



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 050 379 A1** 2008.05.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 050 379.1**

(22) Anmeldetag: **25.10.2006**

(43) Offenlegungstag: **08.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 27/22** (2006.01)

G03B 35/08 (2006.01)

H04N 13/02 (2006.01)

H04N 1/04 (2006.01)

G07C 11/00 (2006.01)

G06T 1/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Link, Norbert, Prof. Dr., 76187 Karlsruhe, DE

(74) Vertreter:

**Geitz Truckenmüller Lucht, Patentanwälte, 76135
Karlsruhe**

(72) Erfinder:

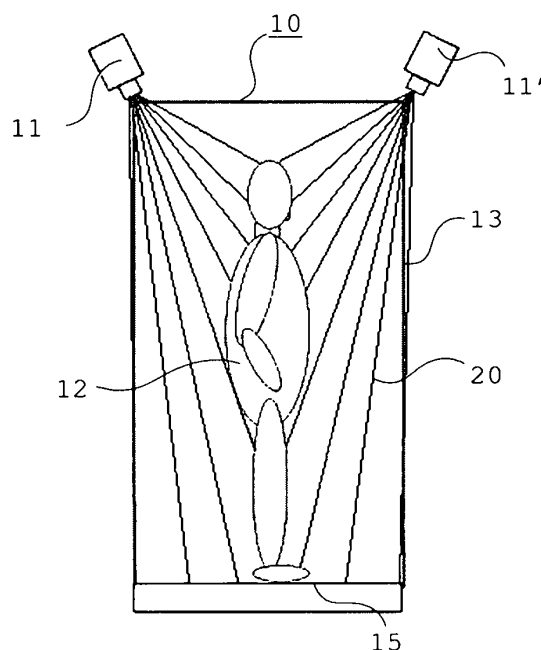
**Link, Norbert, Prof. Dr., 76187 Karlsruhe, DE;
Wetzel, Claus, 76131 Karlsruhe, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens sowie Kalibrierverfahren**

(57) Zusammenfassung: Es ist üblich, zur Gewährleistung der Personenvereinzelnung in einer Personenschleuse mittels eines Kameraaars ein dreidimensionales Bild zu erstellen und hierüber zu prüfen, dass nicht mehr als eine Person gleichzeitig durch die Personenschleuse hindurch tritt. Es ist Aufgabe der Erfindung, bekannte Systeme zu verbessern und zu beschleunigen.

Hierzu dient erfindungsgemäß eine Mehrzahl von Kamera-paaren, welche gleichzeitig ein zu überwachendes Raum-volumen aus mehreren Raumrichtungen überwacht. Hierzu wird von jedem Kamera-paar der Raum überwacht, ein Höhenprofil bestimmt und abgeschattete Punkte in diesem Höhenprofil durch Daten anderer Kamera-paare ergänzt. Überwachung eines Raumvolumens, etwa einer Durch-gangsschleuse.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens umfassend eine Mehrzahl von Kameras, wobei die Kameras bezüglich des zu überwachenden Raumvolumens derart paarweise angeordnet sind, dass durch die Überlagerung der Kamerabilder jeweils eines Kamerapaars ein dreidimensionales Raumbild erstellbar ist.

[0002] Ein entsprechendes Verfahren ist bereits aus der US 2005/0249382 A1 vorbekannt. Das genannte amerikanische Schutzrecht betrifft eine Durchgangsschleuse, welche eine Außen- und eine Innentür umfasst. Im Bereich beider Türen ist jeweils innerhalb der Durchgangsschleuse ein zu überwachender Bereich vorgesehen, wobei jeder dieser Bereiche von einem Kamerapaar überwacht wird. Jedes der genannten Kamerapaare hat den von ihm zu überwachenden Bereich im Sichtfeld und ist dazu ertüchtigt, von dem zu überwachenden Bereich ein dreidimensionales Modell zu berechnen. Zur Überwachung des Durchgangs durch die Durchgangsschleuse wird zunächst geprüft, ob eine Person sich im zu überwachenden Bereich vor der Außentür befindet. Sobald dies der Fall ist, wird gleichzeitig geprüft, ob wiederum eine Person sich im zu überwachenden Bereich vor der Innentür aufhält. Demgemäß wird bei einem Einlassbetrieb die Außentür nur dann zur Öffnung freigegeben, wenn sich keine Personen in dem zu überwachenden Bereichen aufhalten, die Innentür, welche zu dem zu sichernden Bereich führt, wird nur dann zur Öffnung freigegeben, wenn sich genau eine Person in dem zu überwachenden Bereich aufhält.

[0003] Mithilfe der Kamerapaare werden jeweils zwei zweidimensionale Bilder der zu überwachenden Bereiche angefertigt, mittels derer die sich in dem Bereich aufhaltenden Elemente durch Bestimmung dreidimensionaler Raumpunkte ermitteln lassen. Durch einen Vergleich der auf diese Weise bestimmten dreidimensionalen Elemente mit vorab eingespeicherten Modellen wird im folgenden bestimmt, ob sich eine Person in dem zu überwachenden Bereich befindet.

[0004] Das vorbeschriebene Verfahren basiert im wesentlichen darauf, dass zwei getrennte Bereiche mithilfe von dreidimensionalen Bilderfassungssystemen überwacht werden und die Türen der so realisierten Durchgangsschleuse anhand der entsprechenden Informationen gesteuert werden können. Der wesentliche Sinn des Verfahrens besteht vornehmlich darin, zu vermeiden, dass die gesicherte Seite der Durchgangsschleuse nach einer Freigabe derselben für eine Person schließlich gleichzeitig von mehreren Personen betreten wird. Eine mit einer ersten Person "Huckepack" eintretende zweite Person soll aufgrund des erstellten dreidimensionalen Bildes

eines jeden Bereichs vorab erkannt werden. Hierzu ist eine Anordnung der jeweiligen Kamerapaare im Bereich oberhalb der Türen der Durchgangsschleuse vorgesehen, so dass eine etwa hinter einer ersten Person stehende zweite Person gleichzeitig von dem Kamerapaar erfasst werden kann.

