



(10) **DE 20 2010 017 889 U1** 2013.04.18

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2010 017 889.4**
(22) Anmeldetag: **15.03.2010**
(47) Eintragungstag: **26.02.2013**
(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **18.04.2013**

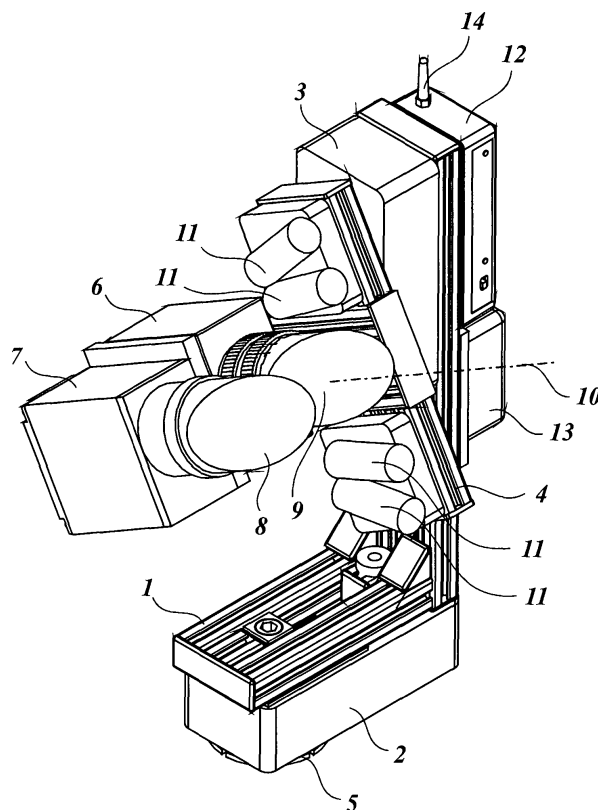
(51) Int Cl.: **G01C 11/02 (2013.01)**
G01C 3/26 (2013.01)
G03B 37/00 (2013.01)
G06T 1/00 (2013.01)

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Clauß, Ulrich, Dr.-Ing., 08297, Zwönitz, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Aufnahme geometrischer und photometrischer Objektdaten im Raum**

(57) Hauptanspruch: Aufnahmeanordnung zur Gewinnung geometrischer und photometrischer Objektdaten mit motorisch angetriebener und auf Ziel-Winkelkoordinaten verdrehbarer Schwenk-Neige-Einheit und einer mit dieser mechanisch verbundenen optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenk-Neige-Einheit mit einer Zeilenkamera so verbunden ist, dass diese wenigstens in einer deren Drehachsen mit bewegt wird.



Beschreibung

Einsatzgebiet und technischer Hintergrund

[0001] Die Erfindung betrifft die Übernahme von Merkmalen realer Objekte und Szenen, wie deren Abbild und deren räumliche Abmessungen, in ein dreidimensionales Computermodell. Die Notwendigkeit solcher Computermodelle entsteht unter anderem bei der Herstellung verformungsgerechter Aufmaße als Basis einer anschließenden Projektierung darauf aufbauender Rekonstruktionen oder Erweiterungen, aber auch in vielfältigen Simulationen der Wirklichkeit zu unterschiedlichsten Zwecken oder bei der Sicherung flüchtiger Situationen, wie z. B. nach Havarien oder Straftaten. Das Ziel besteht dabei in einer möglichst schnellen und genauen Gewinnung der Objektmerkmale in einer objektbezogenen Form, wobei sowohl Verfahren der Vermessungstechnik wie auch fotografischer Abbildungen zum Einsatz kommen sollen.

Stand der Technik

[0002] Es sind photogrammetrische Aufnahmeverfahren bekannt, die geometrische Objektinformationen punktweise aus fotografischen Abbildungen unter Zuhilfenahme weiterer Informationen, wie innere und äußere Orientierung, Passpunkte oder -strecken, oder Referenzaufnahmen gewinnen. Charakteristisch für diese Verfahren ist ein hoher zeitlich-personeller Aufwand für die Nachbearbeitung, der sich vor allem aus der notwendigen Maßbestimmung, bzw. Referenzierung aller interessierenden Objektpunkte in der Abbildung ergibt.

[0003] Eine Alternative zur Photogrammetrie in vielen Einsatzgebieten stellen Laserscanner dar, die in schneller Folge eine Punkte-Wolke rund um den Beobachtungspunkt mit ihren Polarkoordinaten aufzeichnen. Dabei bildet jeder aufgezeichnete Punkt einen Datensatz aus Horizontal- und Vertikalwinkel, sowie dessen Abstand zum Beobachtungspunkt. Mitunter wird zusätzlich auch das Reflexionsverhalten der Oberfläche für die Wellenlänge des Lasers als nicht-panchromatische Fotografie, oder ein überlagertes fotografisches Abbild mit gespeichert. Jedem der so vermessenen Punkte werden also sofort die kompletten Koordinaten im Raum zugeordnet. Dennoch ist der Aufwand für die Nachbearbeitung nicht unerheblich, weil sich eine Zuordnung der zahlreichen Punkte zu einzelnen Objekten nur schwer automatisieren lässt. Auch ist der Aufwand weitgehend unabhängig von den jeweiligen Anforderungen an die Komplexität und Genauigkeit des Ergebnisses, so dass die Methodik kaum skalierbar ist. So hat sie, gemessen am großen Informationsumfang der Ergebnisse, bisher nur vergleichsweise geringe Verbreitung gefunden und ist nur bei wenigen spezialisierten Arbeitsgruppen und Ingenieurbüros im Einsatz.

[0004] Aus der Vermessungstechnik sind Tachymeter und Totalstationen bekannt, die Einzelpunkte – meist reflektierende Messmarken – mittels horizontaler und vertikaler Positionierung eines Zielfernrohres anpeilen und den Abstand zu diesen durch Laser-Distanzmessung bestimmen. Einige Produkte sind dabei auch mit einer Kamera im Strahlengang des optischen Suchers ausgestattet. Die Nutzung solcher Systeme ist in der Landvermessung mit Einzelpunkten und bei ähnlich gelagerten Messaufgaben bei hoher Genauigkeit sehr effektiv. Für komplexe Objektmodellierung bieten sie aber wenige Vorzüge.

[0005] Insbesondere für diverse Einsatzgebiete auf dem Bau und bei der Rekonstruktion und Denkmalpflege sind spezialisierte Aufmaß-Systeme bekannt, die eine Schwenk-Neige-Einheit mit präziser Einstellung bzw. Messung des Schwenk- und Neigungswinkels und eine daran befestigte optoelektronische Entfernungsmesseinrichtung zur Bestimmung des Abstands zwischen Beobachtungs- und Messpunkt aufweisen. Alle bekannten motorgetriebenen Aufmaß-Systeme werden mit Hilfe einer Bedieneinrichtung, wie z. B. eines Joysticks (vgl. GM DE202007010475), durch manuelle Steuerung in die zu vermessenden Raumpunkte bewegt. Gegenüber einer direkten Bedienung der Einheit per Hand wird dadurch zwar vermieden, dass Lageänderungen des Messsystems hervorgerufen werden und zu Messfehlern führen. Die grundsätzliche Arbeitsweise, Punkt für Punkt im Objektraum manuell anzupeilen, bleibt aber bestehen. Die Entfernungsmesseinrichtung bekannter motorgetriebener Aufmaß-Systeme ist ein Laser-Distanzmessgerät, welches einen sichtbaren Leuchtfleck im Objekt erzeugt. Dieser wird neben der Distanzmessung auch zur Peilung des zu vermessenden Raumpunktes verwendet. Neben der einfachen visuell kontrollierten Peilung (vgl. GM DE202007010475) kommen außerdem Zielfernrohr (vgl. OS DE19648626) oder Kamera mit Teleobjektiv zum Einsatz. Die bisher bekannten Anordnungen folgen damit also den Verfahren, wie sie bei herkömmlichen Tachymetern bereits zum Einsatz kommen, ohne methodisch neue Wege zu gehen, die eine effektivere Aufnahme oder Messung zur Folge hätten.

[0006] Eine zusätzliche Einsatzmöglichkeit des sichtbaren Leuchtflecks ist die Markierung geometrisch bekannter Raumpunkte, um beispielsweise Bohrungen anzuzeichnen (vgl. GM DE202007010475). Dazu ist es notwendig, vorher den Standort und die Orientierung des Messsystems durch Anpeilen von mindestens drei bekannten Raumpunkten zu referenzieren. Die OS DE10308525 beschreibt eine Kombination aus motorbetriebenen Aufmaß-System und digitaler Array-Kamera. Die Kamera wird so zum Laser-Distanzmessgerät angeordnet, dass die wirksamen Strahlengänge koaxial, parallel, in gemeinsamer Ebene liegend oder beliebig sind. Der bildgebenden Aufnahme der Vermessungs-

szenen mit der Kamera folgt eine Vermessung relevanter Raumpunkte mit einem Laser-Distanzmessgerät. Dabei werden alle Messpunkte in bekannter Weise manuell angepeilt und die erhaltenen Messwerte mit ausgewählten Bildpunkten verknüpft. Im Ergebnis erhält man neben der Lagebeziehung zwischen Kamera und Distanzmessgerät eine Positionsbeziehung zwischen geometrischem Modell und Kamerabild – dies aber leider nur durch eine aufwändige Zuordnung durch den Bediener.

[0007] Bekannte motorgetriebene Aufmaß-Systeme sind mit leistungsfähigen Rechen- und Bedieneinrichtungen verbunden, die oftmals als Laptop-PC ausgeführt sind. Die Datenverbindung ist dabei entweder drahtgebunden oder funkbasiert und unter Verwendung gebräuchlicher Schnittstellen und Datenprotokolle, wie USB oder Bluetooth, realisiert (vgl. OS DE19648626 oder GM DE202007010475) Durch die hohe Rechenleistung und gute Wiedergabe von Grafiken wird zunehmend CAD-Funktionalität auf solche Bedienkonsolen verlagert um die gewonnenen Messdaten direkt am Aufnahmeort zu interpretieren (vgl. OS DE19648626).

[0008] Das GM DE202007010475 gibt eine Arbeitsweise zur Vereinfachung des Zeichnungsaufwands an. Hier kann vor der Vermessung eines Raumpunktes dessen Zugehörigkeit zu einer geraden, gekrümmten oder gebrochenen Linie angegeben werden. Dies soll für Körperkanten besonders vorteilhaft sein. Dies ist jedoch nur sehr eingeschränkt nutzbar, weil Körperkanten in aller Regel mit räumlichen Unstetigkeiten verbunden sind, die eine Abstandsmessung mittels Laser-Distanzmesser sehr erschweren.

[0009] Zusammenfassend ist festzustellen, dass trotz der bekannten vielfältigen Lösungsvarianten der Aufwand zur Übernahme realer Objekte in ein Computermodell nach wie vor sehr hoch ist.

