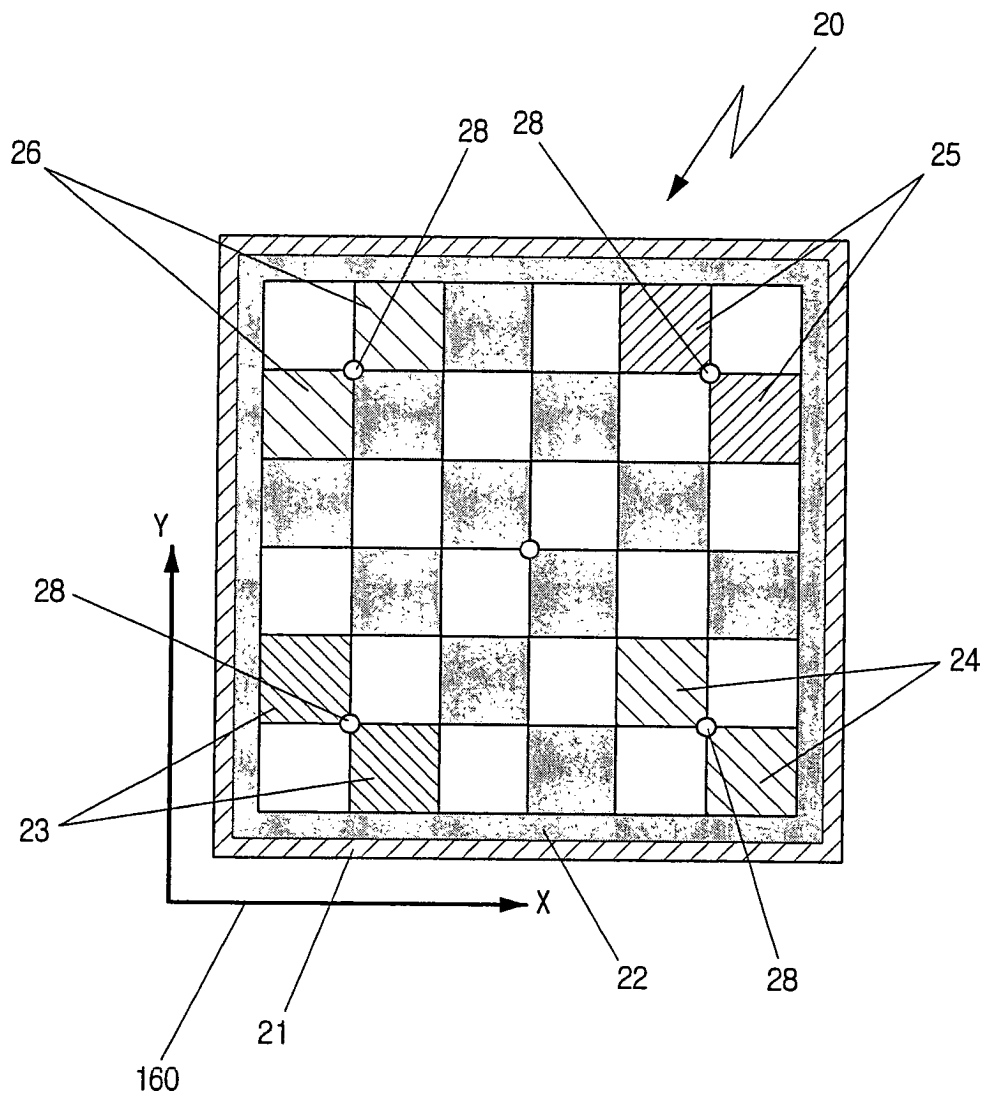


Fig.5