[0005] Trotz dieser vorteilhaften Anordnung existieren jedoch im Schattenbereich der ersten Person nach wie vor Raumpunkte, die von dem jeweiligen Kamerapaar nicht eingesehen werden können. In diesem Bereich können sich jedoch ebenfalls Elemente aufhalten, welche vorteilhafter Weise von der Überwachung erfasst werden sollten.

[0006] Zudem stellt die Berechnung von dreidimensionalen Modellen aus der Überlagerung mehrerer zweidimensionaler Bilder eines Kamerapaars eine sehr große Anforderung an die hierfür vorzusehende Rechenhardware dar, welche im Bezug auf die Herstellung einer derart realisierten Durchgangsschleuse einen wesentlichen Kostenpunkt darstellt.

[0007] Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens zu schaffen sowie ein Verfahren zur Kalibrierung der eingesetzten Kamerapaare zu lehren, mithilfe derer eine Überwachung eines Raumvolumens weiter verbessert und trotz dieser verbesserten Ergebnisse technisch vereinfacht werden kann.

[0008] Dies gelingt mittels einer Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens gemäß den Merkmalen des Hauptanspruchs sowie ein Verfahren zur Überwachung eines Raumvolumens gemäß den Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs 17 und ein Verfahren zur Kalibrierung von Kamerapaaren gemäß den Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs 10. Weitere Ausgestaltungen der Vorrichtung und der Verfahren können den jeweiligen Unteransprüchen entnommen werden.

[0009] Erfindungsgemäß sind oberhalb eines zu überwachenden Raumvolumens wenigstens zwei Kamerapaare angeordnet, deren Sichtbereich den zu überwachenden Raumbereich zumindest weitgehend abdeckt. Es ist dabei möglich, die wenigstens zwei Kamerapaare einander gegenüberliegend anzuordnen, so dass der zu überwachende Raumbereich auch nach einem Einbringen eines Gegenstandes beziehungsweise nach dem Eintreten einer Person und den damit verbundenen Sichtschattenwurf noch möglichst weitgehend eingesehen werden kann. Demgemäß ist auch eine Anordnung etwa von drei oder vier Kamerapaaren zur Überwachung eines Raumbereichs möglich, wobei insbesondere eine gleichmäßige Verteilung dieser Kamerapaare durchaus sinnvoll erscheint. Jede der Kameras liefert ein einzelnes Kamerabild, wobei die Bilder jeweils eines

Kameraapaars zu einem Stereobild derart kombinierbar sind, dass ein dreidimensionales Raumbild entsteht. Anhand jedes dieser dreidimensionalen Raumbilder kann ein Höhenprofil des zu überwachenden Raumbereichs erstellt werden, wobei durch Schattenwurf auf einem Bild nicht erkennbare Punkte durch solche Punkte ergänzt werden können, die im Sichtbereich anderer Kameraapaare gelegen sind. Aufgrund dieser Überlagerung verschiedener Raumbilder entsteht ein weitgehend vollständiges Höhenprofil des zu überwachenden Bereichs, mit welchem sodann Modelle aus einer Modellbibliothek verglichen werden. Nachdem ein Modell in das erstellte Höhenprofil eingepasst werden konnte, wird im folgenden versucht, in etwa verbleibende Bereiche des Profils weitere Modelle einzupassen. Erst wenn das Höhenprofil insoweit weitestgehend vollständig gefüllt ist, ist die Erkennung abgeschlossen. Anhand der verwendeten Modelle kann nunmehr darauf zurückgeschlossen werden, wie viele Personen und/oder Gegenstände in dem zu überwachenden Bereich vorhanden sind.

[0010] Die Kameraapaare sind mit Vorteil oberhalb des zu überwachenden Raumvolumens oder zumindest in dessen oberem Bereich angeordnet, so dass im zu überwachenden Raumbereich vorhandene Objekte einen möglichst großen Abstand von den Kameraapaaren einnehmen. Zudem ist von einer erhöhten Position herab ein besser geeigneter Betrachtungswinkel einnehmbar, in dem der zu überwachende Raumbereich weitgehend enthalten ist.

[0011] Das zu überwachende Raumvolumen kann zumindest einseitig räumlich begrenzt sein, etwa durch eine Absperrung oder durch eine Wand, so dass auf diese Weise die Positionierung der im zu überwachenden Raumbereich vorhandenen Objekte vereinfacht ist. Wäre die Positionierung der genannten Objekte völlig frei wählbar, so müsste ein wesentlich größerer Bereich überwacht werden. Auch durch entsprechende Markierungen, etwa durch Anzeichnungen auf dem Boden, wäre ein zu überwachender Bereich ohne weiteres abgrenzbar.

[0012] Solcherlei Begrenzungen fallen mit besonderem Vorteil zumindest weitgehend mit den Grenzen des Sichtbereichs der Kameras zumindest jeweils einseitig zusammen. Umgekehrt bedeutet dies, dass die Sichtbereiche der Kameras wenigstens einseitig an den Begrenzungen des zu überwachenden Raums enden. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Kameras möglichst wenig redundante Information, wie etwa Informationen über die Wandung des Raumbereichs oder außerhalb des zu überwachenden Bereichs liegende Objekte zu verarbeiten hat. Ebenfalls ist es von Vorteil, wenn wenigstens einseitig eine dem Kameraapaar gegenüberliegende Raumbegrenzung oberhalb einer vorgebbaren Kopfhöhe von der Sichtgrenze geschnitten wird. Hierdurch soll

bewirkt werden, dass selbst große Personen, welche in den zu überwachenden Raumbereich eintreten, noch vollständig von den Kameras erfasst werden, selbst wenn sie im ungünstigsten Falle direkt an einer der Außenbegrenzungen des Bereichs stehen.

[0013] In vorteilhafter Weiterbildung dieser Vorrichtung werden die Sichtstrahlen der einzelnen Kameras mithilfe jeweils zumindest einer Spiegelanordnung derart umgeleitet, dass die Kameraapaare trotz einer indirekten Ausrichtung das zuvor beschriebene Sichtfeld haben. Dementsprechend ist es durch eine solche Spiegelanordnung ermöglicht, die Kameras zumindest annähernd waagrecht oberhalb des zu überwachenden Raumvolumens anzuordnen, so dass eine besonders flache Bauform erreicht wird. Die Längsachse der Kameras verläuft dadurch weitgehend waagrecht, während sie bei einer direkten Ausrichtung auf das Objekt weitgehend senkrecht angebracht werden müsste.