Technische Aufgabenstellung

[0010] Der Erfindung liegt die technische Aufgabe zugrunde, eine Aufnahmeanordnung zu entwerfen, die eine zeitsparende und exakte Übernahme realer Objekte in ein Computermodell ermöglicht. Nach dem Verlassen des Aufnahmeortes soll keine nennenswerte Nacharbeit zur Modellierung mehr erforderlich sein. Der gesamte Arbeitsaufwand zur Aufnahme für ein Modellprojekt soll vom Umfang, von der Komplexität und von den Genauigkeitsanforderungen des Projekts abhängen, so dass geringere Anforderungen an die Modellkomplexität auch geringere Kosten verursachen.

Problemlösung, Beschreibung der Erfindung

[0011] Das Problem wird mit der in den Hauptansprüchen gekennzeichneten Erfindung gelöst. Vor-

teilhafte Ausgestaltungen sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

[0012] Folgende Begriffe werden in der nachfolgenden Beschreibung verwendet:

Als Schwenk-Neige-Einheit wird eine mechanische Baugruppe bezeichnet, die das Schwenken und Neigen daran befestigter Instrumente ermöglicht. Im engeren Sinne erlaubt diese Baugruppe entweder die motorische Bewegung in eine mittels Horizontalwinkel und Vertikalwinkel vorgegebene Zielposition, oder die manuelle Bewegung in eine solche Position und anschließende Ermittlung der beiden Winkel – im engeren Sinne durch elektronische Abtastung und Übertragung. Ein Entfernungsmesser ist technisch vorteilhaft als eine optoelektronische Entfernungsmesseinrichtung, z. B. als Laser-Distanzmesser, realisiert und besitzt im engeren Sinne eine Datenschnittstelle zur Übertragung der Messergebnisse. Ist dieser mechanisch mit einer Schwenk-Neige-Einheit verbunden, so entsteht ein Koordinatenmessgerät nach bekanntem Stand der Technik, das hier als Aufmaß-System bereits beschrieben wurde. Wird hier vom 'Anfahren' einer Position gesprochen, so ist damit die motorische Bewegung in vorgegebene Winkelpositionen gemeint, um anschließend in dieser Lage eine Abstandsmessung vorzunehmen. Als Kamera wird eine elektronische Abbildungsvorrichtung bezeichnet, die aus einem Objektiv und einer lichtempfindlichen Wandlermatrix, z. B. als CCD- oder CMOS-Array, besteht und ein elektronisches Bildsignal erzeugt. Unter dem Begriff Nodalpunkt wird der angenommene Projektionsmittelpunkt auf der optischen Achse der Kamera verstanden, durch den annähernd alle Projektionsstrahlen verlaufen. Dieser Punkt befindet sich bei vielen optischen Konstruktionen innerhalb des Objektivs, kann aber auch davor oder dahinter liegen. Unter einem Panoramabild wird die weitwinklige Abbildung der Umgebung eines Beobachtungspunktes bezeichnet, die nicht auf die Abbildungsgrenzen der planaren Zentralprojektion von 180° begrenzt ist, sondern den gesamten Definitionsbereich des Polarkoordinatensystems von horizontal 0 ... 360° und vertikal -90 ... +90° als gedachte Projektion auf eine Vollkugel erreichen kann. Unter einem Rechner wird eine elektronische Recheneinheit verstanden, die zumindest aus einem Steuerwerk, einer arithmetisch-logischen Einheit, einem Programm- und Datenspeicher, sowie Datenein- und -ausgabeeinheiten, sowohl als Daten- wie auch als Nutzerinterface, besteht. Weiterhin wird in den Begriff Rechner nachfolgend auch dessen Betriebssystem und geeignete Anwendungs-Software mit impliziert. Der Rechner kann Teil der Steuereinheit des Aufnahme-Systems sein, diese vollständig mit umfassen oder mit einer externen Steuereinheit über Datenschnittstelle verbunden sein. Als ein Display wird jede Art einer elektronischen Bildanzeigevorrichtung, z. B. ein LCD-Bildschirm, verstanden, während als Pointer eine grafische Zeigevorrichtung, z. B. eine Compu-

termaus, bezeichnet wird, die die punktgenaue Auswahl eines Koordinatenpaares in der Bildfläche ermöglicht. Mit dem Begriff Joystick werde ein Eingabegerät beschrieben, das wie ein Pointer auf zwei unabhängige Koordinaten wirkt, jedoch keine Zielkoordinaten auswählt, sondern auf Bewegungsgeschwindigkeiten oder Beschleunigungen in diesen Richtungen wirkt. Als Tastatur wird jede Art von Eingabegeräten für alphanumerische Daten als Nutzerschnittstelle bezeichnet. So kann z. B. auch eine am Display dargestellte Tastatur, die mit einem Pointer bedient werden kann, die Rolle der Tastatur übernehmen. Der Begriff Objekt wird nachfolgend in zweierlei Bedeutung gebraucht: Zum Einen als Bezeichnung des Originals im tatsächlichen Raum. In diesem Zusammenhang werden die Begriffe 'Objektraum', 'Oberflächenpunkte im Objektraum' usw. verwendet. Zum Anderen ist dieser Begriff der objektorientierten Klassifizierung entnommen und bezeichnet hier Modellobjekte als Elemente des Modellraumes mit festliegenden Eigenschaften, z. B. Flächen, Zylinder usw. Deshalb wird in diesem Zusammenhang der Begriff 'Modellobjekt' verwendet. Auch weitere in der Fachliteratur für objektorientierte Klassifizierung, bzw. Programmierung, eingeführte Begriffe, wie Klasse, Instanz und Eigenschaft werden hier im gleichen gebräuchlichen Sinne verwendet.

[0013] Grundlage der Erfindung ist die Idee, das Computermodell bereits am Aufnahmeort, ähnlich wie mit einem CAD-Zeichenprogramm, zu konstruieren und dazu alle erreichbaren Informationen, die sich mit technischen Mitteln automatisch, also ohne direkte Nutzereingabe, vom Objektraum gewinnen lassen, zu nutzen. Diese Informationen sind die Polarkoordinaten ausgewählter Oberflächenpunkte im Objektraum und, soweit deren Aufnahme mit vorgesehen ist, die Bildinformationen. Alle diese Informationen sollen jeweils aus einem einzigen Beobachtungspunkt heraus aufgezeichnet werden können. Dies schließt jedoch nicht aus, dass für umfangreichere Modelle auch mehrere so gewonnene Teil-Modelle miteinander über Anschlusspunkte verbunden werden können. Im Unterschied zu bekannten Verfahren, bei denen entweder nur einzelne Punkte oder Linien gesammelt werden, sollen aber hier zuerst räumliche Modellobjekte, z. B. ebene oder gekrümmte Flächen, Zylinder oder Quader, abstrakt deklariert werden und diesen Modellobjekten dann Messpunkte im Objektraum zugewiesen werden, deren Koordinaten anschließend durch die Messung bestimmt werden. Wenn es möglich und sinnvoll ist wird außerdem noch differenziert, zu welchen Objektbereichen der jeweilige Punkt gehört, also z. B. zur Kreis- oder Mantelfläche bei einem Zylinder. Im einfachsten Fall ist zur Bestimmung der interessierenden Punktkoordinaten im Objektraum eine Schwenk-Neige-Einheit mit aufgesetztem Entfernungsmesser erforderlich. Das Auswählen der Winkelkoordinaten, in denen der Abstand gemessen werden soll, geschieht im ein-

fachsten Fall durch direkte manuelle Steuerung der Bewegung der Schwenk-Neige-Einheit bei gleichzeitiger Beobachtung der Position des Leuchtpunktes des Entfernungsmessers. Komfortablere Möglichkeiten werden später beschrieben. Je nach Vollständigkeitsgrad der so bestimmten Objektpunkte werden vom Rechner entweder ganze Modellobjekte oder Teile davon mit ihren Abmessungen und ihrer Lage im Raum bestimmt. Dabei kann es auch vorkommen, dass die Informationen noch nicht zu einer vollständigen Bestimmung ausreichen. In diesem Fall wird das Modellobjekt zunächst soweit definiert, wie zum gegenwärtigen Informationsstand möglich. Um den Bediener in seiner Arbeit bestmöglich zu unterstützen, werden die Modellobjekte stets so weit wie bis dahin bekannt bildlich aus der Perspektive des Beobachtungspunktes auf dem Display dargestellt. So kann dieser auch schnell erkennen, welche Informationslücken noch bestehen und durch weitere Punktkoordinaten-Messungen zu schließen sind. Darüber hinaus ist es zur Gewinnung einer besseren Übersicht auch vorteilhaft, wenn sich der Betrachter mit seiner Perspektive aus dem eigentlichen Beobachtungspunkt lösen und frei in der virtuellen Darstellung des Objektraumes bewegen kann.

[0014] Durch die Relation unterschiedlicher Objekte zueinander im Raum werden zusätzliche Informationen gewonnen. Wird z. B. eine Wandfläche zunächst nach den Methoden der analytischen Geometrie aus wenigstens drei Messpunkten als unendliche Fläche vermessen und beschrieben, so wird diese mit der nächsten, auf die gleiche Weise gewonnenen angrenzenden Wandfläche bereits einseitig begrenzt, wodurch als weiteres Modellobjekt eine Kante definiert wird. Bereits hier ist der Vorteil gegenüber dem Versuch, diese Kante direkt als Linie zu bestimmen, sichtbar: Die Modellobjekte entstehen sofort aus den gemessenen Koordinaten im dreidimensionalen Objektraum, wobei die Abstandsmessungen grundsätzlich nicht für Eckpunkte oder Kanten, sondern für Flächenpunkte erfolgen. Dabei können größere Unsicherheiten bei der genauen Auswahl der Messpunkt-Koordinaten toleriert werden, solange sie sich nur innerhalb der deklarierten Oberflächenbereiche befinden. Objekte, die zueinander in engerer Beziehung stehen, können zu einem komplexeren Objekt gruppiert werden. Um hier die Arbeit zu erleichtern kann im Anwendungsprogramm ein strukturierter Objektbaum erstellt werden, der auch eine hierarchische Gruppierung von Modellobjekten erlaubt. Weiterhin ist es vorteilhaft, Objekte und Gruppen bei der Darstellung einzeln ein- oder ausschalten zu können. Wichtig ist also, dass ein interaktiver und weitgehend intuitiver Arbeitsablauf entsteht, bei dem wechselweise neue Messpunkte bestimmt und vermessen und sofort die daraus gewonnenen neuen Informationen für die Erweiterung des dreidimensionalen Modells ausgewertet werden und das aktuelle Ergebnis angezeigt wird, wonach erneut weite-

re Messpunkte strategisch ausgewählt werden usw. Neben der bisher beschriebenen manuellen Auswahl der Messpunkte ist auch die Bestimmung weiterer automatisch festgelegter Punkte vorteilhaft. So können durch automatische kleine Variation der Winkelkoordinaten Messpunkte in unmittelbarer Umgebung des ausgewählten Punktes zusätzlich bestimmt werden, um eine höhere Messsicherheit zu erzielen oder um in kleinen Flächenbereichen deren Normalvektor zu bestimmen. Bei großen Flächen können automatisch Zwischenkoordinaten überprüft werden, z. B. um Krümmungen zu ermitteln, und so weiter. Alle diese zusätzlichen Messungen können vorteilhafter Weise immer dann automatisch ausgeführt werden, wenn das System Wartezeiten bis zu den nächsten Eingaben des Nutzers hat.