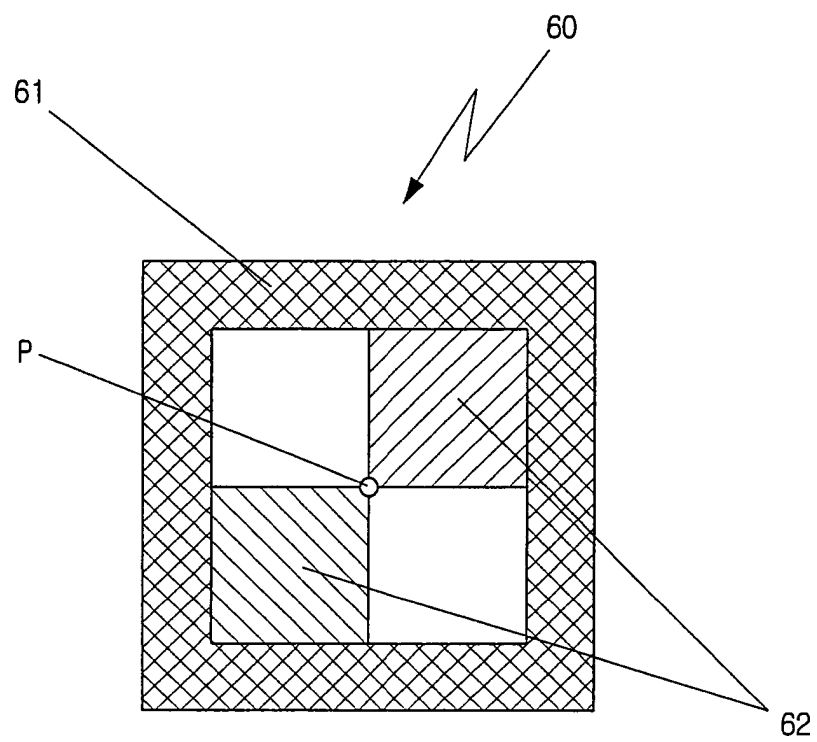


Fig.6

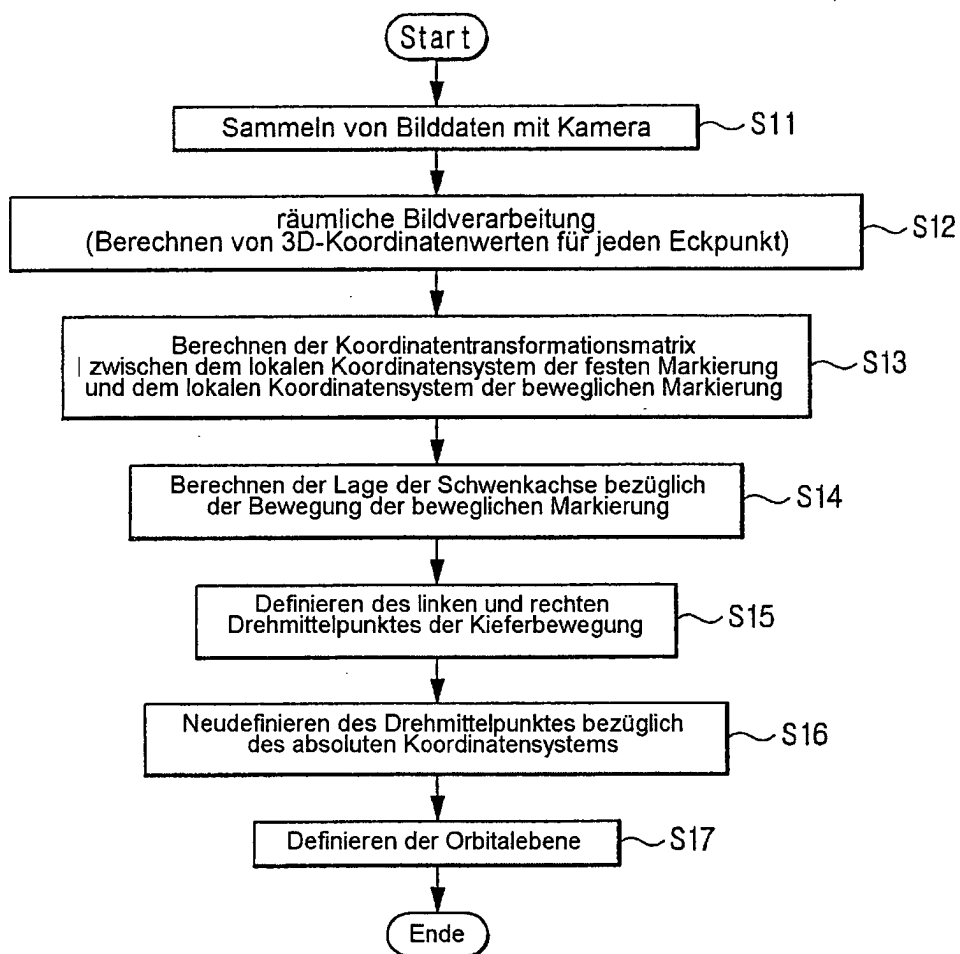