[0014] Der vorbeschriebenen Vorrichtung ist mit Vorteil eine Rechenhardware und/oder eine Rechensoftware zugeordnet, mithilfe derer eine Digitalisierung der Kameradaten vorgenommen werden kann. Aufgrund dieser digitalisierten Daten können nachfolgend die dreidimensionalen Raumbilder berechnet werden, auf deren Basis die Bestimmung eines Höhenprofils durchgeführt werden kann.

[0015] Mit Vorteil ist die vorbeschriebene Anordnung einer Personenschleuse derart zugeordnet, dass innerhalb des Schleusenbereichs befindliche Personen und/oder Gegenstände mithilfe der Kameradaten erfassbar und erkennbar sind.

[0016] Durch den Vergleich des erstellten Höhenprofils mit Modellen aus einer Modellbibliothek kann entschieden werden, ob zu einem Zeitpunkt lediglich eine oder doch mehrere Personen durch die Personenschleuse hindurchtreten, so dass eine etwa erforderliche Personenvereinzelung durch die erfindungsgemäße Vorrichtung unterstützt werden kann.

[0017] Zur Kalibrierung der jeweiligen Kameraapaare, welche zur Überwachung des Raumvolumens eingesetzt werden, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, zunächst eine Laborkalibrierung der inneren Abbildungsparameter vorzunehmen. Das Verfahren benötigt als innere Abbildungsparameter lediglich die Kammerkonstante und die radiale Linsenverzeichnung. Dieser Laborkalibrierung werden zunächst die einzelnen Kameras zugeführt, welche nach der Kalibrierung paarweise zu Kameraapaaren zusammengefasst werden. Vor Ort, das heißt also nach einem Anbringen der Kameraapaare an einem zu überwachenden Raumbereich, wird zur Kalibrierung der äußeren Orientierung des Kameraapaars zunächst für jede der Kameras eine Homographie bestimmt, welche eine Abbildung der von der Kamera aufgenommenen Bild-

punkte auf eine Referenzebene darstellt. Die Referenzebene wird im zu überwachenden Raum in geeigneter Weise ausgewählt. Dieser Schritt wird für eine zweite, zur ersten vorzugsweise parallelen, Referenzebene entsprechend durchgeführt. Als letzter Kalibrierungsschritt wird für jedes Kamerapaar eine Epipolargeometrie erstellt, mit deren Hilfe jedem von den Kameras erfassten Raumpunkt ein Höhenwert zugeordnet werden kann.

[0018] Im Rahmen dieser Kalibrierung wird die zu kalibrierende Kamera bezüglich eines Kalibrierkörpers, vorzugsweise eines Quadratgitters, so aufgestellt, dass dieses Quadratgitter flächig vor der jeweiligen Kamera angeordnet ist. Mithilfe des Kalibrierkörpers wird eine positive oder eine negative Verzerrung festgestellt, wobei das Zentrum der radialen Verzerrung beziehungsweise der Verzerrung anhand des Lenz'schen Modells bestimmt wird. Zur Bestimmung der Kammerkonstante wird das Quadratgitter in definiertem Abstand vor der Kamera, welche bezüglich der radialen Verzerrung bereits korrigiert ist, aufgestellt. Gemäß dem Strahlensatz berechnet sich dann die Kammerkonstante c wie folgt:

$$r\delta/R = -c/D$$

wobei R der Abstand eines Gitterpunktes von der Gittermitte, r der Abstand des korrespondierenden Kamerabildpunktes von der Kamerabildmitte, δ der physikalische Abstand zweier Kamerabildpunkte und D der Abstand des optischen Zentrums der Kamera zum Kalibrierkörper ist.

[0019] In einem nächsten Schritt werden die Kamerapaare vor Ort angeordnet und wiederum vorkalibriert. Diese erste vor-Ort-Kalibrierung erfordert zunächst die Einführung einer Referenzebene, sowie einer vorzugsweise zur Referenzebene parallel liegende Hilfsebene. Die Referenzebene wird vorzugsweise durch eine Anordnung zueinander rechtwinklig situierter Markierungen bestimmt, deren Positionen im Raum vorbekannt sind. Durch einen Vergleich der Kamerabilder mit der realen Anordnung auf der Referenzebene wird eine Abbildungsvorschrift zur Abbildung der Referenzebene auf den jeweiligen Kameras, eine so genannte Homographie, bestimmt. Eine solche Homographie wird für beide Kameras eines jeden Kamerapaars ermittelt. Die so erhaltenen Parameterwerte der Homographien werden für die Verwendung im Auswertezyklus der jeweils aktuellen Kamerabilder abgespeichert.

[0020] Schließlich wird für jedes Kamerapaar zusätzlich eine Epipolargeometrie festgelegt, welche durch Warpen des jeweiligen Kamerabildes auf die Referenzebene ermöglicht wird. Wird ein beliebiger Raumpunkt betrachtet, so liegen bezüglich dieses Raumpunktes die Bildpunkte der jeweiligen Kameras auf einer Linie der Referenzebene. Diese Linien wer-

den Epipolarlinien genannt, mithilfe der normierten Kreuzkorrelationsfunktionen als Ähnlichkeitsmaß werden längs der Epipolarlinien die Koordinaten der homologen Punkte beider Bilder bestimmt.

[0021] Mit Vorteil wird als Referenzebene die Bodenfläche des zu überwachenden Raumvolumens definiert.

[0022] Ein kalibriertes Kamerapaar nimmt an dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Überwachung eines Raumvolumens teil. Im Bereich eines zu überwachenden Raumvolumens wird dazu eine Mehrzahl solcher Kamerapaare derart angeordnet, dass das zu überwachende Raumvolumen von den verschiedenen Kameras aus unterschiedlichen Raumrichtungen betrachtet wird. Die dreidimensionalen Raumbilder jedes Kamerapaars werden gemeinsam so ausgewertet, dass aufgrund von Schattenwürfen nicht darstellbare Raumpunkte jeweils mithilfe von Raumbildern anderer Kamerapaare ergänzt werden.