[0015] Ein erheblicher Informationsgewinn wird erzielt, wenn das Aufnahmesystem zusätzlich zur Bildaufnahme geeignet ist, und zwar in der Weise, dass folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

1. Der zu erfassende Objektbereich ist rund um den Beobachtungspunkt fotografisch abzubilden. Am universellsten ist hierfür eine lückenlose Aufnahme.
2. Die Bildkoordinaten der fotografischen Abbildung müssen den Horizontal- und Vertikalwinkeln eindeutig zugeordnet sein.
3. Die Koordinaten-Messeinrichtung mit Entfernungsmesser muss im gleichen Koordinatensystem betrieben werden, wie die Bildaufnahmevorrichtung, also auch mit identischem Koordinaten-Ursprung, und für jedes vorgegebene Horizontal- und Vertikalwinkel-Paar den Abstand zwischen Beobachtungspunkt und Objektpunkt messen können.

[0016] Mit diesen Voraussetzungen kann das zweidimensionale fotografische Abbild rund um einen Beobachtungspunkt in einer besonders komfortablen Weise verwendet werden. Weil die Bildkoordinaten einen direkten Bezug auf die Winkelkoordinaten im Objektraum besitzen, kann über die Auswahl von Bildkoordinaten mittels Pointer vor dem Hintergrund der Bildanzeige eine Auswahl der gewünschten Messkoordinaten im Objektraum getroffen werden. Durch Verwendung eines veränderlichen Abbildungsmaßstabs der Bildanzeige können die Messpunkte sehr präzise in den Bilddetails platziert werden, ohne dass der Bediener seinen Platz verlassen muss. Weil sich die Bildanzeige und die Anzeige des entstehenden Modellraums auf den gleichen Beobachtungspunkt bezieht, können beide überlagert und gleichzeitig dargestellt werden, was die Anschaulichkeit der räumlichen Darstellung weiter verbessert. Halbtransparente Falschfarbendarstellung und selektives Anzeigen einzelner Elemente erlauben eine sehr konzentrierte und produktive Arbeit mit geringem Fehlerrisiko. Die bereits beschriebene Arbeitsweise zur objektbezogenen Datenerfassung

wird auch unter Zuhilfenahme des Kamerabildes in gleicher Weise praktiziert, nur dass hier anstelle des Lichtpunktes im Objektraum der Pointer auf dem Display für eine zielgenaue Vorgabe der Messkoordinaten dient. Bei Bedarf und in Sonderfällen ist jedoch nach wie vor auch das manuelle Positionieren mittels Lichtpunkt zusätzlich möglich.

[0017] Alle genannten Voraussetzungen werden erfindungsgemäß von einem Aufnahmesystem erfüllt, das zum Einen ein kalibriertes Teilsystem zur Panorama-Bildaufnahme, zum Anderen einen in Polarkoordinaten-Winkeln positionierbaren Entfernungsmesser enthält.

[0018] Die Aufnahme eines lückenlosen Panorama-Bildes erfolgt durch Segmentierung des zu erfassenden Raumwinkels um den Beobachtungspunkt herum und einzelnes Fotografieren dieser Segmente. Hierzu ist eine Aufnahmekamera im Beobachtungspunkt schrittweise zu drehen, um eine Folge von Einzelaufnahmen herzustellen. Hierbei kann es genügen, die Kamera in nur einer Achse, z. B. horizontal, zu drehen und eine Bildfolge in Form eines Bandes, das im Falle einer 360°-Aufnahme ringförmig geschlossen ist, zu erhalten. Erfasst die Kamera dabei keinen ausreichend großen Bildwinkel, so ist das Band zu schmal und die Bildfolge muss mit anderen Neigungswinkeln wiederholt werden, um mehrere solcher Bänder übereinander zu setzen. Dies wird erreicht, wenn die Kamera nicht nur in einer, sondern in zwei zueinander rechtwinkligen Drehachsen geneigt und geschwenkt werden kann. Diese Bewegungsfunktionen werden mit einer Schwenk-Neigeinheit erreicht, auf der die Kamera montiert ist. Um diese anzu steuern und in beliebige Winkelpositionen fahren zu können, muss sie motorisch angetrieben und mit elektrisch übergebenen Steueranweisungen ausreichend präzise positionierbar sein.

[0019] Im Folgenden wird von der weit verbreiteten Anordnung ausgegangen, in der um einen Horizontalwinkel geschwenkt und dann in dieser Lage um einen Vertikalwinkel geneigt wird. Damit ist keine zeitliche Abfolge gemeint – die beiden unabhängigen Bewegungen können in beliebiger Reihenfolge oder gleichzeitig ablaufen. Vielmehr geht es darum, dass die Lage der einen Drehachse durch die Drehung um die andere verändert wird, während eine umgekehrte Kausalität nicht besteht. Diese Anordnung stimmt mit dem allgemein gebräuchlichen Polarkoordinatensystem ebenso überein wie mit weit verbreiteten astronomischen und geodätischen Instrumenten und ist in den meisten Fällen besonders zweckmäßig. Die Stehachse, um welche die Horizontaldrehung erfolgt, werde als horizontale Achse und die Drehachse für die Vertikaldrehung als vertikale Achse bezeichnet. Diese allgemeine Lagezuordnung des beschriebenen Schwenk-Neige-Systems ist aber nicht festliegend sondern beliebig. Somit sind die nachfol-

genden Bezüge auf horizontale oder vertikale Lagen ebenfalls auf anders orientierte Lagen der Vorrichtung sinngemäß übertragbar.

[0020] Eine wichtige Voraussetzung zur späteren Verschmelzung der Einzelbilder zu einem Gesamt-Panorama ist, dass die Drehachsen und die optische Achse der Kamera einen gemeinsamen Schnittpunkt besitzen und dass die Ebene des Objektiv-Nodalpunktes ebenfalls in diesem Schnittpunkt liegt. Nur so ist ein korrekter Übergang von einem Einzelbild zum nächsten ohne Parallaxenfehler möglich. Die Konstruktion der Schwenk-Neige-Einheit muss diesen Anforderungen also gerecht werden. Die Verschmelzung der Einzelaufnahmen zum Gesamt-Panorama ist ein unter dem Begriff „Stitching“ in der Panorama-Fotografie gut bekannter Vorgang, für den zahlreiche Software-Produkte marktüblich sind.

[0021] Wie bereits dargestellt wurde, ist eine genaue Kalibrierung der fotografischen Abbildung in Horizontal- und Vertikalwinkel eine wichtige Bedingung für das Verfahren. Neben der Kalibrierung und Entzerrung des Kamerabildes nach bekannten photogrammetrischen Verfahren gibt es hierfür im Zusammenwirken mit der in der Anordnung vorgesehenen Schwenk-Neige-Einheit eine besonders interessante Methode: Dazu werden optische Zielmarken in einer Folge verschiedener präzise eingestellter Schwenk-Neigungs-Winkel abgebildet und somit eine genaue Zuordnung zwischen den Pixelpositionen des Kamerabildes und den zugehörigen Einfallswinkeln hergestellt. Wegen der außerordentlich hohen Anzahl der Pixelpositionen des Flächensensors einer solchen Kamera – nach derzeit gängiger Praxis können das bereits mehrere zehn Millionen sein – wird aber in der Realität nur eine grobe Vermessung möglich sein, mit deren Hilfe dann auch nur eine approximiertere zweidimensionale Zuordnung oder Entzerrung erfolgen kann. Deshalb werden die geometrischen Abweichungen die physikalische Pixelauflösung des Bildsensors im Allgemeinen übersteigen, so dass es zu Überlappungsfehlern zwischen den Einzelbildern kommt. Auch dieses Problem ist aus der Praxis der Panorama-Fotografie gut bekannt und wird durch automatische Anpassungen der Übergänge gelöst, die zwar rein visuell kaum zu erkennen sind, jedoch im geometrischen Sinne nicht korrekt sind. Je nach Projektanforderungen kann die Genauigkeit dennoch ausreichend sein.

[0022] Als präzisere Lösungsvariante wird erfindungsgemäß eine Zeilenkamera verwendet. Unter diesem Begriff wird eine elektronische Kamera mit einem Abbildungsobjektiv verstanden, die anstelle des sonst üblichen zweidimensionalen matrixartigen Bildaufnahme-Sensors einen eindimensionalen linien- oder zeilenförmigen Bildaufnahme-Sensor, auch Zeilensensor genannt, aufweist. Diese Zeilenkamera ist ebenfalls mit ihrem Nodalpunkt im Schnittpunkt

der Drehachsen der Schwenk-Neige-Einheit zu befestigen. Zunächst sei dabei der Zeilensensor parallel zur horizontalen Drehachse ausgerichtet. Wird nun der Horizontalantrieb schrittweise oder kontinuierlich gedreht und gleichzeitig in möglichst gleichen Winkelabständen das Signal des Zeilensensors ausgelesen und Zeile für Zeile zu einem Bild zusammengesetzt, so entsteht die zylindrische Abbildung oder Abwicklung des Umfeldes rund um den Beobachtungspunkt. Diese Abbildungsmethode ist von spezialisierten elektronischen Panorama-Kameras, auch Panorama-Scanner genannt, bekannt. Mit Hilfe des Vertikaltriebs der Schwenk-Neige-Einheit oder einer ähnlichen Konstruktion und einer Marke, z. B. einem simplen Schwarz-Weiß-Übergang, ist es nun möglich, jedes der linear angeordneten Sensorpixel einem genauen Einfallswinkel zuzuordnen und diese Zuordnung dauerhaft als eindimensionalen Kalibrierdatensatz zu speichern. Technische Zeilensensoren weisen eine Pixel-Anzahl bis ca. 10.000 auf, so dass diese Aufgabe in der Praxis mit einer überschaubar kleinen Kalibrierdatei zu realisieren ist. Werden die Pixelpositionen mit der damit bekannten Zuordnung den Vertikalwinkel-Positionen zugeordnet, so wird aus der zylindrischen Abbildung die Abbildung eines Kugelring-Segments. Damit wird erreicht, dass die Koordinatenzuordnung in vertikaler Richtung mit einer Genauigkeit erfolgt, die durch die Anzahl der Pixel pro Winkelbereich oder die Positioniergenauigkeit des Vertikaltriebs der Schwenk-Neige-Einheit vorgegeben ist. In technischen Systemen weisen beide Genauigkeiten vergleichbare Größenordnungen auf und sollten in der vorgeschlagenen Anordnung vorteilhafter Weise in Übereinstimmung gebracht werden.