Fig.7

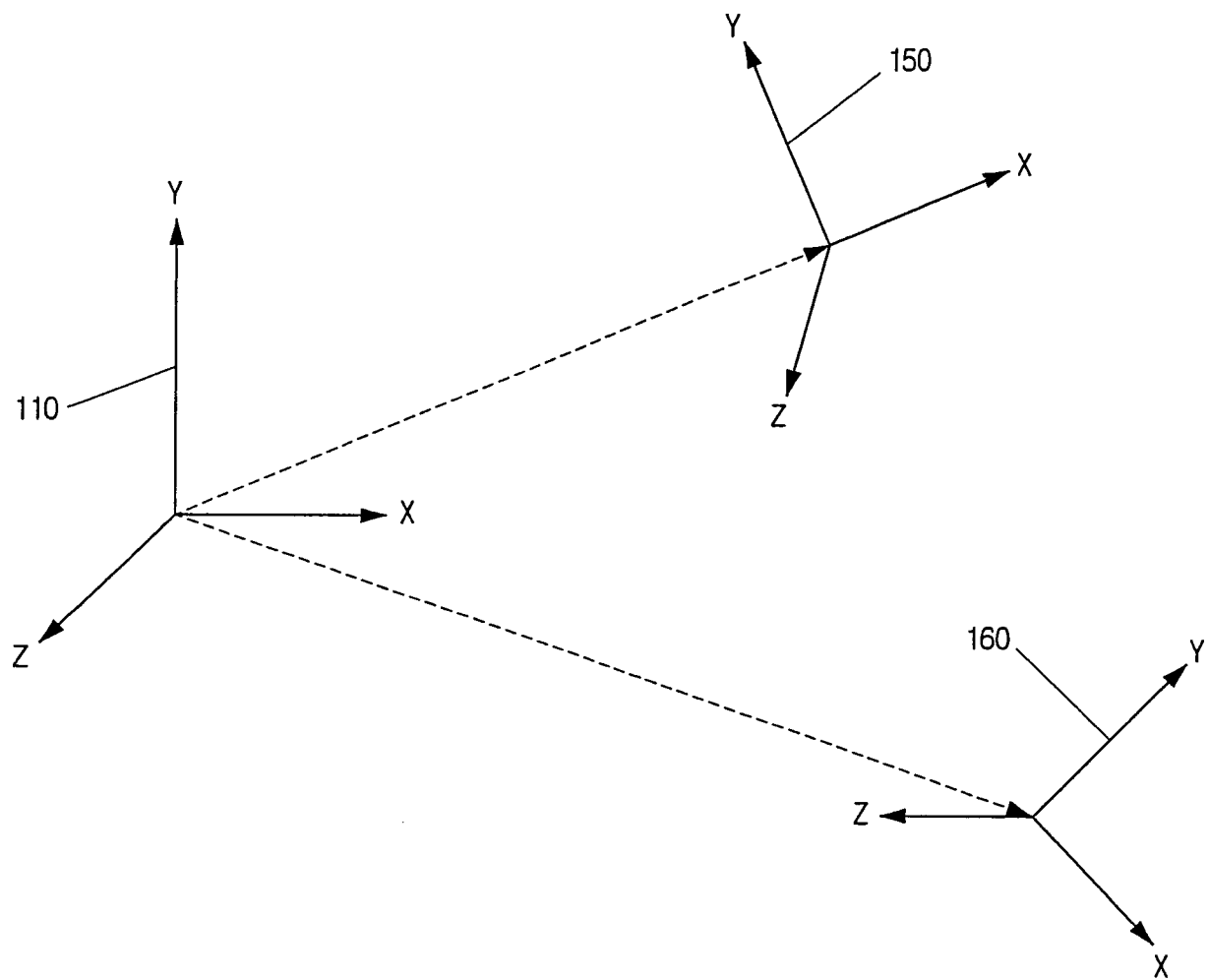


Fig.8