[0023] Zur Handhabung der jeweiligen Videodaten werden die von den einzelnen Kameras stammenden Videodatenströme digitalisiert und entsprechender Rechenhardware und/oder Rechensoftware zugeführt.

[0024] Die Kamerabilder der einzelnen Kameras werden aufgrund von Kalibrierdaten korrigiert, erst die solchermaßen korrigierten Kamerabilder werden der weiteren Berechnung zu Grunde gelegt. Die weitere Berechnung sieht dabei vor, ein dreidimensionales Raumbild des Sichtbereichs der jeweiligen Kamerapaare zu erstellen, wonach für jeden Raumpunkt ein Höhenwert berechnet und auf diese Weise ein Höhenprofil des überwachten Raumes bestimmt wird.

[0025] Das Höhenprofil ist mit Vorteil auf die Referenzebene zu beziehen, wobei die einzelnen Raumpunkte mithilfe von Homographien und Geradenschnitten im Raum errechnet werden. Zur schnelleren Berechnung des genannten Höhenprofils wird durch die homographische Abbildung der beiden Bilder eines Kamerapaars auf die Referenzebene die Epipolargeometrie zwischen den beiden Bildern hergestellt, wodurch homologe, also zum gleichen Raumpunkt gehörige, Bildpunkte auf der gleichen Epipolarlinie der Kamerabilder liegen. Der Höhenwert wird dann bestimmt durch den Schnittpunkt zweier Geraden desselben Raumpunktes, welche sich aus den Durchstoßpunkten der Sichtstrahlen durch die Hilfsebene ergeben. Mithilfe jeweils einer zweiten Homographie, nämlich zwischen jeweils einem Kamerabild und der Hilfsebene, werden die gefundenen homologen Punkte auf die Hilfsebene transformiert. Der Schnittpunkt der beiden Sichtstrahlen der Kamerabilder, welche jeweils einen Kamerabildpunkt und den korrespondierenden Punkt

auf der Hilfsebene durchstoßen, entspricht dem gesuchten Raumpunkt.

[0026] Dadurch, dass möglicherweise nicht alle Abbildungsfehler beziehungsweise numerische Fehler bei der Ermittlung der Homographien berücksichtigt werden können, werden in der Praxis die Sichtstrahlen keinen gemeinsamen Schnittpunkt aufweisen. Vielmehr werden die beiden Sichtstrahlen eines Kamerapaars zueinander windschief im Raum liegen, wodurch eine Abschätzung der Raumposition des gesuchten Raumpunktes erforderlich wird. Hierzu wird der Abstand der beiden Sichtstrahlen bestimmt und der Mittelpunkt der Abstandstrecke zwischen den beiden Sichtstrahlen als der gesuchte Punkt vermutet.

[0027] Im Anschluss an die Ermittlung des aus den derart gewonnenen Höhenwerten der einzelnen Raumpunkte bestehenden Höhenprofils wird dieses mit in einer Modellbibliothek gespeicherten Standardmodellen verglichen. Diese Standardmodelle werden in das Höhenprofil eingesetzt und geprüft, ob das Höhenprofil zumindest einem der vorgegebenen Modelle entspricht. Soweit dies der Fall ist, wird das dem Modell entsprechende Objekt als erkannt betrachtet. In vorteilhafter Weiterführung dieses Verfahrens wird nachfolgend geprüft, ob sich weitere Standardmodelle in dem verbleibenden Raum des Höhenprofils einfügen lassen. In der konkreten Anwendung, etwa als Durchgangsschleuse zur Personenvereinzelnung, ließe sich diese Anwendung dahingehend erweitern, dass bei der Erkennung von mehr als einem Objekt ein Alarm beziehungsweise eine Sperrung der Durchgangsschleuse bewirkt wird.

[0028] Die vorstehend beschriebene Erfindung wird im folgenden anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0029] Es zeigen

[0030] [Fig. 1](#) eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem abgegrenzten, zu überwachenden Raumvolumen in einer seitlichen Schnittdarstellung,

[0031] [Fig. 2](#) die Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) mit einer Spiegelanordnung und waagrecht angeordneten Kamerapaaren in einer seitlichen Schnittdarstellung,

[0032] [Fig. 3](#) eine Projektion der Sichtfelder zwei einander gegenüberliegender Kamerapaare auf den Boden eines zu überwachenden Raumbereichs,

[0033] [Fig. 4](#) eine Darstellung eines Quadratgitters mit kissenförmiger beziehungsweise tonnenförmiger Verzeichnung,

[0034] [Fig. 5](#) eine Darstellung der Anordnung zweier Kamerabilder in Bezug auf eine Referenzebene

zur Kalibrierung eines Kamerapaars, und

[0035] [Fig. 6](#) eine Darstellung der Anordnung zweier Kamerabilder in Bezug auf eine Referenzebene sowie eine Hilfsebene zur Berechnung der Position eines Raumpunktes.

[0036] [Fig. 1](#) zeigt ein zu überwachendes Raumvolumen **10**, welches von zwei Kamerapaaren **11**, **11'** überwacht wird. Die beiden, im Bild hintereinander liegenden, Kameras jeweils eines Kamerapaars **11**, **11'** sind derart geneigt, dass die äußersten Sichtstrahlen **20** der Kamerapaare **11**, **11'** im Bereich der jeweils näher liegenden Wand **13** zumindest weitgehend parallel zu dieser oder entlang dieser verlaufen und im Bereich der jeweils gegenüberliegenden Wand **13** diese Wand **13** in einer Höhe schneiden, die höher ist als die Kopfhöhe einer etwa in dem zu überwachenden Raumvolumen **10** befindlichen Person **12**. Durch die Anordnung einander gegenüberliegender Kamerapaare **11**, **11'** ist gewährleistet, dass sich im von der Person **12** abgeschatteten Bereich kein weiteres Objekt beziehungsweise keine weitere Person **12** befinden kann. Wäre dies der Fall, so könnte dieses Objekt beziehungsweise diese Person **12** von dem zweiten Kamerapaar **11**, **11'** erfasst werden, welches das zu überwachende Raumvolumen **10** aus einem anderen Blickwinkel betrachtet. Jedes der im Bereich des zu überwachenden Raumvolumens **10** angeordneten Kamerapaare **11**, **11'** erzeugt ein dreidimensionales Raumbild, mithilfe dessen ein Höhenprofil des zu überwachenden Raumvolumens **10** bestimmt werden kann. Soweit die Raumpunkte des Raumvolumens **10** von einem Kamerapaar **11**, **11'** nicht erfasst werden können, wird für die nicht einsehbaren Raumpunkte auf das von dem anderen Kamerapaar **11**, **11'** bereitgestellte dreidimensionale Raumbild zurückgegriffen. Das auf diese Weise vervollständigte Höhenprofil des zu überwachenden Raumvolumens **10** wird nachfolgend mit Standardmodellen verglichen, welche in einer Modellbibliothek vorgehalten werden. Es werden solange Standardmodelle in das Höhenprofil eingefügt, bis festgestellt werden kann, welche Objekte sich in dem zu überwachenden Raumvolumen **10** befinden.

