



(10) **DE 11 2016 001 150 T5 2018.06.21**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/169790**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 001 150.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2016/057746**
(86) PCT-Anmeldetag: **08.04.2016**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.10.2016**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **21.06.2018**

(51) Int Cl.: **G06T 7/00 (2017.01)**

(30) Unionspriorität:
15164760.9 23.04.2015 EP

(74) Vertreter:
Bobbert, Christiana, Dr., 90411 Nürnberg, DE

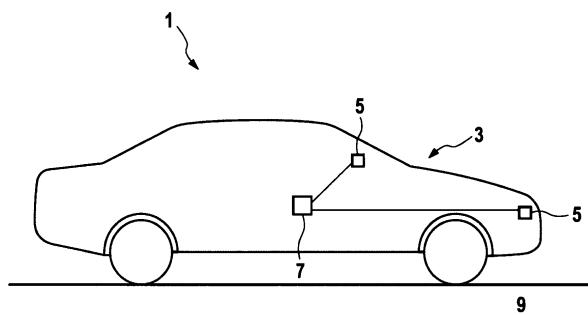
(71) Anmelder:
**Application Solutions (Electronics and Vision)
Ltd., Lewes, East Sussex, GB**

(72) Erfinder:
**Guerreiro, Rui, Hove, GB; Panakos, Andreas,
89231 Neu-Ulm, DE; Silva, Carlos, Eastbourne,
GB; Yadav, Dev, Abingdon, GB**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **SCHÄTZUNG EXTRINSISCHER KAMERAPARAMETER ANHAND VON BILDLINIEN**

(57) Zusammenfassung: Die Anmeldung stellt ein Verfahren zum Kalibrieren von wenigstens zwei Kameras eines Fahrzeugs bereit. Das Fahrzeug weist einen Bezugsrahmen auf. Das Verfahren umfasst ein Aufnehmen eines Bildes einer Szene durch jede Kamera. Dann wird anhand von Merkmalen des Bildes die Bodenebene des Fahrzeugs bestimmt. Später wird ein Ursprungspunkt des Fahrzeug-Bezugsrahmens als auf der bestimmten Bodenebene befindlich definiert. Danach wird eine Translation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen des Kamera-Bezugsrahmens mit dem Fahrzeug-Bezugsrahmen bestimmt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft die Kamerakalibrierung. Insbesondere betrifft sie ein Verfahren zum Bestimmen extrinsischer Kalibrierungsparameter einer Kamera.

[0002] Eine Digitalkamera weist eine optische Linse und einen eine Mehrzahl von Pixelsensoren umfassenden Bildsensor auf. Die optische Linse wird zum Empfangen von Lichtstrahlen von einem vor der Kamera angeordneten Objekt verwendet. Die optische Linse lässt die Lichtstrahlen die optische Linse passieren, damit diese zu dem Bildsensor weitergehen.

[0003] Es werden Kalibrierungsparameter verwendet, um Eigenschaften der Kamera zu beschreiben. Diese Kalibrierungsparameter umfassen intrinsische Parameter und extrinsische Parameter.

[0004] Die extrinsischen Parameter werden verwendet, um eine Translation und eine Rotation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen der Position und der Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit der Position und der Ausrichtung eines bekannten Bezugsrahmens der Welt zu definieren. Bei der Welt handelt es sich um einen Bereich, in dem die Kamera sich befindet. Die Werte der extrinsischen Parameter ändern sich entsprechend einer Verwendung oder Anwendung der Kamera.

[0005] Was die intrinsischen Parameter anbelangt, wirken sie dahingehend, Pixelkoordinaten eines Bildes des Bildsensors mit entsprechenden Koordinaten des Kamera-Bezugsrahmens zu verknüpfen oder diesen zuzuordnen. Bei den Koordinaten handelt es sich häufig um einen Satz von Zahlen zum Beschreiben einer Position. Faktisch setzen die intrinsischen Parameter Koordinaten von Lichtstrahlen an der optischen Linse mit entsprechenden Koordinaten eines Pixelsensors des Bildsensors in Beziehung.

[0006] Allgemein handelt es sich bei den Lichtstrahlen um elektromagnetische Strahlung, die sichtbar oder unsichtbar sein kann. Ein Beispiel der unsichtbaren Lichtstrahlen sind Infrarotlichtstrahlen.

[0007] Dieses Zuordnen zwischen den Pixelkoordinaten des Sensorbildes und den Koordinaten des Kamera-Bezugsrahmens, das durch die intrinsischen Parameter definiert wird, ist, wenn die optische Linse der Kamera in Form einer Weitwinkellinse vorgesehen ist, häufig nicht linear. Die Weitwinkellinse wird auch als Fischauge linse bezeichnet. Die intrinsischen Parameter, die in einem Werk definiert werden, in dem die Kamera hergestellt wurde, weisen häufig feste Werte auf, die in einer Speichereinheit der Kamera gespeichert sind.

[0008] Die intrinsischen und extrinsischen Parameter werden zusammen verwendet, um eine Koordinate eines Punkts in der Welt mit einer Koordinate eines entsprechenden Punkts im Bildsensor der Kamera in Beziehung zu setzen.

[0009] Nachstehend wird ein Verfahren zum Bestimmen extrinsischer Parameter einer Kamera beschrieben. Das Verfahren umfasst einen Schritt des Erkennens eines Bildes eines Kalibrierungsziels durch einen Bildsensor der Kamera. Das Ziel weist üblicherweise eine vorgegebene Geometrie auf, was eine leichtere Erkennung des Ziels ermöglicht. Das Ziel kann unter Verwendung von Modellanpassungstechniken aus dem Bild erkannt werden.

[0010] Andere Vorgehensweisen zum Bestimmen der extrinsischen Kameraparameter umfassen ein Einanderzuordnen von Merkmalen mehrerer Bilder von verschiedenen Kameras oder Einanderzuordnen von Merkmalen mehrerer Bilder von einer sich bewegenden Kamera.

[0011] Nachstehend werden mehrere Veröffentlichungen zum Thema Kamerakalibrierung beschrieben.

[0012] Die Beschreibung umfasst eine Kennzeichnung durch eine in einem Paar Klammern eingeschlossene Kennziffer. Ein derartiges Referenzdokument kann beispielsweise durch die Formulierung „Referenzdokument [1]“ oder einfach durch „[1]“ angegeben sein. Mehrere Referenzdokumente werden durch ein Paar Klammern angegeben, das mehr als eine Kennziffer umschließt, beispielsweise „[2, 4]“. Eine Auflistung der jeder Kennziffer entsprechenden Veröffentlichungen findet sich am Ende der Beschreibung der Veröffentlichungen.

REFERENZDOKUMENTE

[1] Joao P. Barreto. „A Unifying Geometric Representation for Central Projection Systems“, Computer Vision and Image Understanding, 103(3), Seiten 207-217. September 2006.