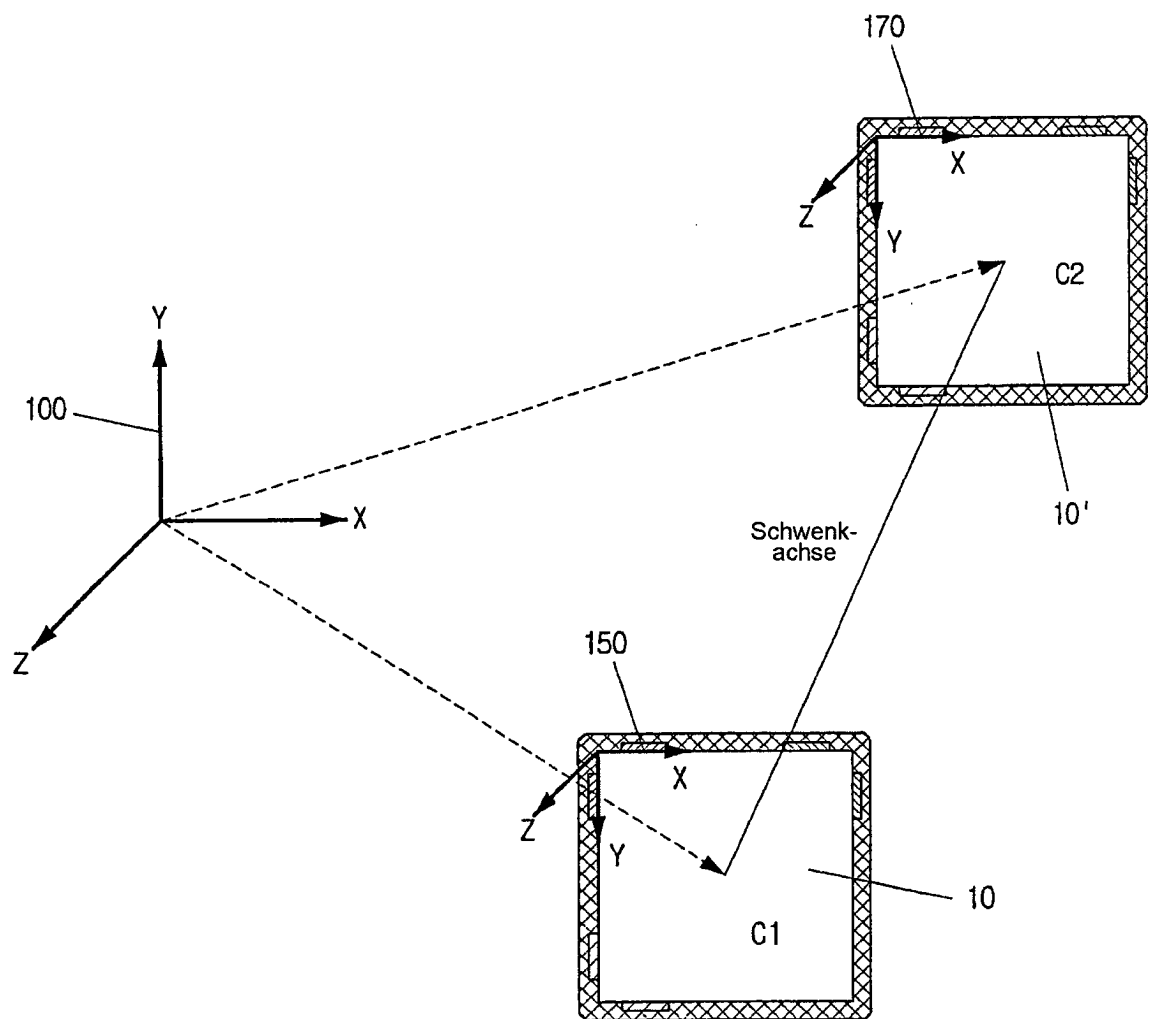


Fig.9