[0037] In [Fig. 2](#) ist ein ähnlich aufgebautes zu überwachendes Raumvolumen **10** dargestellt, wobei in den Lichtweg der dort waagrecht oberhalb des zu überwachenden Raumbereichs **10** angebrachten Kamerapaare **11**, **11'** jeweils eine Spiegelanordnung **14**, **14'** eingebracht ist, so dass sich zwar im Blickfeld der Kamerapaare **11**, **11'** jeweils das gleiche Objekt, nämlich die Person **12**, befindet, die Gesamthöhe der Anordnung jedoch im Vergleich zur vorhergehenden Anordnung der Kamerapaare **11**, **11'** verringert ist. Eine solche Bauform ist insbesondere für Durchgangsschleusen besonders geeignet, welche häufig Platz sparend mit geringer Bauhöhe ausgeführt sein müssen. Auch ist gerade für den Einsatz zur Perso-

nenvereinzelung im Bereich einer Durchgangsschleuse das vorgeschlagene System, nämlich die Ergänzung eines dreidimensionalen Raumbildes durch ein zweites ebensolches Raumbild aus einer anderen Raumrichtung besonders geeignet, da auf diese Weise das Einschleusen mehrerer Personen "Huckepack" verhindert wird. Sobald in einer solchen Durchgangsschleuse mehrere Personen **12** vorhanden sind, wird dies von den Kamerapaaren **11, 11'** erkannt und von einer etwaigen Bearbeitungssoftware beziehungsweise -hardware entsprechend reagiert.

[0038] **Fig. 3** zeigt eine Projektion der von den einzelnen Kameras der Kamerapaare **11, 11'** abgedeckten Sichtfelder auf den Boden **15** des zu überwachenden Raumbereichs **10**. Es wird deutlich, dass bereits jede einzelne der verwendeten Kameras der Kamerapaare **11, 11'** Strich den vollständigen Bereich des Raumvolumens **10** weitgehend abdeckt. Hierdurch ist gewährleistet, dass jeder Raumpunkt, soweit er von einer der Kameras möglicherweise durch Abschattung nicht erfasst werden kann, sehr wahrscheinlich doch zumindest von einer anderen Kamera überwacht wird.

[0039] **Fig. 4** zeigt ein Quadratgitter zur Kalibrierung der einzelnen Kameras eines Kamerapaars **11, 11'**, wobei die Kalibrierung der Kameras anhand des Quadratgitters im Labor stattfindet. Das Quadratgitter wird vor der zu kalibrierenden Kamera senkrecht aufgestellt, so dass die Mitte des Quadratgitters in der Bildmitte des Kamerabildes zu liegen kommt. Im folgenden werden verschiedene Kameraparameter bestimmt, darunter der Hauptpunkt, die radiale Verzeichnung und die Kammerkonstante. In der **Fig. 4** sind zwei mögliche Ansichten des Quadratgitters vor einer Kalibrierung dargestellt, nämlich einmal die kissenförmige Verzeichnung im linken Bild und einmal die tonnenförmige Verzeichnung im rechten Bild. Durch die Kalibrierung der einzelnen Kameras wird bewirkt, dass die Verzeichnung der einzelnen Kameras so kompensiert wird, dass das Quadratgitter nach der Fehlerkorrektur quadratisch, also mit geraden Kanten, interpretiert wird.

[0040] **Fig. 5** zeigt eine Anordnung der Kameras eines Kamerapaars **11, 11'**, welche bereits vor Ort montiert sind und in ihrer bestimmungsgemäßen Position ebenfalls weitere Kalibrierungsschritte durchlaufen müssen. Zunächst wird hierzu eine Referenzebene **30** eingeführt, zum Beispiel die Bodenfläche **15**, auf welche die Höhenpunkte des späteren Höhenprofils bezogen werden. Im Zuge der Kalibrierung wird zunächst jeweils eine Homographie **32, 32'** zwischen den jeweiligen Kamerabildern **34, 34'** und der Referenzebene dadurch bestimmt, dass Markierungen **22** an definierter Position auf der Referenzebene **30** angeordnet werden und durch einen Vergleich der Realität mit dem Kamerabild **34, 34'** eine Abbildungsvorschrift, nämlich eine Homographie **32, 32'** zwi-

schen Kamerabild **34, 34'** und Referenzebene **30** bestimmt wird. Die so errechneten Homographien **32, 32'** werden für den späteren Auswertezyklus gespeichert. In einem weiteren Kalibrierungsschritt wird eine Epipolargeometrie eingeführt, welche so auf die Referenzebene gelegt wird, dass homologe Punkte, also einander korrespondierende Punkte auf den Kamerabildern **34, 34'** eines Kamerapaars **11, 11'** jeweils auf einer Epipolarlinie **36, 36'** des Epipolargeometriesystems zu liegen kommen. Zur Bestimmung der Koordinaten der jeweiligen homologen Punkte wird die Kreuzkorrelationsfunktion als Ähnlichkeitsmaß verwendet.