[2] FA Andaló, G Taubin, S Goldenstein. „Detecting vanishing points by segment clustering on the projective plane for singleview photogrammetry“. Information Forensics and Security (WIFS), IEEE International Workshop, 2010.

[3] E. Lutton, H. Maitre, J. Lopez-Krahe. „Contribution to the Determination of Vanishing Points Using Hough Transform“. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence archive, 1994.

[4] P. Palmer und A. Tai. „An Optimised Vanishing Point Detector“, British Mach. Vis. Conf., 1993, Seiten 529-538.

[5] Joao P. Barreto und Kostas Daniilidis. „Wide Area Multiple Camera Calibration and Estimation of Radial Distortion“. Int. Work. on Omnidirectional Vision, Camera Networks, and Nonclassical Cameras, Prag, Mai 2004.

[0013] Barreto [1] definiert eine vereinheitlichende geometrische Darstellung für Projektionssysteme mit einer einzigen wirksamen Perspektive, darunter Kombinationen aus Spiegeln und Linsen (katadioptrische) sowie nur aus Linsen mit oder ohne radiale Verzerrung (dioptrische Systeme).

[0014] Andaló et al. [2] stellen einen wirksamen Fluchtpunktdetektor vor, der ein einziges Bild verwendet. Das Verfahren wird für eine Architekturmgebung angewendet und ermittelt unter Verwendung eines automatischen Segment-Clustering die vertikale Richtung der Szene und die Fluchtlinie für die Bodenebene.

[0015] Lutton et al. [3] erkennen orthogonale Richtungen der Szene und lokale Fluchtpunkte. Der Algorithmus basiert auf zwei aufeinanderfolgenden Hough-Transformationen.

[0016] Palmer et al. [4] zeigen eine Erkennung von Liniensegmenten in der Szene unter Verwendung eines klassischen Hough-Transformations-Algorithmus. Die Fluchtpunkte in dem Bild werden unter Verwendung eines glatten Voting-Kerns bei der Akkumulation aus den Linienschwipspunkten bestimmt, und es ist ein nachfolgender Prozess vorgesehen, um Abtastfehler in dem Fluchtpunktakkumulator zu bereinigen.

[0017] Barreto et al. [5] stellen ein Beispiel eines Verfahrens zum Kalibrieren von über einen weiten Bereich verteilten Kameras vor. Die Entsprechungen zwischen Perspektiven sind Punkte, die durch Bewegen einer LED in verschiedene Positionen vor den Kameras erhalten werden. Das Verfahren ermittelt über mehrere Perspektiven hinweg gleichzeitig die Projektionsmatrix und die radiale Verzerrung.

[0018] Es ist eine Aufgabe dieser Anmeldung, ein verbessertes Verfahren zum Bestimmen von Kalibrierungsparametern einer Kamera bereitzustellen.

[0019] Diese Kalibrierungsparameter umfassen intrinsische Parameter und extrinsische Parameter, und sie werden verwendet, um Eigenschaften der Kamera zu beschreiben.

[0020] Die Anmeldung stellt ein Verfahren zum Kalibrieren von wenigstens zwei Kameras eines Fahrzeugs bereit. Das Fahrzeug wird zum Transportieren von Personen oder Gütern verwendet. Was die Kameras angeht, sind sie an Teilen des Fahrzeugs befestigt. Allgemein können sie an einer Front, Seiten oder einem Heck des Fahrzeugs angebracht sein. Die Kameras sind auch auf eine Szene eines Bereichs gerichtet, wobei das Fahrzeug derart angeordnet ist, dass durch die Kameras aufgenommene Bilder oder Aufnahmen gemeinsame Objekte aufweisen. Mit anderen Worten, die Bilder der Kameras überlappen sich.

[0021] Das Verfahren umfasst einen Schritt, in dem jede Kamera ein Bild einer Szene aufnimmt. Dieses Verfahren benötigt im Unterschied zu anderen Verfahren lediglich ein Kamerabild, um zu funktionieren.

[0022] Dann wird anhand von Merkmalen des Kamerabildes eine Bodenebene des Fahrzeugs bestimmt. Bei der Bodenebene handelt es sich um den Boden, auf dem das Fahrzeug steht. Der Boden trägt das Fahrzeug.

[0023] Dann wird ein Ursprungspunkt eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der bestimmten Bodenebene befindlich definiert. Der Fahrzeug-Bezugsrahmen kann drei orthogonale Achsen mit einem Schnittpunkt umfassen, wobei der Ursprungspunkt an dem Schnittpunkt angeordnet ist.

[0024] Allgemein wird der Bezugsrahmen auch als Bezug bezeichnet. Der Fahrzeug-Bezugsrahmen beschreibt eine Position und eine Ausrichtung des Fahrzeugs. Der Bezugsrahmen wird üblicherweise in Form eines Koordinatensystems bereitgestellt.

[0025] Danach wird eine Translation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens bestimmt. In einem Beispiel wirkt die Translation dahingehend, einen Ursprungspunkt des Kamera-Bezugsrahmens mit einem Ursprungspunkt des Fahrzeug-Bezugsrahmens in Übereinstimmung zu bringen.

[0026] Diese Bestimmung der Translation des Kamera-Bezugsrahmens wird dann anhand eines Bildes eines Kalibrierungsziels der Kamera und eines Bildes des Kalibrierungsziels einer oder mehrerer anderer Kameras durchgeführt. Diese anderen Kameras sind in der Nähe der ersten Kamera vorgesehen.

[0027] Die anfänglichen oder früheren Positionen der Kamera in dem Fahrzeug sind häufig bekannt.

[0028] Dieses Verfahren stellt verschiedene Vorteile bereit.

[0029] Dieses Verfahren benötigt nur ein einziges Einzelbild eines Bildes der Szene von jeder Kamera, um die extrinsischen Kameraparameter zu bestimmen oder zu berechnen. Dies ist anders als bei anderen Verfahren, die mehrere Bilder von einer Kamera verwenden, um von diesen mehreren Bildern Kamerakalibrierungsparameter abzuleiten, was kompliziert ist. Es mag noch praktikabel sein, aus diesen mehreren Bildern Kamerapositionsinformationen zu bestimmen, aber es ist schwierig, aus diesen Bildern Informationen bezüglich des Kameraskalierungsfaktors zu bestimmen.

[0030] Dieses Verfahren kann auch in Echtzeit funktionieren, da es nur ein einziges Einzelbild benötigt. Die Informationen bezüglich des Kameraskalierungsfaktors können durch die Kenntnis der Kameraposition in einem Rundumsichtsystem bereitgestellt werden.