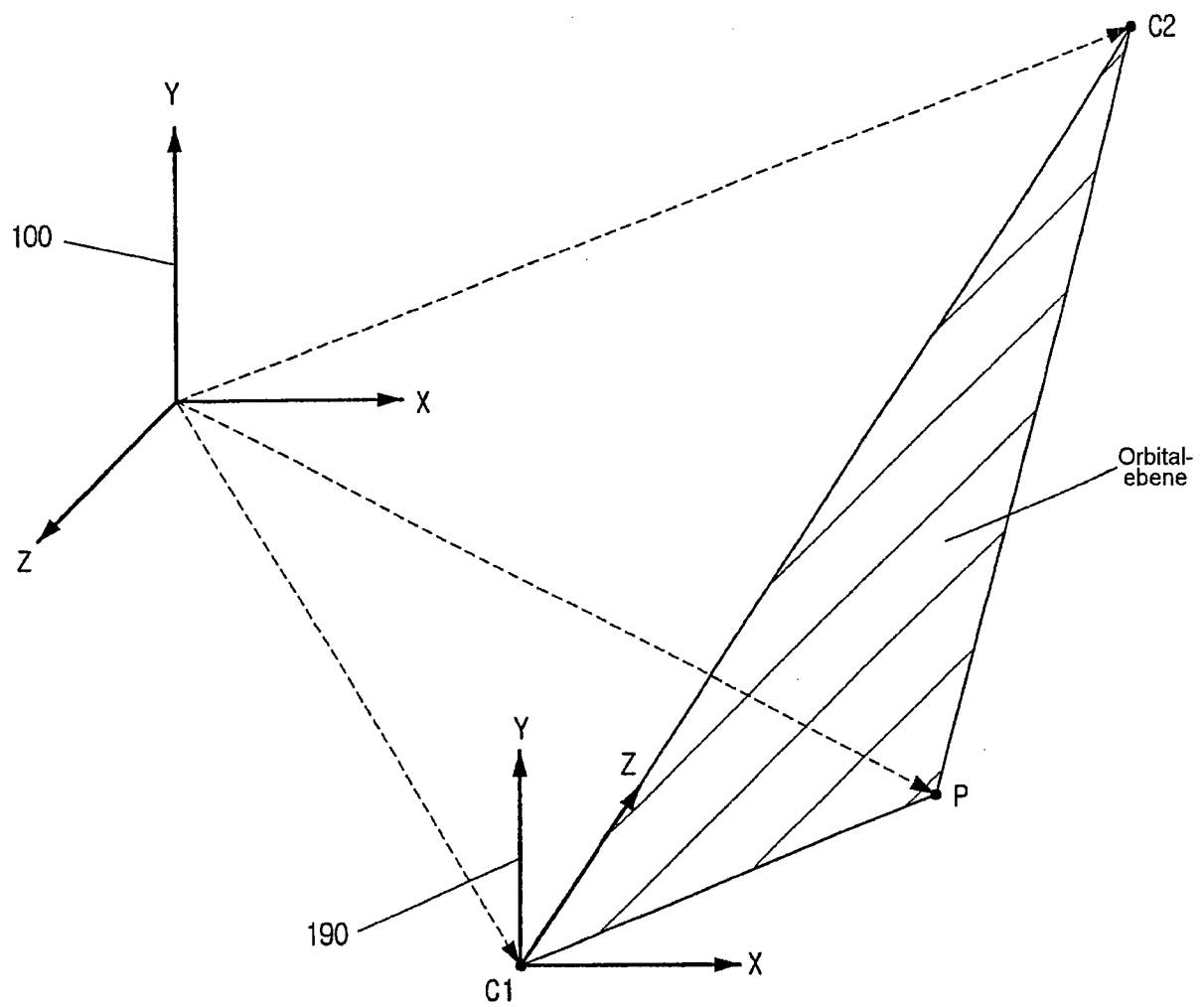


Fig.10

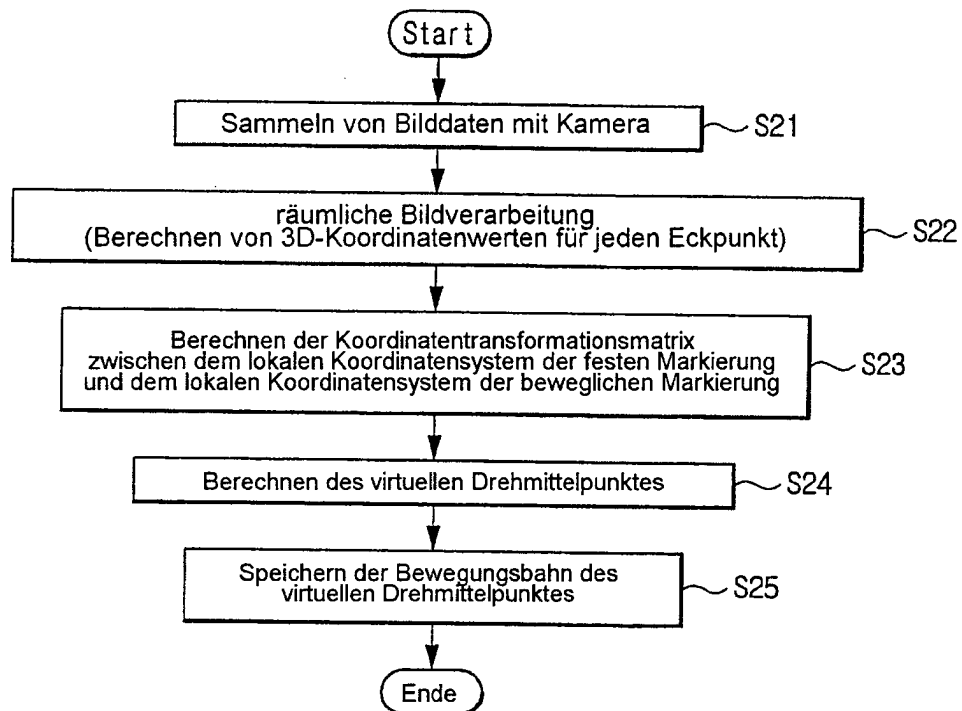