[0041] **Fig. 6** zeigt schließlich, wie eine Auswertung und die Erstellung eines Höhenprofils im Einzelnen ablaufen. Ein von beiden Kameras des Kamerapaars **11, 11'** erfasster Raumpunkt wird herausgegriffen, wobei dieser für beide Kameras auf einer gemeinsamen Epipolarlinie **36** liegt. Der herausgegriffene Raumpunkt liegt dann für beide Kameras auf einem Sichtstrahl **35, 35'**, welcher durch den Bildpunkt des Kamerabildes **34, 34'** und die Homographie **33, 33'** des Kamerabildes auf eine zur Referenzebene **30** parallele Hilfsebene **31** hindurchstößt. Im Schnittpunkt der beiden Sichtstrahlen **35, 35'** befindet sich dann der gesuchte Raumpunkt. Die Höhenlage des gesuchten Raumpunkts bezüglich des Bodens **15** beziehungsweise der dort angesiedelten Referenzebene **30** kann nachfolgend geometrisch berechnet werden. Durch ein entsprechendes Vorgehen für alle von den Kameras erfassten Bildpunkte entsteht ein Höhenprofil, welches die in dem zu überwachenden Raumvolumen **10** enthaltenen Objekte abbildet.

[0042] Vorstehend ist somit ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens und ein Verfahren zur Kalibrierung der hierfür vorgesehenen Kamerapaare beschrieben, welche in der Anwendung den Vorteil aufweisen, dass eine vollständige Überwachung des Raumvolumens gewährleistet werden kann, während gleichzeitig eine vereinfachte Vorgehensweise zur Erlangung der dreidimensionalen Informationen gelehrt wird.

Bezugszeichenliste

10	Raumvolumen
11, 11'	Kamerapaar
12	Person
13	Wand
14, 14'	Spiegelanordnung
15	Bodenfläche
20	Sichtstrahlen
21	Sichtbereich
22	Markierung
30	Referenzebene
31	Hilfsebene

32, 32'	Homographie zwischen Kamerabild und Referenzebene
33, 33'	Homographie zwischen Kamerabild und Hilfsebene
34, 34'	Kamerabild
35, 35'	Sichtstrahlen
36, 36'	Epipolarlinien
40	Positive Verzerrung
41	Negative Verzerrung

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung eines Raumvolumens (10) umfassend eine Mehrzahl von Kameras, wobei die Kameras bezüglich des zu überwachenden Raumvolumens (10) derart paarweise angeordnet sind, dass durch die Überlagerung der Kamerabilder (34, 34') jeweils eines Kamerapaares (11, 11') ein dreidimensionales Raumbild erstellbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei Kamerapaa-re (11, 11') gemeinsam ein Raumvolumen (10) derart abdecken, dass wenigstens zwei dreidimensionale Raumbilder desselben Raumvolumens (10) aus unterschiedlichen Raumrichtungen erstellbar sind

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kameras (11, 11') paarweise im oberen Bereich des zu überwachenden Raumvolumens (10) oder oberhalb desselben angeordnet sind.

3. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das zu überwachende Raumvolumen (10) wenigstens einseitig räumlich begrenzt, etwa von zumindest einer Wand (13) und/oder zumindest einer Absperrung abgegrenzt oder eingeschlossen ist.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sichtbereich (21) der Kameras derart ausgerichtet ist, dass die Grenzen des Sichtbereichs (21) wenigstens einseitig zumindest weitgehend parallel zur Begrenzung des zu überwachenden Raumvolumens (10) verlaufen.

5. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sichtbereich (21) der Kameras derart ausgerichtet ist, dass die Grenzen des Sichtbereichs (21) wenigstens einseitig eine dem Kamerapaar (11, 11') gegenüberliegende Raumbegrenzung oberhalb einer vorgebbaren Kopfhöhe schneiden.

6. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Sichtfeld zumindest einer der Kameras eine Spiegelanordnung (14, 14') angeordnet ist.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch ge-

kennzeichnet, dass die Kameras zumindest annähernd waagrecht derart oberhalb des zu überwachenden Raumvolumens (10) angeordnet sind, dass ihre Längsseiten jeweils zumindest weitgehend parallel zur Bodenfläche (15) des zu überwachenden Raumvolumens (10) ausgerichtet sind.

8. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den Kameras eine Rechenhardware und/oder Rechensoftware zugeordnet ist, welche zur Digitalisierung von Kameradaten, sowie zur Erstellung eines Höhenprofils des zu überwachenden Raumvolumens (10) über einer Referenzebene (30) auf Basis dieser Kameradaten, ertüchtigt ist.

9. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einer Personenschleuse derart zugeordnet ist, dass innerhalb des Schleusenbereichs befindliche Personen (12) und/oder Gegenstände mithilfe der Kameras erfassbar sind.

10. Verfahren zur Kalibrierung von Kamerapaa-ren zur Überwachung eines Raumvolumens (10), umfassend die Schritte einer Laborkalibrierung der einzelnen Kameras, einer Bestimmung von Homographien von Referenzebenen für jede Kamera und einer Erstellung einer Epipolargeometrie für jedes Kamerapaar (11, 11').

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass im Rahmen der Laborkalibrierung zumindest die Kammerkonstante, der Hauptpunkt sowie die radiale Linsenverzeichnung jeder Kamera mittels eines senkrecht zur jeweiligen Kamera angeordneten Quadratgitters als Kalibrierkörper bestimmt werden.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter der Kameras nach dem Lenz'schen Modell bestimmt werden.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung zumindest zweier Homographien eine Referenzebene (30) sowie eine vorzugsweise dazu parallele Hilfsebene (31) im Raum festgelegt werden, wobei Höhenwerte jeweils eines Ebenenpunktes mittels eines Geradenschnitts der die jeweiligen Punkte durchstoßenden Sichtstrahlen (35, 35') beider Kameras des Kamerapaares (11, 11') vorgegeben werden.

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Epipolar-geometrie hergestellt wird, wobei die Bilder der Kameras eines Kamerapaares (11, 11') auf die Referenzebene (30) gewarpt werden.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, dadurch ge-

kennzeichnet, dass die homologen Punkte der korrespondierenden Kamerabilder (**34, 34'**) eines Kamera-paares (**11, 11'**) mithilfe der normierten Kreuzkorrelationsfunktion als Ähnlichkeitsmaß bestimmt werden.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bodenfläche (**15**) des zu überwachenden Raumvolumens (**10**) als Referenzebene (**30**) gewählt wird.