[0023] Prinzipiell ist es möglich, eine Zeilenkamera mit einem Aufnahmewinkelbereich von 180° zu fertigen und damit allein durch Horizontalrotation eine vollständige Kugel abbilden zu können. Wegen vielfältiger technischer Gründe ist dies aber zu vermeiden. Statt dessen ist es sinnvoll, einen kleineren Winkelbereich vorzusehen und die Zeilenkamera mit der Schwenk-Neige-Einheit nicht nur horizontal zu schwenken sondern auch vertikal zu neigen, um mehrere Kugelring-Segmente übereinander aufzuzeichnen und danach zur vollständigen Kugel zu vereinen. Da alle Pixel der Zeilenkamera in Einfallswinkeln kalibriert sind, ist hierfür lediglich der Neigungswinkel der Schwenk-Neige-Einheit als Offset hinzuzuaddieren wodurch der Bearbeitungsaufwand klein bleibt.

[0024] Je näher man bei der Erhöhung des Vertikalwinkels in den Vertexbereich des Polarkoordinatensystems vordringt, desto dichter liegen die Horizontalwinkelschritte – vergleichbar mit den Längengraden im geografischen Gradnetz – beieinander. Deshalb ist es ohne eine Reduzierung der objektbezogenen Bildauflösung vorteilhaft, in diesem Bereich die

Winkelschritte zwischen den Zeilenaufnahmen zu erhöhen, wodurch Redundanzen verringert werden und die Aufnahmezeit verkürzt wird.

[0025] Zeilensensoren für die Wiedergabe von Farben sind allgemein so ausgeführt, dass mehrere gleichartige Linien mit meist gleicher Anzahl von Pixeln, aber unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit, in einem kleinen Abstand parallel nebeneinander angeordnet sind, wodurch sich mehrere Farbkanäle, z. B. für Rot, Grün und Blau, aufbauen lassen. Wegen der nicht identischen Orte der verschiedenen Farbzeilen muss die Winkelzuordnung – nicht nur horizontal sondern auch vertikal – individuell für jede der Einzelzeilen erfolgen, was den Aufwand aber lediglich mit der Anzahl der Kanäle multipliziert.

[0026] Die Verwendung von Zeilenkameras zur Panorama-Bildaufnahme hat gegenüber der Aufnahme und Verschmelzung flächiger Einzelbilder generell zwei Nachteile: Einerseits führen eventuelle Bewegungen von Gegenständen im Objektraum während der Scanbewegung zu Bildartefakten. Für das hier vorgesehene Verfahren ist aber ohnehin, zumindest temporär, von unveränderlichen Lagen der Elemente im Objektraum auszugehen, weil anderenfalls auch die Koordinatenmessungen keinen Sinn hätten. Andererseits ergibt sich eine längere Aufnahmezeit, weil in der gleichen Zeit, in der eine Matrixkamera tausende Zeilen gleichzeitig belichtet, hier nur eine Zeile belichtet werden kann. Der praktische Zeitaufwand zur Aufnahme entspricht aber bei weitem nicht diesem Verhältnis, weil weitere Zeit zum Speichern des Bildes und für die Bewegung der Kamera in die nächste Position zu berücksichtigen ist und weil der Rechenaufwand zum fehlerarmen Verschmelzen der Bilder nicht unerheblich ist. Im praktischen Einsatz ist der zeitliche Gesamtaufwand zur Herstellung des Panoramabildes für beide Aufnahmemethoden miteinander vergleichbar.

[0027] Eine besondere Betrachtung verdient die Beleuchtung des Bildaufnahme-Bereichs, sofern eine künstliche Beleuchtung erforderlich ist. Während bei der Einzelbild-Aufnahme im einfachsten Fall eine allgemein bekannte Foto-Blitzleuchte einsetzbar ist, gibt es für Aufnahmen mit Zeilenkameras keine energetisch angepasste Lösung. Hier ist eine mit der Zeilenaufnahme-Frequenz synchronisierte Blitzleuchte mit zeilenförmiger Fokussierung auf den Aufnahmebereich von Vorteil, die wegen ihrer kleinen Projektionsfläche auch mit einer vergleichsweise geringen Blitzleistung auskommt. Besonders Lichtemitter-Dioden mit annähernd punktförmiger Lichtaustrittsfläche, die linear angeordnet sind und mit einem in nur einer Richtung ausgebildeten Parabolreflektor oder einem Zylinderlinsen-System fokussiert werden, sind hierfür als Lichtquelle geeignet. Dabei können einzelne oder mehrere Lichtquellen mit einem Fokussiersystem ausgestattet sein oder mehrere solcher Sys-

teme, am besten beidseitig der Kamera, einander ergänzen.

[0028] Um die Entfernungsmesseinrichtung im gleichen Koordinaten-Ursprung zu betreiben wie die Aufnahmekamera sind unterschiedliche Lösungsansätze möglich:

– Beide Funktionseinheiten sind auf der Schwenk-Neige-Einheit gegeneinander austauschbar – entweder durch vollständigen manuellen Austausch, indem die eine Einheit entfernt und durch die andere ersetzt wird, oder durch eine mechanische oder elektromechanische Umschaltvorrichtung, die zu einem Austausch der Positionen führt, z. B. in der Art eines Revolvers.

– Beide Funktionseinheiten befinden sich gleichzeitig auf der Schwenk-Neige-Einheit. In einem oder beiden Objektivstrahlengängen befindet sich eine optische Umlenkvorrichtung in Form eines oder mehrerer Spiegel oder Umlenkprismen, die beide Objektivstrahlengänge in Objektichtung betrachtet in eine gemeinsame optische Achse umlenken. Diese Umlenkvorrichtungen können z. T. halbdurchlässig sein, um ständig für beide Funktionseinheiten verfügbar zu sein. Dies hat den Nachteil, dass die Lichtempfindlichkeit der Kamera und die Reichweite der Entfernungsmesseinrichtung reduziert werden. Weil eine ständige Verfügbarkeit nicht nötig ist, kann die Umlenkvorrichtung auch in zeitlicher Folge umgeschaltet werden, so dass alternierend entweder die eine oder die andere Funktionseinheit, dafür aber mit voller Empfindlichkeit, betrieben wird. Als umschaltende Umlenkvorrichtung kommen beispielsweise Klapp- oder Drehspiegel in Frage. Eine besonders interessante Ausführungsmöglichkeit stellt die Verwendung eines Spiegels mit einem Diaphragma in dessen Mitte dar: Hierdurch ist es möglich, den ausgesendeten Lichtstrahl der Entfernungsmesseinrichtung durch dieses Diaphragma zu senden, dessen Lichtpunkt auf der Objektoberfläche aber über die übrige Spiegelfläche in den Strahlengang der Kamera umzulenken und diesen gleichzeitig mit dem Objekt mit abzubilden, um die korrekte Koordinatenbeziehung zwischen Messpunkt und Bildpunkt zu kontrollieren.

– Die Funktionseinheiten sind so auf der Schwenk-Neige-Einheit befestigt, dass sie zwar einen gemeinsamen Koordinaten-Ursprung im Schnittpunkt der Drehachsen, jedoch unterschiedliche Drehwinkel aufweisen. Die Aufnahmekamera muss, wie bereits erläutert, nicht nur einen gemeinsamen Schnittpunkt ihrer optischen Achse mit den Drehachsen besitzen, sondern gleichzeitig auch eine vollkommene Übereinstimmung des Nodalpunktes mit diesem Schnittpunkt. Hierdurch ist die Lage der Kamera auf der Schwenk-Neige-Einheit eindeutig festgelegt. Da der Nodalpunkt in den meisten Fällen innerhalb

der Objektiv oder der Kamera liegt bedeutet das auch, dass der Raum um den Koordinaten-Ursprung mit der Kamera oder deren Objektiv belegt ist. Für die Entfernungsmesseinrichtung gelten hingegen einfachere Regeln für die Ausrichtung: Hier ist lediglich zu gewährleisten, dass die optische Achse durch den Schnittpunkt der Drehachsen verläuft und dass der Abstand zwischen Bezugspunkt der Entfernungsmessung und Koordinaten-Ursprung bekannt ist. Dadurch ist es möglich, die Entfernungsmesseinrichtung hinter oder neben der Kamera anzuordnen und deren Aufnahme-richtung abweichend von der Aufnahme-richtung der Kamera zu wählen, z. B. in entgegengesetzter Richtung oder rechtwinklig dazu. Durch die Schwenk-Neige-Einheit lassen sich die Winkelunterschiede einfach durch Wahl eines Offsets, z. B. von 180° oder 90°, kompensieren.

[0029] Damit die Bildaufnahme mit der Entfernungsmessung sinnvoll koordiniert werden kann, muss die gesamte bisher beschriebene Baugruppe, bestehend aus Schwenk-Neige-Einheit, Aufnahmekamera und Entfernungsmesseinrichtung, sowie auch die Umschaltelemente des Strahlengangs und die Lichtquelle, soweit vorhanden, mit einer gemeinsamen Steuerungseinheit funktionsgerecht verbunden sein. Diese Steuerungseinheit muss die Winkelausrichtung der Schwenk-Neige-Einheit in beiden Drehachsen, die Kamera und die Entfernungsmesseinrichtung steuern und sowohl die Bilddaten wie auch die Entfernungsmessergebnisse entgegennehmen. Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist weiterhin ein Rechner mit Display, Pointer und Tastatur erforderlich. Hierfür ist insbesondere ein Personalcomputer, z. B. in der Ausführung als Laptop oder Notebook geeignet. Es kann von Vorteil sein, wenn die Aufgabe der Steuerungseinheit ebenfalls vom gleichen Rechner übernommen wird, der auch zur Verarbeitung der Bild- und Messdaten dient. Andererseits kann es sich als vorteilhaft erweisen, weitere Mikrocontroller oder Mikrorechner zwischen den Rechner und genannte Baugruppen zu schalten, die dann Teilaufgaben, wie die Interpretation und Ausführung von Befehlen, eine Vorverarbeitung von Daten oder die Bündelung des Datenflusses für eine gemeinsame effektive Datenschnittstelle, übernehmen. Außerdem realisieren solche Subsysteme ohne Probleme die erforderliche Echtzeitfähigkeit von Teilfunktionen, wie z. B. der Bewegungssteuerung und der synchronisierten Datengewinnung.