[0031] Dieses Verfahren wirkt auch dahingehend, eine Verschiebung der Kamera zu korrigieren. Mit anderen Worten, dieses Verfahren wird durch Änderungen oder Verschiebungen der Kameraposition nicht beeinflusst. Die Kameraposition kann sich aufgrund von Faktoren, wie etwa Verschleiß des Kameragehäuses und niedriger Fahrzeugreifendruck, ändern. Wenn die Kamera in einem Stoßfänger eines Autos eingebettet ist, kann sich die Kameraposition durch eine Kollision des Autos mit einem anderen Fahrzeug verschieben. Hingegen werden andere Verfahren, die feste Kalibrierungsziele verwenden, durch Änderungen von Kamerapositionen beeinflusst. Derartige Verfahren werden auch durch Änderungen von Positionen der Kalibrierungsziele beeinflusst. Selbst die Position eines Kalibrierungsziels, das durch Projizieren mittels eines Lasers bereitgestellt wird, kann sich im Laufe der Zeit ändern. Diese anderen Verfahren müssen dann in vorgegebenen Abständen erneut durchgeführt werden, um Änderungen der Kameraposition und Änderungen von Zielpositionen auszugleichen, und beanspruchen dadurch zusätzliche Ressourcen.

[0032] Allgemein kann dieses Verfahren auf ein Video oder Bildfolgen ausgeweitet werden.

[0033] Allgemein kann das Merkmal ein Pixel oder einen Punkt, eine Kante und/oder eine Linie des Bildes umfassen.

[0034] In ähnlicher Weise kann das Kalibrierungsziel ebenfalls ein Pixel oder einen Punkt, eine Kante und/oder eine Linie des Bildes umfassen.

[0035] Die Bestimmung der Bodenebene des Fahrzeugs kann einen Schritt des Bestimmens einer Höhe der Bodenebene umfassen. Da die Bodenebene üblicherweise horizontal ist, reicht die Höhe der Bodenebene aus, um die Bodenebene zu definieren.

[0036] Die Bestimmung der Bodenebene des Fahrzeugs kann unter Verwendung eines Hough-Akkumulator-Algorithmus erfolgen.

[0037] Der Hough-Akkumulator-Algorithmus kann einen Schritt des Auswählens einer Spitze eines Hough-Akkumulators und eines kleinsten Winkels zwischen einem Normalenvektor und einer Achse der Kamera umfassen.

[0038] Der Schritt des Bestimmens der Translation des Kamera-Bezugsrahmens kann einen Schritt des Einanderzuordnens der Bilder des Kalibrierungsziels von den Kameras unter Verwendung eines skalen- und rotationsinvarianten Zuordnungsalgorithmus und einen Schritt des Verwendens einer Fehlzuordnung im Rahmen des Einanderzuordnens der Kalibrierungsziele zum Bestimmen der aktuellen Position der Kamera umfassen.

[0039] Das Verfahren kann auch einen Schritt des Bestimmens einer Rotation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit einer Ausrichtung des Fahrzeug-Bezugsrahmens umfassen.

[0040] Diese Bestimmung der Rotation des Kamera-Bezugsrahmens wird häufig von einer anfänglichen extrinsischen Kalibrierung der Kameras des Fahrzeugs abgeleitet. Die anfängliche extrinsische Kamerakalibrierung kann in einem Werk erfolgen, in dem das Fahrzeug mit den Kameras hergestellt wurde.

[0041] Die Anmeldung stellt auch ein Computerprogrammprodukt bereit. Das Computerprogrammprodukt umfasst ein computerlesbares Speichermedium, in dem computerausführbare Programmcodeanweisungen gespeichert sind.

[0042] Die computerausführbaren Programmcodeanweisungen definieren einen Programmcode zum Empfangen eines Kamerabildes, zum Bestimmen einer Bodenebene eines Fahrzeugs anhand von Merkmalen des Kamerabildes, zum Definieren eines Ursprungspunkts eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der bestimmten Bodenebene befindlich und zum Bestimmen einer Translation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens.

[0043] Die Anmeldung stellt auch eine Kamerasteuereinheit bereit. Die Kamerasteuereinheit umfasst zwei oder mehr Kameraschnittstellen und einen Digitalprozessor.

[0044] Insbesondere ist jede Kameraschnittstelle zum Verbinden mit einer entsprechenden Kamera eines Fahrzeugs vorgesehen. Das Fahrzeug wird zum Transportieren von Personen oder Gütern verwendet. Die Kamera ist zum Aufnehmen wenigstens eines Bildes einer Szene vorgesehen.

[0045] Der Prozessor ist zum Verbinden mit den Kameraschnittstellen vorgesehen, um Bilddaten von den Kameraschnittstellen zu empfangen.

[0046] Bei Verwendung sind die Kameraschnittstellen zum Empfangen von Daten eines Bildes einer vor den Kameras befindlichen Szene ausgelegt oder ausgestaltet.

[0047] Der Prozessor ist zum Bestimmen einer Bodenebene des Fahrzeugs anhand von Merkmalen von Daten eines oder mehrerer Bilder einer Szene von der jeweiligen Kameraschnittstelle ausgelegt. Bei den Merkmalen kann es sich um einen Punkt, ein Pixel oder eine Linie des Kamerabildes handeln.

[0048] Der Prozessor definiert dann einen Ursprungspunkt eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der bestimmten Bodenebene befindlich. Der Boden stellt eine im Wesentlichen stabile und gleichbleibende Bezugsbasis für den Fahrzeug-Bezugsrahmen bereit, der stabiler oder gleichbleibender ist als das Fahrzeug. Das Fahrzeug kann sich beispielsweise aufgrund von Änderungen des Fahrzeugreifendrucks verschieben.

[0049] Der Prozessor bestimmt später eine Translation eines Bezugsrahmens einer Kamera, welche die Bilddaten bereitgestellt hat, zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens.

[0050] Die Bestimmung der Translation des Kamera-Bezugsrahmens wird anhand von Bilddaten eines Kalibrierungsziels von einer Kameraschnittstelle und anderen Bilddaten des Kalibrierungsziels von einer anderen Kameraschnittstelle durchgeführt. Jede Kameraschnittstelle ist mit einer Kamera verbunden, die an einem Fahrzeug installiert ist.

[0051] Nachstehend werden unterschiedliche Aspekte der Anmeldungen bereitgestellt.

[0052] Bei dem Merkmal kann es sich um ein oder mehrere Objekte handeln, die aus einer Gruppe ausgewählt sind, die aus einem Punkt, einer Kante oder einer Linie des Bildes besteht.

[0053] Der Prozessor ist ferner auch häufig zum Bestimmen der Bodenebene des Fahrzeugs unter Verwendung eines Hough-Akkumulator-Algorithmus ausgelegt.

[0054] In einem Aspekt der Anmeldung ist der Prozessor ferner zum Bestimmen einer Rotation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit einer Ausrichtung des Fahrzeug-Bezugsrahmens ausgelegt.

[0055] Die Anmeldung stellt auch ein Kameramodul bereit. Das Kameramodul umfasst zwei oder mehr Kameras und die vorstehend beschriebene Kamerasteuereinheit. Die Kameras sind zum Anbringen an einem Fahrzeug vorgesehen. Die Kamerasteuereinheit umfasst Kameraschnittstellen, die mit den entsprechenden Kameras verbunden sind.