17. Verfahren zur Überwachung eines Raumvolumens mithilfe einer Mehrzahl von Kamera-paaren (**11, 11'**), welche das Raumvolumen (**10**) aus unterschiedlichen Raumrichtungen betrachten und aus deren Kamerabildern (**34, 34'**) jeweils ein dreidimensionales Raumbild erstellbar ist, wobei in dem jeweiligen Raumbild aufgrund von Schattenwürfen nicht darstellbare Raumpunkte mithilfe von Raumbildern anderer Kamera-paare (**11, 11'**) ergänzt werden.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die von den einzelnen Kameras und/oder den Kamera-paaren (**11, 11'**) stammenden Videodatenströme digitalisiert werden.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Kamerabilder (**34, 34'**) der einzelnen Kameras aufgrund von Kalibrierwerten korrigiert werden.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass für eine Mehrzahl von Kamera-paaren (**11, 11'**) jeweils ein dreidimensionales Raumbild des von dem jeweiligen Kamera-paar (**11, 11'**) einsehbaren Raumbereichs erstellt wird.

21. Verfahren gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der Raumbilder einer Mehrzahl von Kamera-paaren (**11, 11'**) ein möglichst vollständiges Höhenprofil des zu überwachenden Raumvolumens (**10**) bestimmt wird, wobei die Daten verschiedener Kamera-paare (**11, 11'**) zu einem Raumbild zusammengefügt werden.

22. Verfahren gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Höhenprofil auf die Referenzebene (**30**) bezogen ist, wobei die Raumpunkte mithilfe von Homographien (**32, 32', 33, 33'**) und Geradenschnitten im Raum errechnet werden.

23. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage der einzelnen Raumpunkte als Mittelpunkt der Verbindungsstrecke zwischen den Sichtstrahlen (**35, 35'**) beider Kameras auf den jeweiligen Raumpunkt bestimmt wird.

24. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das erstellte

Höhenprofil mit Standardmodellen verglichen wird.

25. Verfahren gemäß Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Erkennung eines Standardmodells geprüft wird, ob ein weiteres Standardmodell im verbleibenden Raum einfügbar ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