[0030] Wesentliche Funktionen erfindungsgemäßer Aufnahmevorrichtungen bestehen in folgenden und müssen je nach vorgesehenem Umfang vollständig oder teilweise gewährleistet werden:

1. Festlegung der Bereichsgrenzen für die Messung durch Nutzereingabe. Neben der direkten numerischen Eingabe der Grenzwinkel kann der Lichtpunkt des Entfernungsmessers als Zei-

ger im Objektraum dienen oder ein Kamerabild als Sucherbild verwendet werden. Hierzu soll die Schwenk-Neige-Einheit, z. B. über Joystick, frei positionierbar sein, während die ausgewählten Positionen direkt als Winkelmaße übernommen werden können. Erfolgt grundsätzlich eine Panorama-Bildaufnahme ohne Winkelbegrenzung, was am universellsten ist, so kann dieser Schritt entfallen.

2. Aufnahme eines Panoramabildes: Die Steuerungseinheit fährt die vorgesehenen Winkelkoordinaten der Schwenk-Neige-Einheit nacheinander ab und löst in den notwendigen Positionen die Bild- oder Bildzeilenaufnahme aus. Hierbei ist es nicht in jedem Fall erforderlich, dass die Bewegung während der Aufnahme unterbrochen wird – gerade beim Einsatz einer Zeilenkamera können die Einzelzeilen auch während der Bewegung belichtet werden.

3. Winkelrichtige Montage des Panoramabildes aus den einzelnen Bild- oder Bildzeilenaufnahmen. Wegen der vorhandenen Kalibrierung der Kamera in Winkelkoordinaten ist dieser Prozess automatisch, je nach Leistungsfähigkeit des Rechners auch bereits während der Aufnahme, durchführbar.

4. Anzeige von wählbaren Ausschnitten des aufgezeichneten Panoramas in wählbarem Anzeigemaßstab auf dem Display. Hierbei ist eine zentralperspektivische Entzerrung des dargestellten Bildausschnitts von Vorteil, um eine wirklichkeitstgetreue Bilddarstellung zu erreichen.

5. Auswahl von Modelltypen zur Zuordnung der Messpunkte, z. B. aus einer Werkzeugpalette, und Instanziierung neuer Modellobjekte.

6. Markieren einer zweidimensionalen Bildkoordinate mit dem Pointer, hiernach automatisches Positionieren der Entfernungsmesseinrichtung auf die zugehörige Winkelkoordinate im Polarkoordinatensystem, Durchführen einer Entfernungsmessung und Speichern des Datensatzes aus Horizontalwinkel, Vertikalwinkel und Abstand als Objektpunkt gemäß Vorauswahl.

[0031] Das Panorama-Bild auf dem Display dient also vorteilhafter Weise als eine Art „Kopiervorlage“ zum komfortablen „Konstruieren“ des räumlichen Modells, indem die sichtbaren Objektpunkte mit der Zeigevorrichtung ausgewählt werden und anschließend eine automatische Bestimmung der zugehörigen Raumkoordinaten durch Steuerung der Schwenk-Neige-Einheit in die zugehörige Winkelposition und Entfernungsmessung in dieser Position erfolgt. Sobald Objekte oder Teile davon konstruiert sind, werden diese in der gleichen Ansichtsprojektion dargestellt, wodurch der Nutzer sehr leicht die Deckungsgleichheit beider Darstellungen im Bild kontrollieren kann.

[0032] Es ist ein automatischer Aufnahmemodus vorgesehen, in dem die Winkelkoordinaten für die Entfernungsmessung nicht vom Bediener vorgegeben werden müssen, sondern in gleichmäßigen Abständen über eine Linie, Kurve oder Fläche verteilt vorgenommen wird, oder generell ein Punkte-Raster im Umfeld des Beobachtungspunktes aufgezeichnet wird. Besonders für einfachere Objekträume, z. B. Rohbauten oder leere Räume nach dem Entkernen, ist es damit möglich, schnelle Aufnahmen ohne qualifizierte Nutzereingaben vor Ort durchführen und erst später in der beschriebenen Weise durch Zuweisung von Punkten zu Objekten die Modellierung vornehmen zu können.

[0033] Es ist ein spezieller Arbeitsmodus vorgesehen, bei dem der Entfernungsmesser motorisch auf eine mittels Pointer im Display-Bild markierte Winkelposition gefahren wird und diese Position dann im Objektraum mit seinem Leuchtpunkt markiert, so dass dieser zur Bearbeitung, z. B. zum Anbringen einer Bohrung, angerissen werden kann. Dabei kann das Panorama-Bild oder die projizierte Objektdarstellung mit Marken als Orientierung verwendet werden. Ebenso können numerisch vorgegebene Koordinaten angesteuert und im Objektraum markiert werden.

[0034] Es ist ein Anzeigemodus vorgesehen, in dem der Mittelpunkt des angezeigten Bildausschnitts stets auf die aktuelle Winkelposition des Entfernungsmessers synchronisiert wird, so dass der gerade vermessene Punkt in der Bildmitte liegt.

[0035] Es ist vorgesehen, einzelne Objekte nicht nur zu Gruppen zu verknüpfen, sondern auch voneinander zu subtrahieren. So ist es sehr vorteilhaft, Durchbrüche durch Flächen, wie z. B. Fenster und Türen in Wandflächen, oder Hohlräume, wie Bohrungen, Kanäle u. dgl., in solche Flächen- oder Volumenelemente einzufügen, nachdem das Objekt zunächst vereinfacht beschrieben wurde.

[0036] Es ist ein Modus zur automatischen Identifizierung von Zielmarken im Bild nach bekannten Verfahren vorgesehen, z. B. um Referenz- oder Passermarken automatisch aufzufinden und deren Koordinaten zu übernehmen, bzw. nachzumessen. Auf diese Weise ist eine automatische äußere Orientierung der Messanordnung gegeben. Weiterhin dienen solche Marken zur Orientierung benachbarter Standorte bei Anschlussmessungen.

[0037] Für ein flüssiges Arbeiten sind Tastaturbefehle zum schnellen Umschalten von Darstellungs-Maßstäben und zum schnellen Ein- und Ausblenden des Bildes und der einzelnen Objekte oder Objektgruppen vorgesehen.

[0038] Über die beschriebene Benutzung des Panorama-Bildes als „Konstruktionsvorlage“ hinaus ist es

weiterhin vorgesehen, Bildmerkmale nach bekannten Methoden der Bildverarbeitung automatisch auszuwerten und diese wechselseitig mit den im Modellraum entstehenden Objekten abzugleichen, um selbstständig, also ohne direkten Eingriff des Bedieners, Unklarheiten oder Ungenauigkeiten abzuklären, Objektkanten nachzuzustieren oder den Detailreichtum des Modells zu verbessern. Für die Ausführung solcher automatischer Funktionen werden vorzugsweise Wartezeiten des Systems auf Nutzereingaben genutzt.

[0039] Werden im Arbeitsprozess Objekte modelliert, die auch in anderen Projekten wiederverwendbar sind, so können diese in einer Objekt-Datenbank gespeichert und vom Anwendungsprogramm als weiterer Objekttyp sofort abgerufen werden.

[0040] Es ist vorgesehen, bereits maßlich aufbereitete Objekte oder komplexe Objektgruppen kopieren und im Raum verschieben, drehen oder spiegeln zu können. Diese Funktionen dienen zu einer schnelleren Modellierung von sich wiederholenden Elementen des Originals. Gehören z. B. zu einem zu modellierenden Gebäude mehrere ähnliche Säulen mit Sockeln und Stuckatur, so wird nur eine davon komplett modelliert, während die übrigen aus der ersten dupliziert und mit einigen zusätzlich zu vermessenden Koordinaten als Fangpunkte einjustiert werden. Auch hier sind Bildmerkmale verwendbar, um diesen Prozess zusätzlich zu automatisieren. Dieses Multiplizieren von Objektmerkmalen wird auch dann verwendet, wenn eine Anzahl ähnlicher Objekte vorhanden, in keinem aber vollständig sichtbar sind. Als Beispiel sei eine Vielzahl gleichartiger Fenster in einer Fassade genannt, die für einen zentralen Beobachtungspunkt unterschiedlich perspektivisch abgeschattet werden. Hier werden die Merkmale jeder Einzelinstanz ähnlicher Objekte gesammelt und dann auf alle angewendet.

[0041] Es ist vorgesehen, global oder individuell gültige Toleranzgrenzen für die Abweichung von idealisierten Objekten durch Nutzereingabe vorzugeben, die dann eine automatisch ablaufende Plausibilitätsprüfung die Zugehörigkeit von Oberflächenpunkten zum jeweiligen Objekt prüfen. Sind Form und Lage von Objekten aufgrund der Anzahl gemessener Oberflächenpunkte überbestimmt, so erfolgt dann, je nach Prüfergebnis, die Festlegung der Objektparameter nach dem kleinsten Fehlerquadrat oder das Objekt wird in Elemente zerlegt, die dann einzeln mit Hilfe von gemessenen Oberflächenpunkte weiter spezifiziert werden. Hierfür ist auch vorgesehen, nach hierdurch entstehendem zusätzlichem Informationsbedarf weitere Oberflächenpunkte automatisch anzufahren und zu vermessen.

[0042] Immer dann, wenn vom Entfernungsmesser gleichzeitig mehrere Messpunkte anzufahren und zu

vermessen sind, wird die Reihenfolge nach dem Prinzip der kürzesten Wege optimiert.

[0043] Anhand von Ausführungsbeispielen soll die Erfindung nachstehend erläutert werden.

[0044] Es zeigen beispielhaft:

[0045] [Fig. 1](#) den Gesamtaufbau einer Aufnahmeanordnung nach einem ersten Beispiel,

[0046] [Fig. 2](#) den Gesamtaufbau einer Aufnahmeanordnung nach einem zweiten Beispiel,

[0047] [Fig. 3](#) die funktionelle Struktur eines vollständigen Aufnahmesystems,

[0048] [Fig. 4](#) den Arbeitsablauf vor Ort bei Einsatz einer Kamera und

[0049] [Fig. 5](#) den Ablauf des Hintergrundprozesses zur Akquisition der jeweiligen Entfernungsinformationen für vorgegebene Winkelkoordinaten. Gleiche Positionszahlen in verschiedenen Zeichnungen bezeichnen gleiche Elemente.