[0056] Die Anmeldung stellt auch ein Fahrzeug mit dem vorgenannten Kameramodul bereit, wobei Kameras und ein Prozessor des Kameramoduls an dem Fahrzeug angebracht sind.

[0057] Kurz, die Anmeldung stellt ein verbessertes Verfahren zum Bestimmen extrinsischer Parameter einer Mehrzahl von Kameras eines Fahrzeugs bereit. Diese Kameras sind Teil eines Rundumsichtsystems.

[0058] Das Fahrzeug ist zum Transportieren von Personen oder Gütern vorgesehen. Das Fahrzeug ist auch auf dem Boden eines Bereichs angeordnet, der Objekte aufweist. Die Kameras sind mit dem Fahrzeug verbunden und an diesem befestigt. Die Kameras sind auch derart auf die Objekte des Bereichs gerichtet, dass durch die Kameras aufgenommene oder erfasste Bilder gemeinsame oder sich überlappende Teile aufweisen.

[0059] Das Verfahren umfasst einen Schritt, in dem jede Kamera ein Bild einer Szene des Bereichs aufnimmt. Mit anderen Worten, jede Kamera zeichnet ein Einzelbild der Objekte der Szene auf. Diese Bilder weisen gemeinsame Objekte auf.

[0060] Danach wird anhand von Linien in den Bildern die Höhe des Bodens geschätzt oder bestimmt. Da der Boden häufig in einer horizontalen Ebene angeordnet ist, definiert die Höhe des Bodens auch im Wesentlichen den Boden.

[0061] Allgemein können Merkmale in den Bildern die vorgenannten Linien in den Bildern ersetzen. Beispiele der Merkmale umfassen ein Pixel oder einen Punkt, eine Kante oder eine Linie des Bildes. Ein Beispiel der Linie ist eine Fahrbahnmarkierung.

[0062] Dann wird ein Bezugsrahmen des Fahrzeugs als auf dem bestimmten Boden angeordnet definiert.

[0063] Anschließend wird eine Rotation jeder Kamera, die zum In-Übereinstimmung-Bringen der Ausrichtung der Kamera mit der Ausrichtung des definierten Fahrzeug-Bezugsrahmens nötig ist, bestimmt.

[0064] Eine Translation jeder Kamera, die zum Positionieren der Kamera mit dem definierten Fahrzeug-Bezugsrahmen nötig ist, wird danach bestimmt. Dies erfolgt durch einen Schritt des Ermittelns gemeinsamer Merkmale in den Bildern der Kameras. Die gemeinsamen Merkmale werden dann verwendet, um relative Positionen der Kamera zu bestimmen. Danach werden Translationen der Kameras, die zum Positionieren aller Kameras in dem definierten Fahrzeug-Bezugsrahmen nötig sind, bestimmt.

[0065] Die vorstehende Rotation und Translation der Kamera kann verwendet werden, um einen Bezugsrahmen der Kamera bezogen auf den Fahrzeug-Bezugsrahmen zu beschreiben.

[0066] Die Translation und die Rotation der Kamera dienen dann als extrinsische Parameter der Kamera.

Fig. 1 stellt ein Fahrzeug mit einem Rundumsichtsystem dar,

Fig. 2 stellt das Fahrzeug von **Fig. 1** mit einem Bezugsrahmen dar,

Fig. 3 stellt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen extrinsischer Parameter von Kameras des Fahrzeugs von **Fig. 1** dar,

Fig. 4 stellt ein Bild einer durch die Kamera des Fahrzeugs von **Fig. 1** aufgenommenen Szene dar,

Fig. 5 stellt eine Einheitskugel dar, die als Computermodell fungiert, für entsprechend der Kamera von **Fig. 3**,

Fig. 6 stellt die Einheitskugel von **Fig. 5** mit Punkten des Bildes von **Fig. 4** dar, wobei die Punkte auf die Oberfläche der Einheitskugel projiziert sind, und

Fig. 7 stellt einen Fluchtpunkt dar, der auf Linien angeordnet ist, die durch die projizierten Punkte des Bildes verlaufen.

[0067] In der folgenden Beschreibung werden Details bereitgestellt, um Ausführungsformen der Anmeldung zu beschreiben. Für den Fachmann ist jedoch offensichtlich, dass die Ausführungsformen ohne diese Details praktiziert werden können.

[0068] Einige Teile der Ausführungsformen weisen ähnliche Teile auf. Die ähnlichen Teile können die gleichen Bezeichnungen oder ähnliche Teilenummern aufweisen. Die Beschreibung eines ähnlichen Teils gilt ggf. durch Bezugnahme auch für andere ähnliche Teile, wodurch eine Wiederholung von Text reduziert wird, ohne die Offenbarung einzuschränken.

[0069] **Fig. 1** zeigt ein Fahrzeug **1** mit einem Rundumsichtsystem **3**. Das Rundumsichtsystem **3** umfasst vier Digitalkameras **5** und einen Prozessor **7**, der elektrisch mit den Kameras **5** verbunden ist.

[0070] Das Fahrzeug **1** befindet sich auf dem Boden **9** eines Bereichs mit Objekten. Der Boden **9** weist eine horizontale Ebene auf. Die Objekte werden in der Figur nicht gezeigt.

[0071] Wie in **Fig. 2** zu sehen, weist das Fahrzeug **1** eine Vorderradachse auf. Eine Projektion der Vorderradachse auf die Ebene dient dazu, die Bodenebene zu definieren. Das Fahrzeug **1** weist auch einen Bezugsrahmen **12** mit einem Koordinatensystem **13** auf. Das Koordinatensystem **12** umfasst drei orthogonale Achsen **14**, **16** und **18** und einen Ursprungspunkt **20**.

[0072] Der Ursprungspunkt **20** befindet sich am Schnittpunkt dieser drei orthogonalen Achsen **14**, **16** und **18**.

[0073] Die orthogonalen Achsen umfassen eine x-Achse **14**, eine y-Achse **16** und eine z-Achse **18**. Die x-Achse **14** weist zum Heck des Fahrzeugs **1**. Die y-Achse **16** weist zur rechten Seite des Fahrzeugs **1**. Die z-Achse **18** weist nach oben.

[0074] Was die vier Kameras **5** anbelangt, befinden sie sich an vorgegebenen Positionen des Fahrzeugs **1**, wobei relative Positionen der Kameras **5** bezogen auf das Fahrzeug **1** bekannt sind oder vorgegeben sind. Die Kameras **5** sind auf eine Szene des Bereichs gerichtet oder dieser zugewandt. Bilder der Kameras **5** überlappen sich oder weisen gemeinsame Objekte oder Merkmale auf.

[0075] Allgemein kann das Rundumsichtsystem **3** statt vier Kameras zwei oder mehr Kameras aufweisen.