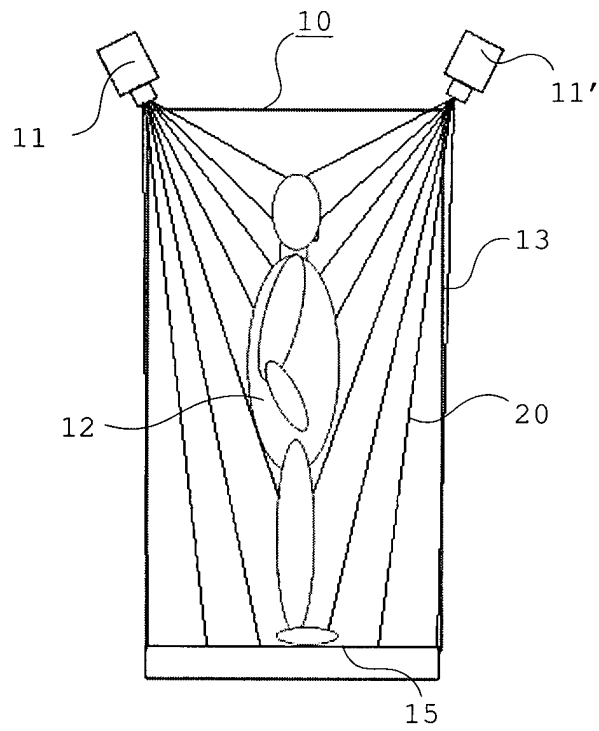


Fig. 1

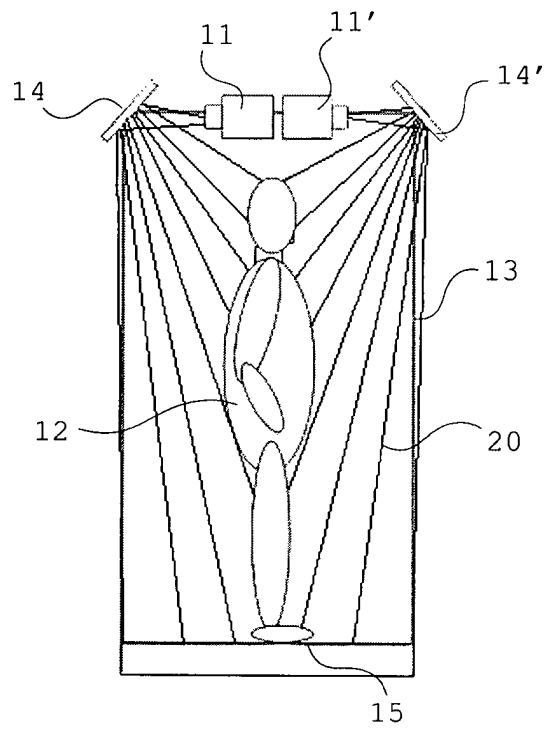


Fig. 2

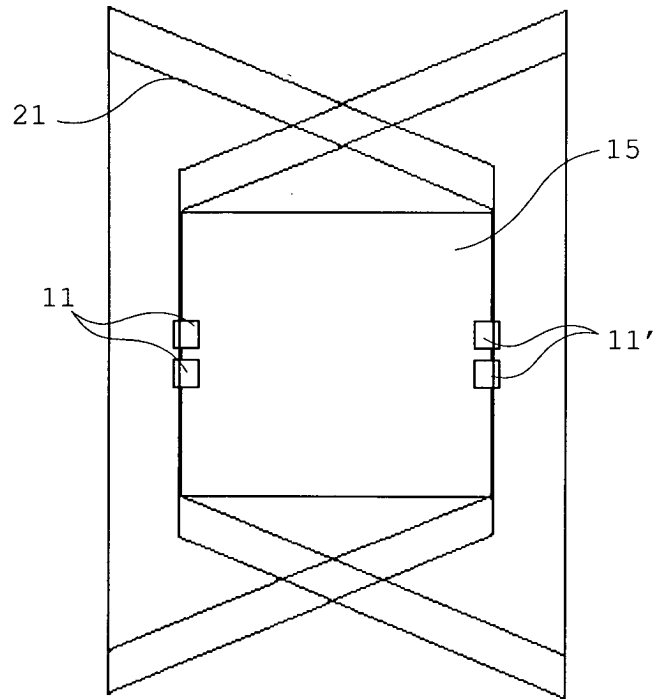


Fig. 3

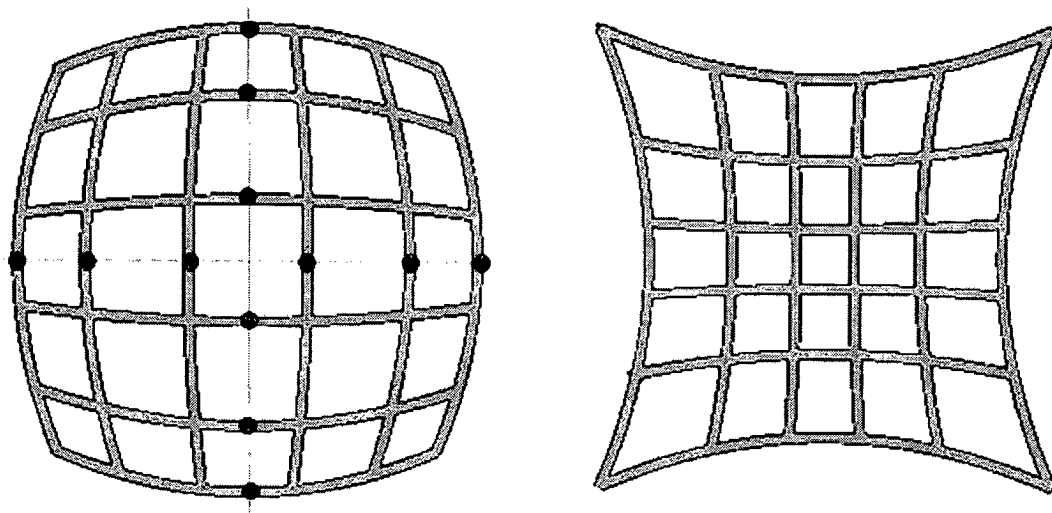


Fig. 4

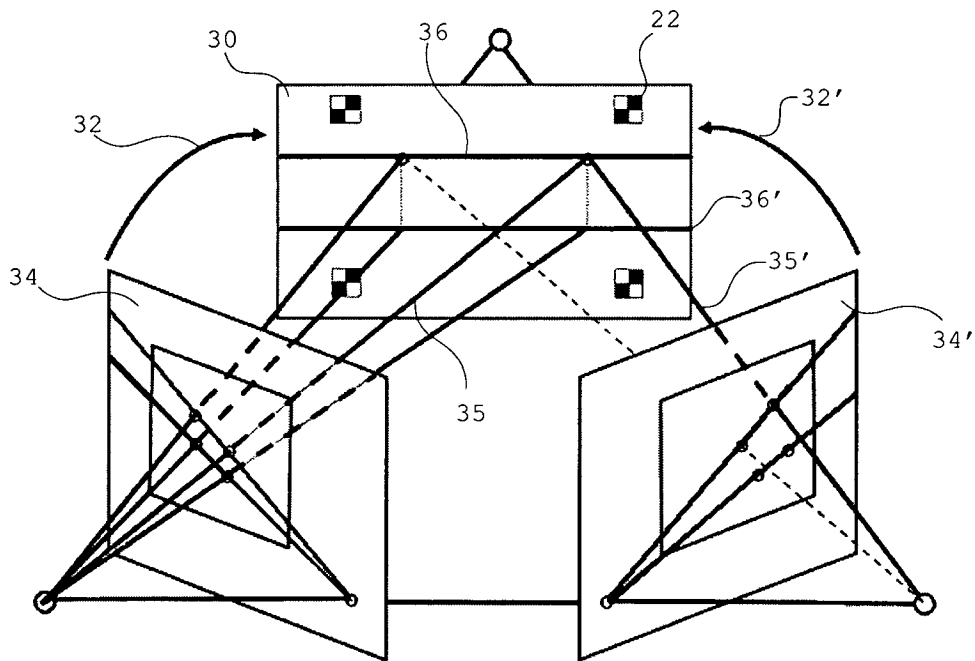


Fig. 5

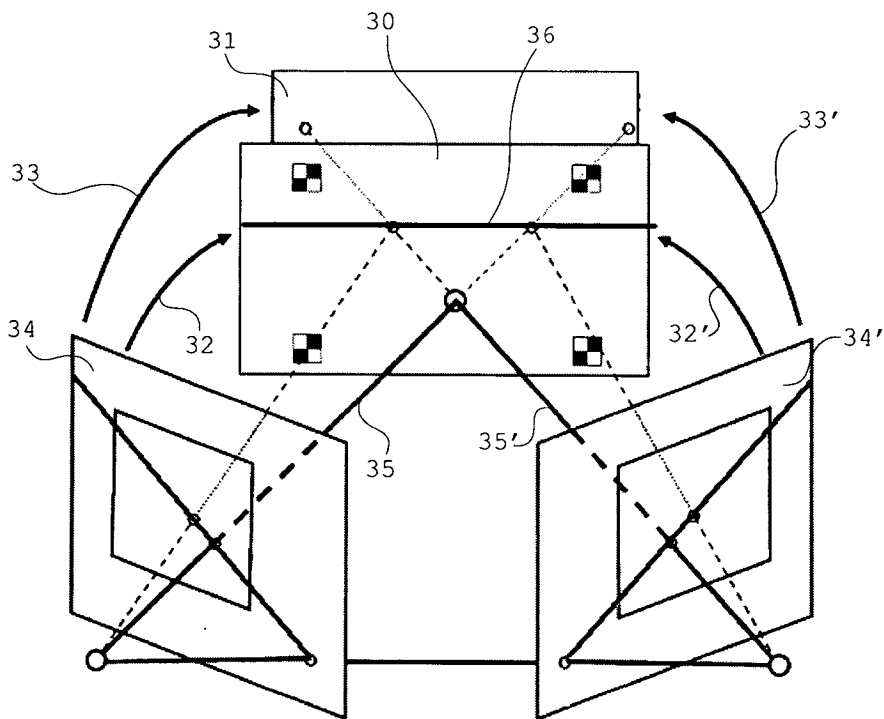


Fig. 6