[0050] Ein erstes Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) zeigt eine Aufnahmeanordnung ohne Darstellung des damit verbundenen Rechners, der ein Personalcomputer in bekannter Ausführung sei. An einem Hauptrahmen **1** befinden sich ein auf vorgegebene Drehwinkel positionierbarer Präzisionsantrieb **2** für den Horizontalwinkel und ein ähnlicher Präzisionsantrieb **3** für den Vertikalwinkel, der den Instrumententräger **4** antreibt. Im Befestigungsfuß **5**, der zur Befestigung der gesamten Anordnung auf einem Messstativ dient, befindet sich zusätzlich eine Bremse zur Arretierung des Horizontalwinkels während der Messung. Der gesamte Aufbau wird also gegenüber einer Fußscheibe horizontal geschwenkt, während der Instrumententräger gegenüber dem Hauptrahmen geneigt wird. Am Instrumententräger sind eine Zeilenkamera **6**, sowie ein optoelektronischer Entfernungsmesser **7** befestigt. Die optischen Achsen beider Instrumente sind zueinander Parallel. Über einen Spiegel **8** und einen halbdurchlässigen Spiegel **9** werden beide Strahlengänge in einer gemeinsamen optischen Achse **10**, die durch den Schnittpunkt der beiden Drehachsen der Antriebe **2** und **3** verläuft, vereint. Darüber hinaus befindet sich der Nodalpunkt der Zeilenkamera ebenfalls genau in diesem Schnittpunkt – hier nicht besonders dargestellt. Der Vorteil dieser Anordnung gegenüber dem nachfolgend beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel besteht darin, dass die Bildaufnahme gleichzeitig mit der Entfernungsmessung erfolgen kann, so dass der Lichtfleck des Entfernungsmessers von der Kamera mit abgebildet und mittels Differenzbildwiedergabe mit ein- und ausgeschaltetem Laser selektiert werden kann. Außerdem kann diese Anordnung zu einer

kompakteren Konstruktion des beweglichen Apparateiles führen. In einer Ausgestaltung dieses Ausführungsbeispiels wird der halbdurchlässige Spiegel **9** durch einen normalen Spiegel, jedoch mit einer motorisch angetriebenen Klapp- oder Schwenkvorrichtung ersetzt, so dass der Strahlengang alternativ auf die Kamera oder den Entfernungsmesser umgeschaltet werden kann. Neben der Zeilenkamera sind LED-Blitzleuchten **11** mit einer Zylinderoptik dargestellt, die bei nicht ausreichenden Lichtbedingungen zur streifenweisen Beleuchtung des Objektraumes im Aufnahmebereich der Kamera dienen. Dabei werden die Blitzleuchten synchron mit der Zeilenaufnahme der Kamera angesteuert. Am Hauptrahmen sind weiterhin eine Steuerungseinheit **12** und ein Wechsel-Akkumulator **13** zur zentralen Stromversorgung des Gerätes befestigt. Die Steuerungseinheit stellt das zentrale Interface zum hier nicht dargestellten Rechner bereit und kommuniziert über einen lokalen Datenbus mit den Antrieben, dem Entfernungsmesser, der Kamera und den Blitzleuchten. Alternativ ist eine drahtgebundene Kommunikation mit dem Rechner über eine serielle Datenschnittstelle oder eine drahtlose Kommunikation über die Antenne **14** wählbar. In jedem der beschriebenen Module ist ein eigenes Mikrocontroller-System enthalten, das Befehle von der Steuerungseinheit **12** über den lokalen Datenbus selbsttätig ausführt, und Informationen zurücksendet. In einem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) wird auf Umlenkspiegel verzichtet. Statt dessen sind Kamera und Entfernungsmesser in einem rechten Winkel zueinander befestigt. Hierdurch werden weniger konstruktive Elemente als im ersten Beispiel benötigt und es muss keine Empfindlichkeits- oder Reichweiteneinschränkung aufgrund der Spiegel hingenommen werden. Durch einen Offset von 90° auf den Vertikalwinkel ist es möglich, den Entfernungsmesser genau in die gleiche Winkelposition zu fahren, aus der vorher die Zeilenkamera ihre Aufnahme durchführte. Eine gleiche Anordnung ist auch möglich, wenn anstelle der Zeilenkamera eine Matrixkamera zum Einsatz kommt. [Fig. 3](#) beschreibt die Struktur und das funktionelle Zusammenwirken eines Aufnahmesystems als Ausführungsbeispiel in erfindungsgemäßer Ausführung. Es besteht aus einer Aufnahme- und Messeinheit, die mechanisch dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) oder [Fig. 2](#) oder einer ähnlichen erfindungsgemäßen Ausführung entsprechen kann, und einer Steuereinheit, z. B. in Form eines herkömmlichen Personalcomputers, bzw. Laptops. Für das hohe Datenaufkommen der Kamera ist hier ein eigener Datenkanal vorgesehen. [Fig. 4](#) beschreibt beispielhaft den Arbeitsablauf vor Ort während der Aufnahme unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Anordnung. Zunächst wird in **21** das Vermessungsfeld um den Standort der Vermessungseinrichtung herum fotografisch aufgezeichnet und in ein Panoramabild überführt. Jede Pixelposition dieses Bildes korrespondiert dabei mit den polaren Winkelkoordinaten des mathematisch-geome-

trischen Koordinatensystems, welches der gesamten Vermessung zugrunde liegt, und in seiner Lage und Ausrichtung mit der Schwenk-Neige-Vorrichtung übereinstimmt. In **22** wird vom Anwender ein Objekttyp, der das nächste im Messfeld zu erfassende reale Objekt in seiner Beschaffenheit geometrisch am besten beschreibt, aus einer Reihe vordefinierter Typen manuell ausgewählt, und somit dem virtuellen Modell eine Instanz dieses Typs hinzugefügt. Anschließend werden in **23** Punkte im Panoramabild definiert, die der Oberfläche der neuen Objektinstanz angehören. Diese Punkte können sowohl teilweise automatisch aufgrund kausaler, der Algorithmik bereits bekannter, Zusammenhänge bzw. bekannter Verfahren der Bildverarbeitung, wie auch durch Nutzereingabe, z. B. mittels Pointer, definiert werden. Die neu erzeugten, und der Objektinstanz zugehörigen Punkte lassen sich ihren jeweiligen polaren Koordinaten – zunächst ohne Radius – direkt zuordnen, und werden in **24** einer Liste der vom Entfernungsmesser zu vermessenden Raumpunkte hinzugefügt. Diese Liste wird durch einen weiteren asynchronen im Hintergrund laufenden Prozess gemäß [Fig. 5](#) bereits während der Auswahl weiterer Punkte abgearbeitet. Hat der Anwender dem Modell keine weiteren Messpunkte oder Objektinstanzen hinzuzufügen, muss er in **25** abwarten, bis der Hintergrundprozess die Vermessung aller in der Liste aufgeführten Koordinaten abgeschlossen hat. Ist die Vermessung vorläufig abgeschlossen, werden in **26** die errechneten Modellparameter mit den Toleranzvorgaben des Nutzers verglichen. Sind diese nicht hinreichend erfüllt, werden weitere Messpunkte den betreffenden Objektinstanzen hinzugefügt und vermessen. Wurden alle realen Objekte der Umgebung, welche für den Anwender von Interesse sind, geometrisch erfasst (**27**), und erfüllen alle die vom Anwender vorgegebenen Toleranzgrenzen, so wird in **28** die aufgezeichnete fotografische Abbildung nach bekannten Verfahren in Segmente anhand der Modellgeometrie zerlegt. Diese Segmente werden den jeweiligen Modelloberflächen als sog. Texturen, welche die Farbe einzelner Oberflächenpunkte der jeweiligen geometrisch definierten Modellfläche beschreiben, zugewiesen.

[0051] [Fig. 5](#) beschreibt beispielhaft den Ablauf des Hintergrundprozesses zur Akquisition der jeweiligen Entfernungsinformationen für vorgegebene Winkelkoordinaten. Dieser Prozess läuft ständig, und vom Anwender unabhängig. Die vorgegebenen Winkelkoordinaten entspringen dem in [Fig. 4](#) dargestellten Verfahren, und werden in dieser Ausführung zweckmäßig in einer Datenstruktur des Typs Schlange, technisch auch als First-In-First-Out (FIFO) bezeichnet, geführt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 202007010475 U [[0005](#), [0005](#), [0006](#),
[0007](#), [0008](#)]
- DE 19648626 A [[0005](#), [0007](#), [0007](#)]
- DE 10308525 A [[0006](#)]

Schutzansprüche

1. Aufnahmeanordnung zur Gewinnung geometrischer und photometrischer Objektdaten mit motorisch angetriebener und auf Ziel-Winkelkoordinaten verdrehbarer Schwenk-Neige-Einheit und einer mit dieser mechanisch verbundenen optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schwenk-Neige-Einheit mit einer Zeilenkamera so verbunden ist, dass diese wenigstens in einer deren Drehachsen mit bewegt wird.

2. Aufnahmesystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Achse der Entfernungsmesseinrichtung mit der optischen Achse der Zeilenkamera gleichzeitig oder zeitlich versetzt in Übereinstimmung gebracht werden kann, indem
 – erstens beide optische Achsen die beiden Drehachsen der Schwenk-Neige-Einheit in ihrem Schnittpunkt schneiden und
 – zweitens entweder die Entfernungsmesseinrichtung mit Ihrem Objektiv in einem bekannten Winkel zur optischen Achse der Zeilenkamera ausgerichtet ist, oder beide Objektive über optische Umlenkeinrichtungen dauerhaft oder zeitlich versetzt auf eine gemeinsamen Einfallsrichtung ausgerichtet sind.

3. Aufnahmesystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Lichtquelle mit Projektionsoptik, die ein linear und parallel zum Zeilensensor der Zeilenkamera ausgerichtetes Leuchtband erzeugt, so mit der Zeilenkamera verbunden ist, dass sie alle Schwenk- und Neigebewegungen der Kamera gemeinsam mit dieser ausführt und ihr Licht in den gleichen Objektbereich projiziert, der von der Zeilenkamera gerade abgebildet wird.

4. Aufnahmesystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Achsenantriebe der Schwenk-Neige-Einheit, die Entfernungsmesseinrichtung und die Zeilenkamera mittel- oder unmittelbar mit einem gemeinsamen Rechner, der weiterhin ein Display, einen Pointer und eine Tastatur enthält, verbunden sind.

5. Aufnahmeanordnung zur Gewinnung geometrischer und photometrischer Objektdaten mit motorisch angetriebener und auf Ziel-Winkelkoordinaten verdrehbarer Schwenk-Neige-Einheit, einer mit dieser mechanisch verbundenen elektronischen Bildaufnahmekamera und einer ebenfalls mit dieser mechanisch verbundenen optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass eine in diese integrierte Software folgende Verarbeitungsschritte realisiert, die auch in zeitlich oder organisatorisch getrennten Arbeitsetappen oder in anderer Reihenfolge ablaufen können:

1) Deklaration von Modellobjekten innerhalb einer Klassenhierarchie aus Objekttyp, einer Objektinstanz und, wenn notwendig, einem Punkttyp zu diesem Ob-

jekt, äquivalent zu geometrischen Elementen im Objektraum, mittels Nutzereingabe in einen Rechner;

2) Auswahl einer Anzahl von Oberflächenpunkten auf den Elementen im Objektraum durch den Nutzer als Menge von Einzelpunkten oder als Regel für eine solche Auswahl;

3) Aufeinander folgendes Anpeilen der ausgewählten Oberflächenpunkte von einem Beobachtungspunkt aus mit einer in Winkelmaßen geeichten Schwenk-Neige-Einheit und damit mechanisch verbundener Entfernungsmesseinrichtung und Übernahme der vollständigen Polarkoordinaten, also Horizontalwinkel, Vertikalwinkel und Abstand, in den Rechner bei gleichzeitiger Zuordnung dieser Koordinaten zu den in 1) deklarierten Modellobjekten, mit dem Ziel einer klassifizierend strukturierten Speicherung der Punkte-Koordinaten;

4) Berechnung von Abmessungen und Lage der Modellobjekte aus den diesen zugeordneten Punkte-Koordinaten als Repräsentation der Oberflächenpunkte der Modellobjekte;

5) Behandeln von Objektkorrespondenzen, wie Verdeckungen, Durchdringungen oder Schnittkanten, und Modellierung von Objektgruppen und Szenen.

6. Aufnahmeanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie zusätzlich zu den genannten Verarbeitungsschritten für eine winkeltreue Bildaufnahme, insbesondere Panoramabildaufnahme, des interessierenden Messbereichs aus dem Beobachtungspunkt heraus geeignet ist, die als gesamtes Bild oder Teilbild unter Wahrung einer exakten und eindeutigen Zuordnung zwischen den Punktkoordinaten der Bildanzeige und den Winkelkoordinaten im Objektraum auf einem Display angezeigt wird, so dass die Zielwinkel für die Koordinatenbestimmung im Objektraum durch Auswahl mit dem Pointer auf dem Display erfolgen kann, wonach die motorisch angetriebene Schwenk-Neige-Einheit in diese Winkelposition gefahren und der Abstand vom Beobachtungspunkt in dieser Winkelposition gemessen werden kann.

7. Aufnahmeanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass photometrische Bildinformationen, wie Gradation, Unstetigkeiten und Kanten, zum automatischen Finden oder Kontrollieren von Objektmerkmalen genutzt werden, um eine automatisierte Dateneingabe, Modellkorrektur und/oder ein reduziertes Aufkommen erforderlicher Messdaten zu erreichen.

8. Aufnahmeanordnung nach Ansprüchen 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die gewonnene Bildinformation zur maßgetreuen Texturierung und zur fotorealistischen Darstellung des räumlichen Modells verwendet wird.

9. Aufnahmeanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zueinander ähnliche räumliche

Objekte im Aufnahmebereich durch Kopieren, ggf. auch Zwischenspeichern, und Anpassen an die Bildvorlage dupliziert und somit wiederverwendet werden.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