[0076] In funktionaler Hinsicht wird das Fahrzeug **1** zum Transportieren von Personen und Gütern verwendet. Die Kameras **5** werden zum Aufnehmen von Bildern von Objekten und zum Senden von Daten der Bilder an den Prozessor **7** verwendet. Der Prozessor **7** wird zum Verarbeiten der Bilddaten verwendet.

[0077] **Fig. 3** zeigt ein Ablaufdiagramm **25** eines Verfahrens zum Bestimmen extrinsischer Parameter jeder Kamera **5** des Fahrzeugs **1**; wird nachstehend beschrieben.

[0078] Die extrinsischen Parameter definieren einen Bezugsrahmen für jede Kamera **5**. Insbesondere umfassen die extrinsischen Parameter eine Rotation und eine Translation der Kamera **5** zum In-Übereinstimmung-Bringen der Ausrichtung und der Position des Kamera-Bezugsrahmens mit der Ausrichtung und der Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens **12**.

[0079] Das Ablaufdiagramm **25** umfasst einen Schritt **28**, in dem jede Kamera **5** ein einziges Bild oder ein Einzelbild einer Szene des Bereichs aufnimmt, wo das Fahrzeug **1** sich befindet. Ein Bild **29** einer Szene einer Kamera **5** ist in **Fig. 4** dargestellt.

[0080] Allgemein kann die Kamera **5** eine Videoaufzeichnung aufnehmen, die eine Reihe von Bildern umfasst. Dieses Verfahren wird dann auf nur ein Bild der Videoaufzeichnung angewendet.

[0081] Die Bilddaten werden dann an den Prozessor **7** gesendet.

[0082] Das Ablaufdiagramm **25** umfasst auch einen Schritt **31**, in dem der Prozessor **7** die Höhe des Bodens **9** oder der Bodenebene des Fahrzeugs **1** bestimmt und der nach dem Schritt **28** erfolgt. Die Bodenebene des Fahrzeugs **1** wird später geschätzt oder anhand von Linien in den Bildern bestimmt.

[0083] Intrinsische Parameter der Kamera **5**, welche die Brennweite und andere Linsenparameter umfassen, werden durch den Prozessor **7** verwendet, um Punkte **32** des Bildes der Kamera **5** entsprechenden Lichtstrahlen, welche die Linse der Kamera **5** passieren, zuzuordnen oder zu diesen in Beziehung zu setzen. Jeder Punkt **32** entspricht einem Bildsensor-Pixel der Kamera **5**.

[0084] Dann werden durch den Prozessor **7** Einheitsvektoren ausgewählt, um diese Lichtstrahlen, die von außerhalb der Kamera **5** durch die Kameralinse eintreten, darzustellen. Die Einheitsvektoren definieren auch eine Einheitskugel **35**, die in **Fig. 5** dargestellt ist. Jede Einheitskugel **35** steht in Beziehung zu einer Kamera **5**.

[0085] Die Bildpunkte **32** werden dann durch den Prozessor **7** zugeordnet oder auf die Einheitskugel **35** projiziert, wie in **Fig. 6** dargestellt. Insbesondere wird jeder Punkt **32** einer Kante einer Linie des Bildes auf die Einheitskugel **35** projiziert.

[0086] Der Prozessor **7** verwendet dann einen Software-Kantendetektor, um in jedem Bild auf der Einheitskugel **35** Linien zu bestimmen.

[0087] Im Einzelnen wird für jeweils vier Bildpunkte auf der Einheitskugel **35** ein Satz von Kreislinien auf einer Oberfläche der Einheitskugel **35** definiert.

[0088] Zwei Bildpunkte sind ausreichend, um einen Kreis auf der Kugeloberfläche **37** zu definieren.

[0089] Vier Bildpunkte definieren dann wenigstens einen Satz von zwei Kreisen auf der Kugeloberfläche **37**. Der Satz ist dadurch gekennzeichnet, dass zwei Kreise sich an zwei Punkten schneiden, wobei diese Schnittpunkte als Kandidat zum Definieren eines Fluchtpunkts dienen können, wie in **Fig. 7** dargestellt. Der Fluchtpunkt ist an einem Schnittpunkt von Linien angeordnet, wobei diese Linien durch diese Schnittpunkte verlaufen.

[0090] Vier Kreise der Kugeloberfläche stellen vier Schnittpunkte **i1**, **i2**, **i3** und **i4** bereit, die eine durch die Einheitskugel **35** verlaufende Ebene **P** definieren. Die Mindestanzahl an Schnittpunkten zum Definieren einer Ebene, die durch die Einheitskugel **35** verläuft, beträgt also vier.

[0091] Verwendet man die homogene Darstellung, ist eine Ebene im 3D(dreidimensionalen)-Raum definiert als:

$$a.x + b.y + c.z + d = 0$$

[0092] Die Ebene kann dargestellt werden als:

$$\vec{\pi} \cdot \vec{x} + d = 0,$$

wobei $\vec{\pi} = (a, b, c)^T$ und $\vec{x} = (x, y, z)$

[0093] In dieser Form ist $\frac{d}{\|\vec{\pi}\|}$ der Abstand der Ebene vom Ursprung und $\vec{\pi}$ der Normalenvektor zu der Ebene.

[0094] Jede Ebene wird dargestellt als:

$$\vec{\pi} = \left(\frac{a}{c}, \frac{b}{c}, 1 \right)^T$$

[0095] Für jeweils vier Kantenpunkte in dem Bild sind die folgenden drei Ebenen möglich:

$$\vec{\pi}_1 = \overrightarrow{P_1 P_2} \times \overrightarrow{P_3 P_4}$$

$$\vec{\pi}_2 = \overrightarrow{P_1 P_3} \times \overrightarrow{P_2 P_4}$$

$$\vec{\pi}_3 = \overrightarrow{P_1 P_4} \times \overrightarrow{P_3 P_2}$$

[0096] Die drei möglichen Ebenen werden dann in einem Hough-Raum akkumuliert.

[0097] Eine Spitze in dem Hough-Akkumulator und ein kleinster Winkel zwischen dem Normalenvektor und der y-Achse 16 der Kamera werden danach durch den Prozessor als Bodenebene ausgewählt. Die ausgewählte Spitze weist wahrscheinlich die höchste Intensität auf.

[0098] Allgemein können Merkmale die Linien, wobei die Merkmale Punkte, Kanten oder Linien umfassen.

[0099] Das Ablaufdiagramm 25 umfasst auch einen Schritt 40, in dem der Prozessor 7 den Ursprungspunkt 20 des Fahrzeug-Bezugsrahmens 12 als auf der bestimmten Bodenebene des Fahrzeugs 1 befindlich definiert und der nach dem Schritt 28 und nach dem Schritt 31 durchgeführt wird.

[0100] Insbesondere befinden sich der Ursprungspunkt 20 und die y-Achse 16 auf einer Linie des Bodens 9, wobei die Linie durch eine vertikale Projektion der Vorderradachse des Fahrzeugs 1 auf die Bodenebene definiert wird.