Fig.11A

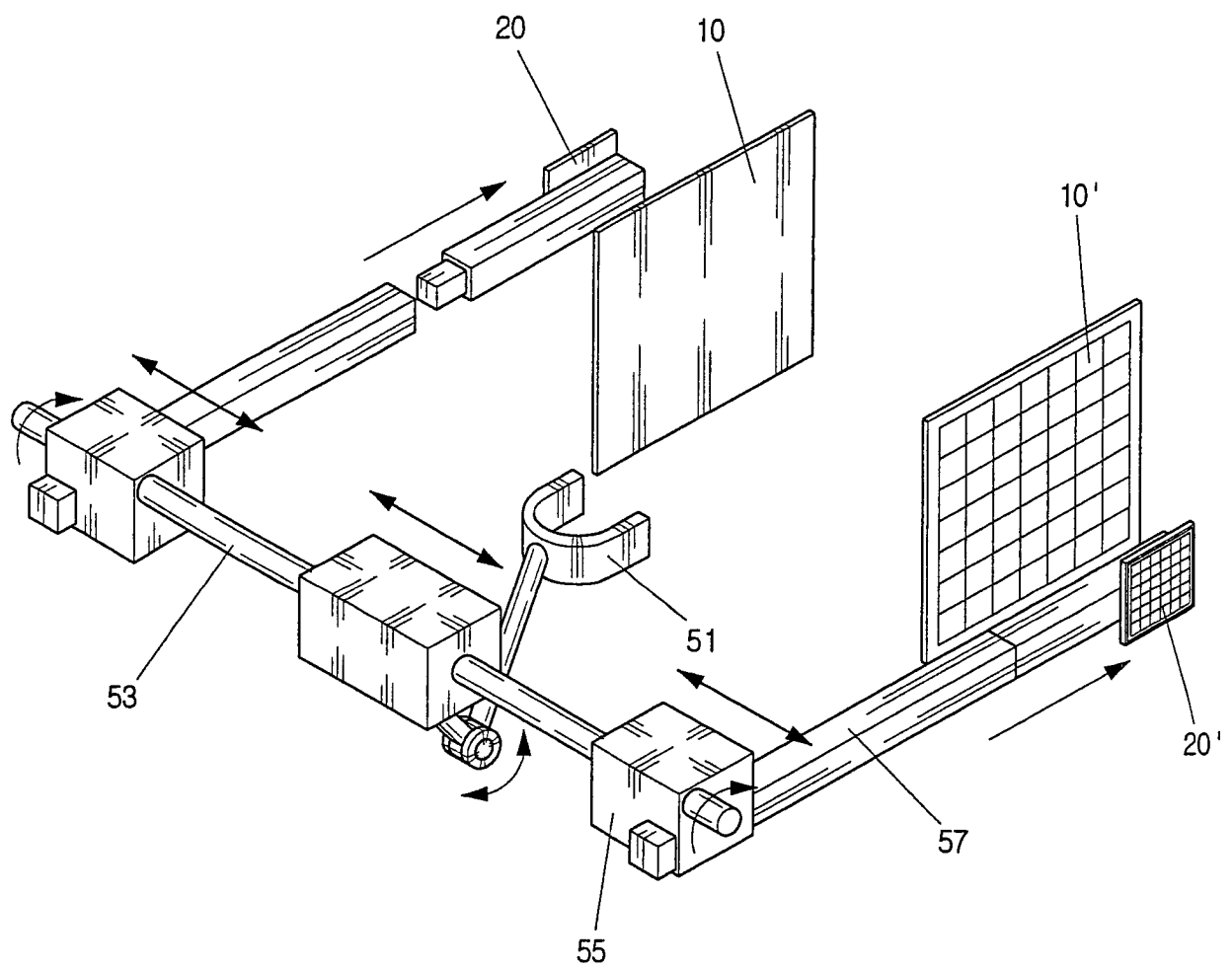


Fig.11B