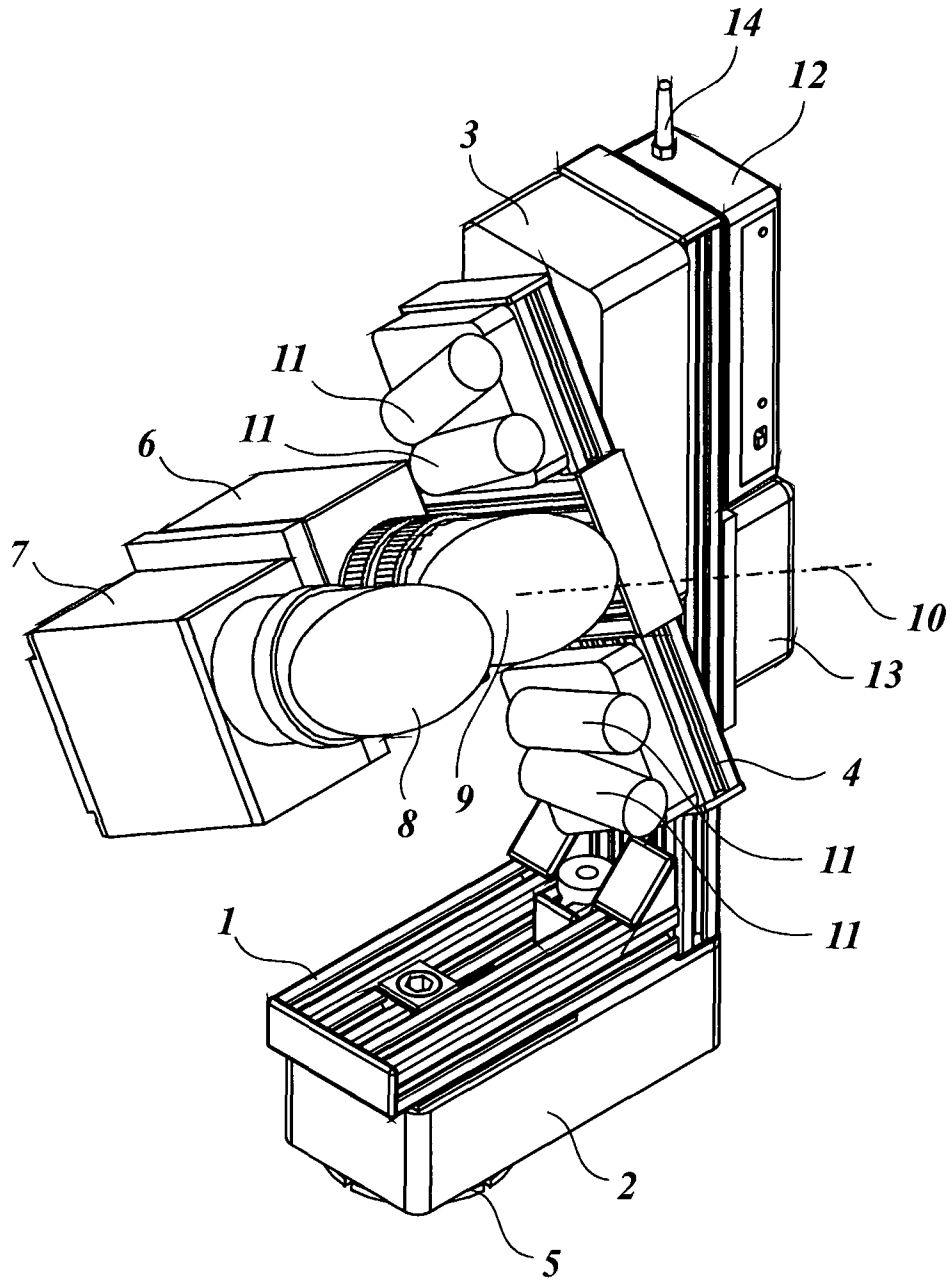


Fig. 1

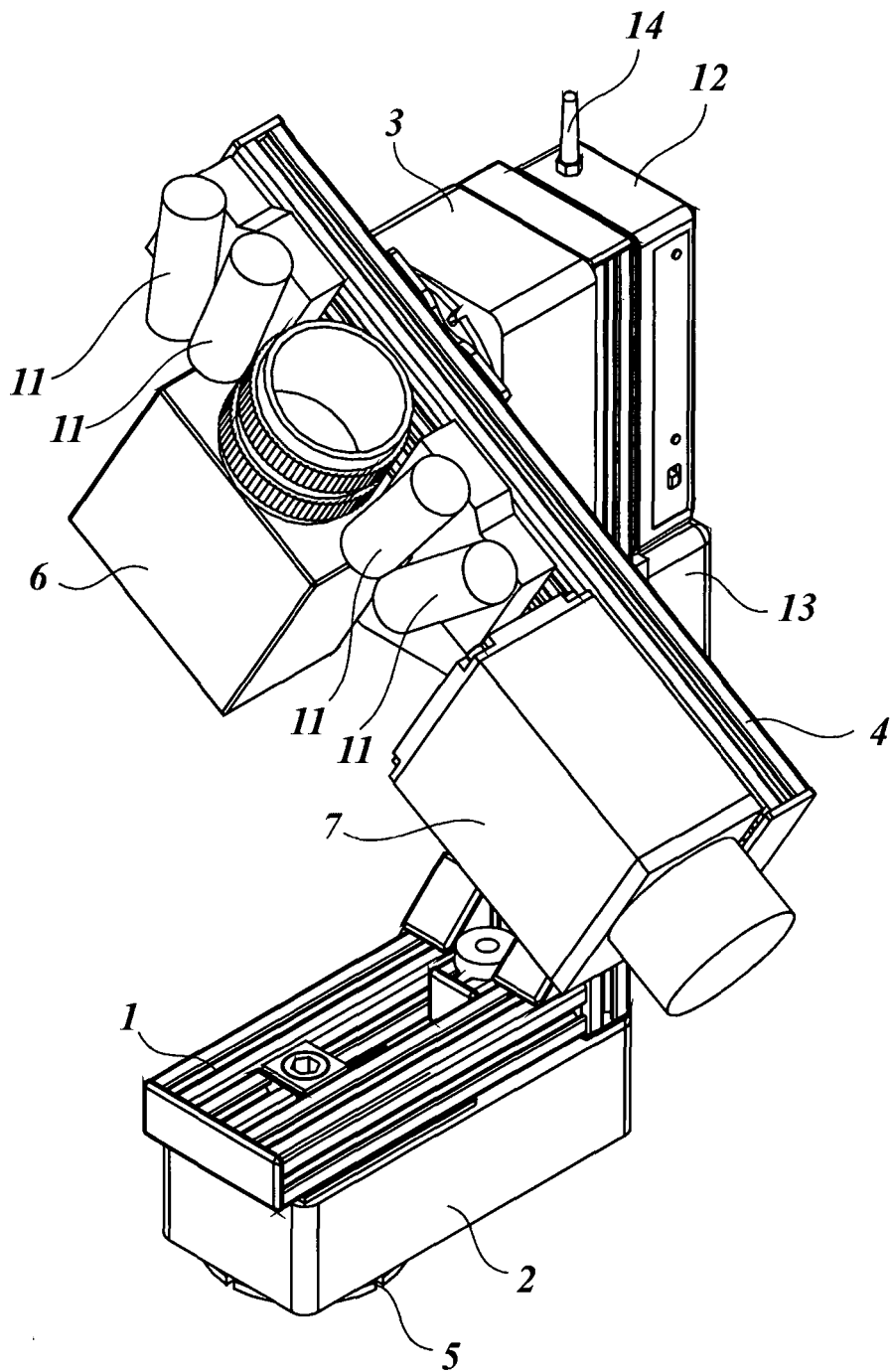


Fig. 2

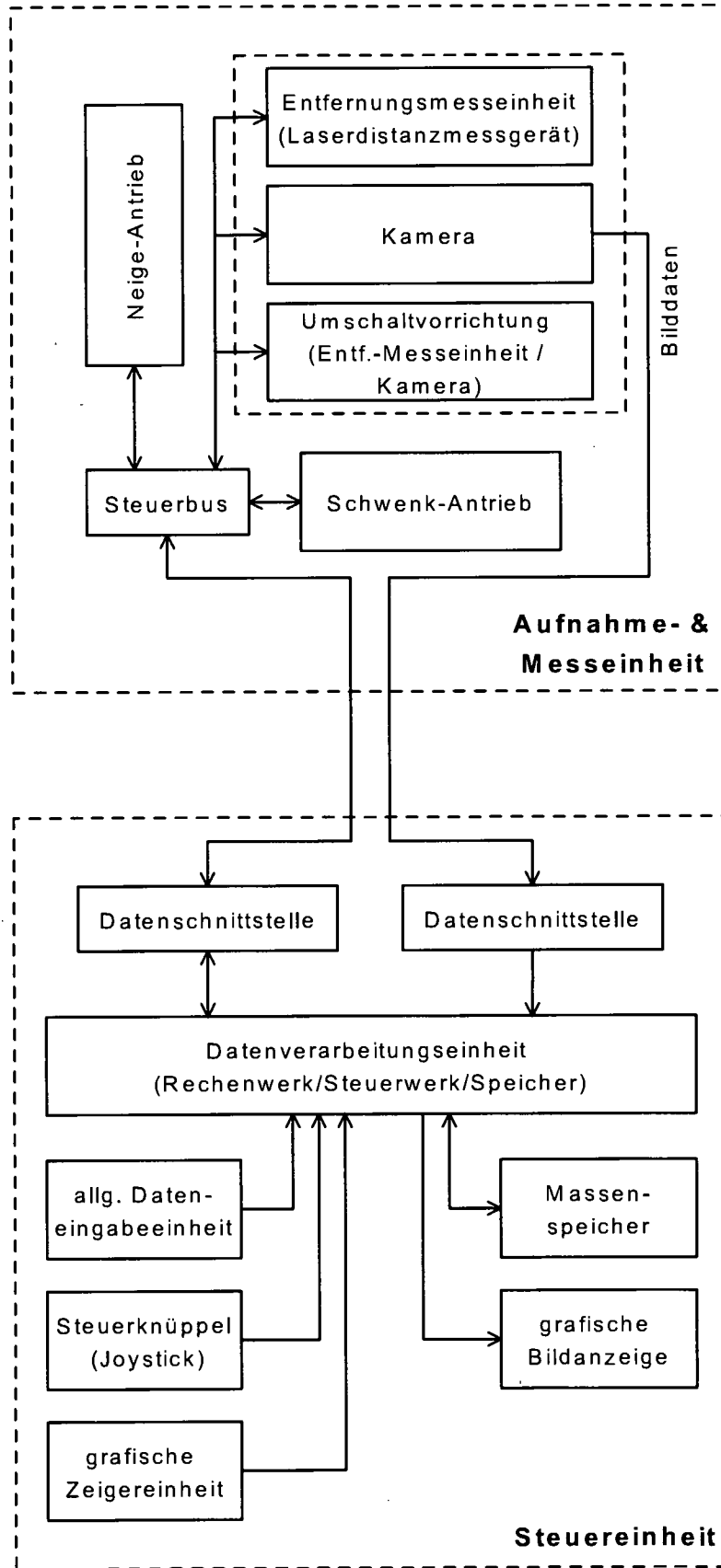


Fig. 3

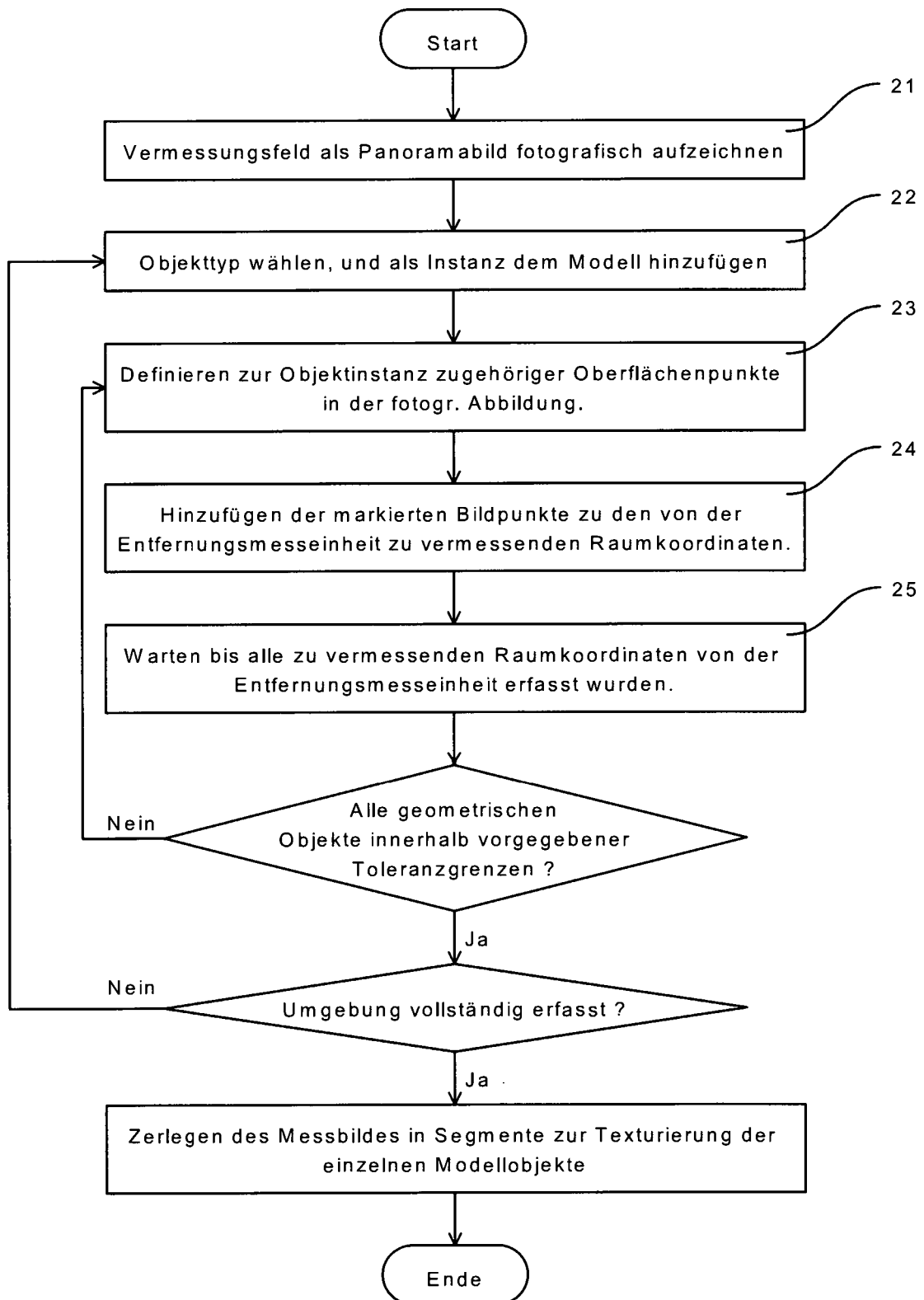


Fig. 4

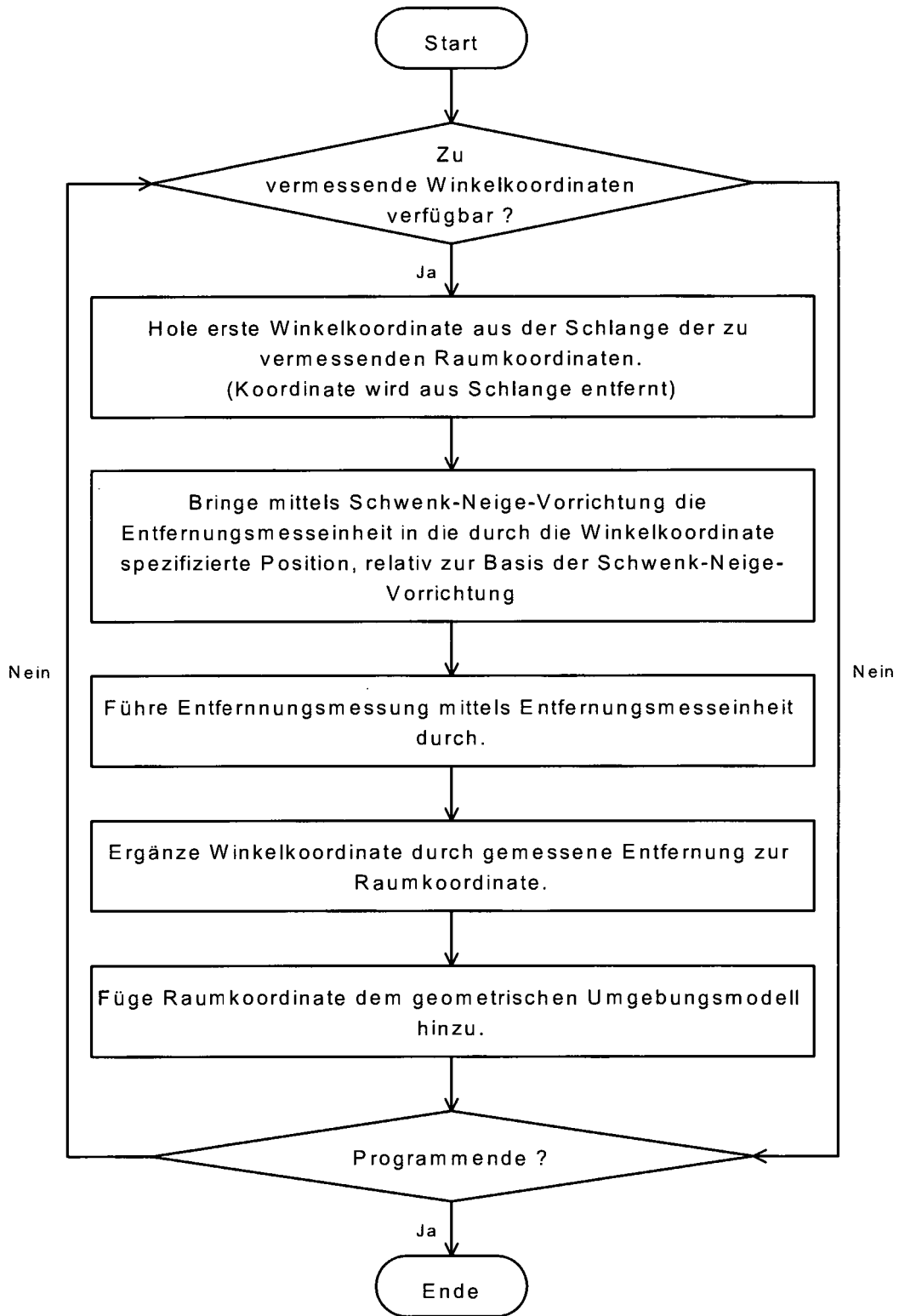


Fig. 5