[0101] Auf den vorstehenden Schritt 40 folgt ein Schritt 45, in dem der Prozessor 7 eine Rotation des Kamera-Bezugsrahmens zum In-Übereinstimmung-Bringen der Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit der Ausrichtung des Fahrzeug-Bezugsrahmens 12 berechnet oder bestimmt.

[0102] Diese Rotation des Kamera-Bezugsrahmens kann von der anfänglichen extrinsischen Kamerakalibrierung abgeleitet werden, die eine Rotation des Kamera-Bezugsrahmens umfasst. Die anfängliche extrinsische Kamerakalibrierung erfolgt üblicherweise in einem Werk, in dem das Fahrzeug mit den Kameras 5 hergestellt wurde.

[0103] Im Einzelnen wird die Normale zur Bodenebene in einem Fahrzeug-Bezugsrahmen definiert als:

$$nc = [0, 0, 1]$$

[0104] Daher würde man durch Anwenden des extrinsischen (R|T) des Fahrzeugs zum Schätzen der Bodenebene die Bodenebenennormale nc erhalten.

$$nc = R.n + T$$

[0105] Diese Gleichung wird wie folgt umgeschrieben:

$$R = (nc - T).pinv(n),$$

wobei pinv die Pseudoinverse ist.

[0106] Die Matrix R wird später zerlegt, um die Rotationen in jeder Achse zu erhalten:

$$Winkel_x = atan2[R(3,2), R(3,3)],$$

$$Winkel_y = atan2\{-R(3,1), sqrt[R(3,2)*R(3,2) + R(3,3)*R(3,3)]\},$$

$$Winkel_z = \text{atan2}[R(2,1), R(1,1)]$$

[0107] Das Ablaufdiagramm **25** umfasst einen Schritt **50**, in dem der Prozessor **7** eine Translation jedes Kamera-Bezugsrahmens zum In-Übereinstimmung-Bringen der Position des Kamera-Bezugsrahmens mit der Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens **12** berechnet oder bestimmt; erfolgt nach dem Schritt **45**.

[0108] Dieser Schritt **50** erfolgt unter Verwendung von Kalibrierungsmerkmalen der Bilder der Kameras **5**.

[0109] In der Praxis kann die Position der Kamera **5** sich im Laufe der Zeit ändern. Dieser Schritt **50** ist dazu vorgesehen, eine Änderung einer Kameraposition zu bestimmen und dadurch eine genauere Position der Kamera **5** bereitzustellen.

[0110] Diese Berechnung der Änderung der Kameraposition erfolgt unter Verwendung von Regressionstechniken.

[0111] Positionen der Kameras **5** bezogen auf das Fahrzeug **1** und Abmessungen des Fahrzeugs **1** sind zuvor bekannt oder vorgegeben.

[0112] Später erkennt oder bestimmt der Prozessor **7** unter Verwendung eines Eckenerkennungsalgorithmus einen Satz von Kalibrierungspunkten in jedem Bild der Kamera **5**. Der Satz vorgegebener Kalibrierungspunkte kann auch unter Verwendung einer Abschneidung von Linien oder anderer Verfahren bestimmt werden.

[0113] Danach projiziert der Prozessor **7** diese erkannten Kalibrierungspunkte unter Verwendung einer früher bestimmten Rotation des Kamera-Bezugsrahmens und unter Verwendung der zuvor aufgezeichneten Kameraposition, die zum Bestimmen einer anfänglichen Translation des Kamera-Bezugsrahmens verwendet wird, in den Fahrzeug-Bezugsrahmen **12**.

[0114] Der Prozessor **7** projiziert auch Kalibrierungspunkte von benachbarten Kameras **5** in den Fahrzeug-Bezugsrahmen.

[0115] Später ordnet der Prozessor **7** unter Verwendung eines skalen- und rotationsinvarianten Zuordnungsalgorithmus projizierte Kalibrierungspunkte von der Kamera **5** den projizierten Kalibrierungspunkten von der benachbarten Kamera **5** zu.

[0116] Ein Fehler dieses Einanderzuordnens der Kalibrierungspunkte wird dann verwendet, um eine neue Position der jeweiligen Kamera **5** zu schätzen oder zu bestimmen.

[0117] Allgemein können andere Vorrichtungen, wie etwa Roboter und maschinelle Sicht, dieses Verfahren zum Kalibrieren von Kameras **5** ebenfalls anwenden.

[0118] Zwar enthält die vorstehende Beschreibung viele konkrete Angaben, aber diese sollten nicht als den Schutzbereich der Ausführungsformen beschränkend, sondern lediglich als einer Veranschaulichung der vorhersehbaren Ausführungsformen dienend ausgelegt werden. Die vorgenannten Vorteile der Ausführungsformen sollten insbesondere nicht als den Schutzbereich der Ausführungsformen beschränkend, sondern lediglich als mögliche Ergebnisse einer praktischen Umsetzung der beschriebenen Ausführungsformen erläuternd ausgelegt werden. Der Schutzbereich der Ausführungsformen sollte also durch die Ansprüche und ihre Äquivalente und nicht durch die bereitgestellten Beispiele bestimmt werden.

Bezugszeichenliste

- 1** Fahrzeug
- 3** Rundumsichtsystem
- 5** Kamera
- 7** Prozessor
- 9** Boden
- 12** Bezugsrahmen

- 13** Koordinatensystem
- 14** x-Achse
- 16** y-Achse
- 18** z-Achse
- 20** Ursprungspunkt
- 25** Ablaufdiagramm
- 28** Schritt
- 29** Bild
- 31** Schritt
- 32** Bildpunkt
- 35** Einheitskugel
- 37** Kugeloberfläche
- 40** Schritt
- 45** Schritt
- 50** Schritt
- i1** Schnittpunkt
- i2** Schnittpunkt
- i3** Schnittpunkt
- i4** Schnittpunkt

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 Nicht-Patentliteratur

- Joao P. Barreto. „A Unifying Geometric Representation for Central Projection Systems“, Computer Vision and Image Understanding, 103(3), Seiten 207-217. September 2006. [0012]
- FA Andaló, G Taubin, S Goldenstein. „Detecting vanishing points by segment clustering on the projective plane for singleview photogrammetry“. Information Forensics and Security (WIFS), IEEE International Workshop, 2010. [0012]
- E. Lutton, H. Maitre, J. Lopez-Krahe. „Contribution to the Determination of Vanishing Points Using Hough Transform“. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence archive, 1994. [0012]
- P. Palmer und A. Tai. „An Optimised Vanishing Point Detector“, British Mach. Vis. Conf., 1993, Seiten 529-538. [0012]
- Joao P. Barreto und Kostas Daniilidis. „Wide Area Multiple Camera Calibration and Estimation of Radial Distortion“. Int. Work. on Omnidirectional Vision, Camera Networks, and Nonclassical Cameras, Prag, Mai 2004. [0012]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren von wenigstens zwei Kameras eines Fahrzeugs, wobei das Verfahren umfasst:
Aufnehmen eines Bildes einer Szene durch jede Kamera,
Bestimmen einer Bodenebene des Fahrzeugs anhand von Merkmalen des Bildes,
Definieren eines Ursprungspunkts eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der Bodenebene befindlich und
Bestimmen einer Translation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens, wobei die Bestimmung der Translation des Kamera-Bezugsrahmens anhand eines Bildes eines Kalibrierungsziels von der Kamera und eines Bildes des Kalibrierungsziels von wenigstens einer in der Nähe der Kamera vorgesehenen anderen Kamera durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Merkmal wenigstens ein Objekt umfasst, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus einem Punkt, einer Kante oder einer Linie des Bildes besteht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Kalibrierungsziel wenigstens ein Objekt umfasst, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus einem Punkt, einer Kante oder einer Linie des Bildes besteht.
4. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Bestimmung der Bodenebene des Fahrzeugs ein Bestimmen einer Höhe der Bodenebene umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Bestimmung der Bodenebene des Fahrzeugs unter Verwendung eines Hough-Akkumulator-Algorithmus erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Hough-Akkumulator-Algorithmus ein Auswählen einer Spitze eines Hough-Akkumulators und eines kleinsten Winkels zwischen einem Normalenvektor und einer Achse der Kamera umfasst.
7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Bestimmung der Translation des Kamera-Bezugsrahmens umfasst:
- Einanderzuordnen der Bilder des Kalibrierungsziels von den Kameras unter Verwendung eines skalen- und rotationsinvarianten Zuordnungsalgorithmus und
- Verwenden einer Fehlzuordnung im Rahmen des Einanderzuordnens der Kalibrierungsziele, um die Position der Kamera zu bestimmen.
8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, ferner umfassend:
Bestimmen einer Rotation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit einer Ausrichtung des Fahrzeug-Bezugsrahmens.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Bestimmung der Rotation des Kamera-Bezugsrahmens von einer anfänglichen extrinsischen Kalibrierung der Kameras des Fahrzeugs abgeleitet wird.
10. Computerprogrammprodukt, umfassend:
ein computerlesbares Speichermedium, in dem computerausführbare Programmcodeanweisungen gespeichert sind, wobei die computerausführbaren Programmcodeanweisungen Programmcodeanweisungen für Folgendes umfassen:
- Empfangen eines Kamerabildes,
- Bestimmen einer Bodenebene eines Fahrzeugs anhand von Merkmalen des Kamerabildes,
- Definieren eines Ursprungspunkts eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der Bodenebene befindlich und
- Bestimmen einer Translation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens.
11. Kamerasteuereinheit, umfassend:
wenigstens zwei Kameraschnittstellen, wobei jede Kameraschnittstelle dazu vorgesehen ist, mit einer entsprechenden Fahrzeugkamera verbunden und an dieser angebracht zu werden, und
einen Prozessor zum Behandeln von Bilddaten von den wenigstens zwei Kameraschnittstellen, wobei der Prozessor für Folgendes ausgelegt ist:

- Bestimmen einer Bodenebene eines Fahrzeugs anhand von Merkmalen der Bilddaten von wenigstens einer der Kamerataschnittstellen,
- Definieren eines Ursprungspunkts eines Bezugsrahmens des Fahrzeugs als auf der Bodenebene befindlich und
- Bestimmen einer Translation eines Bezugsrahmens einer Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Position des Kamera-Bezugsrahmens mit einer entsprechenden Position des Fahrzeug-Bezugsrahmens, wobei die Bestimmung der Translation des Kamera-Bezugsrahmens anhand von Bilddaten eines Kalibrierungsziels von einer Kamerataschnittstelle und Bilddaten des Kalibrierungsziels von einer anderen Kamerataschnittstelle durchgeführt wird.

12. Kamerasteuereinheit nach Anspruch 11, wobei der Prozessor ferner zum Bestimmen der Bodenebene des Fahrzeugs unter Verwendung eines Hough-Akkumulator-Algorithmus ausgelegt ist.

13. Kamerasteuereinheit nach Anspruch 11 oder 12, wobei der Prozessor ferner zum Bestimmen einer Rotation eines Bezugsrahmens der Kamera zum In-Übereinstimmung-Bringen einer Ausrichtung des Kamera-Bezugsrahmens mit einer Ausrichtung des Fahrzeug-Bezugsrahmens ausgelegt ist.

14. Kameramodul, umfassend:
wenigstens zwei Kameras zum Anbringen an einem Fahrzeug und
eine Kamerasteuereinheit nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei Kamerataschnittstellen der Kamerasteuereinheit mit den Kameras verbunden sind.

15. Fahrzeug mit einem Kameramodul nach Anspruch 14, wobei wenigstens zwei Kameras und ein Prozessor des Kameramoduls an dem Fahrzeug angebracht sind.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

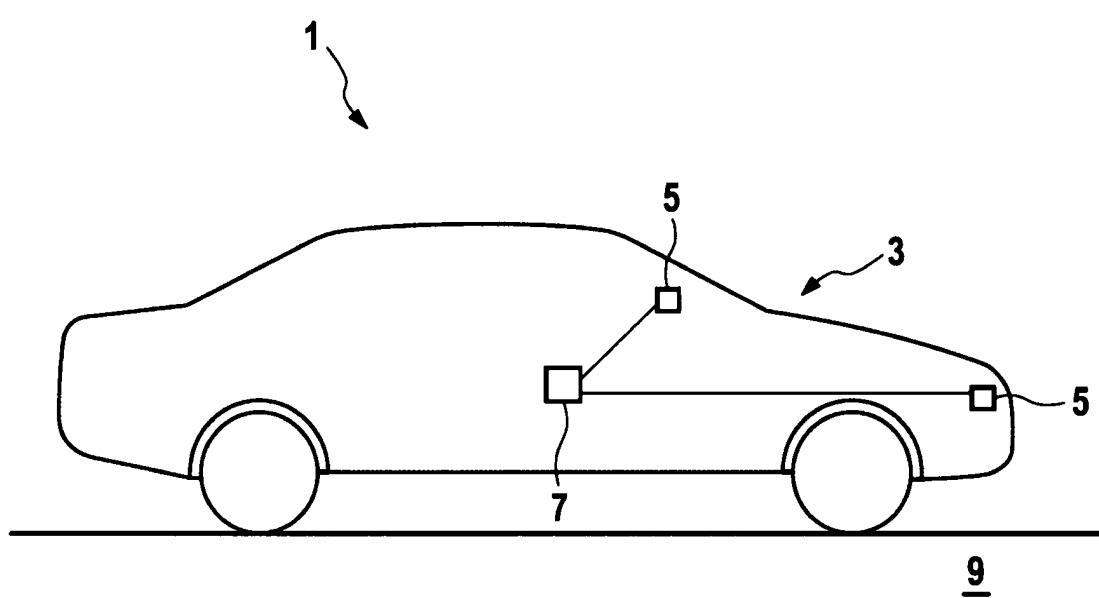


Fig. 1

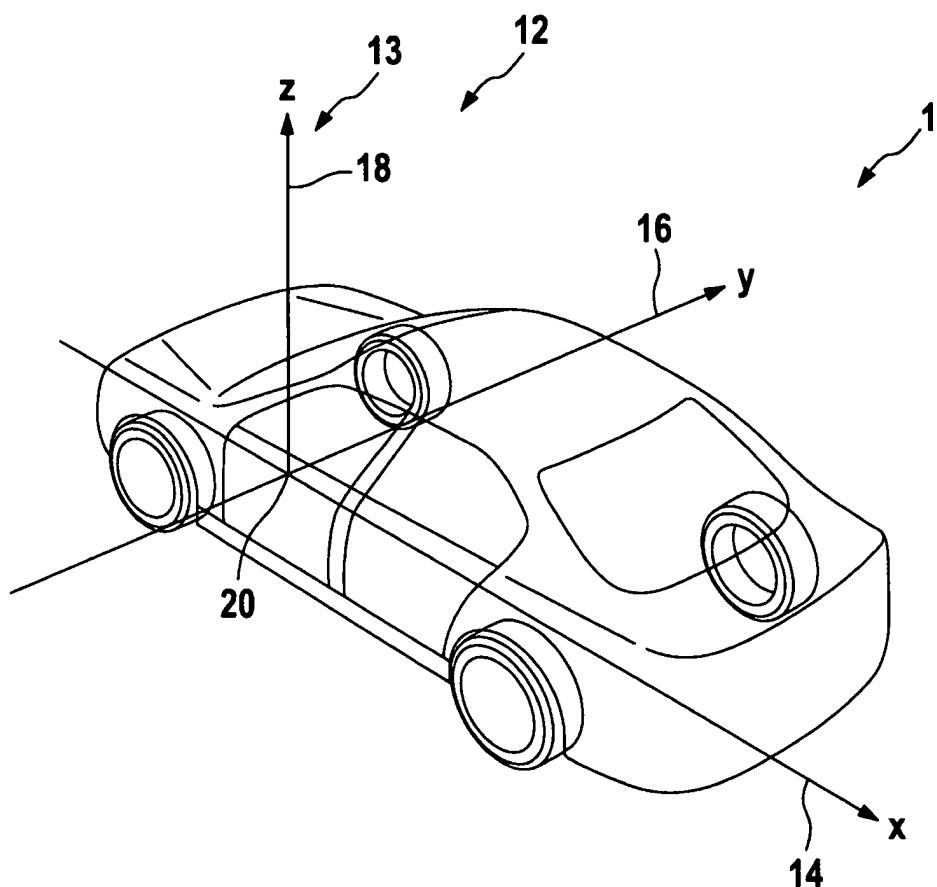


Fig. 2

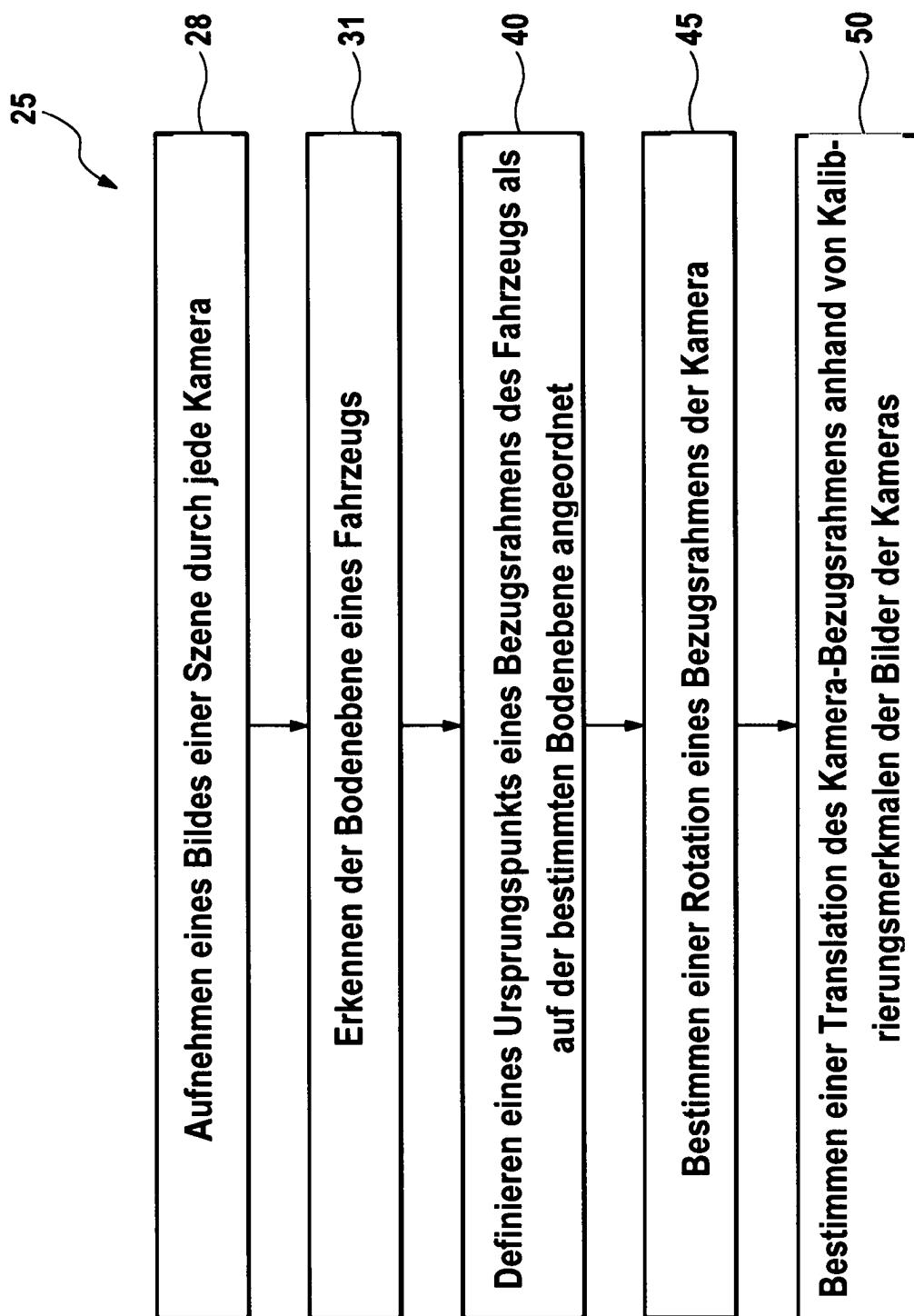
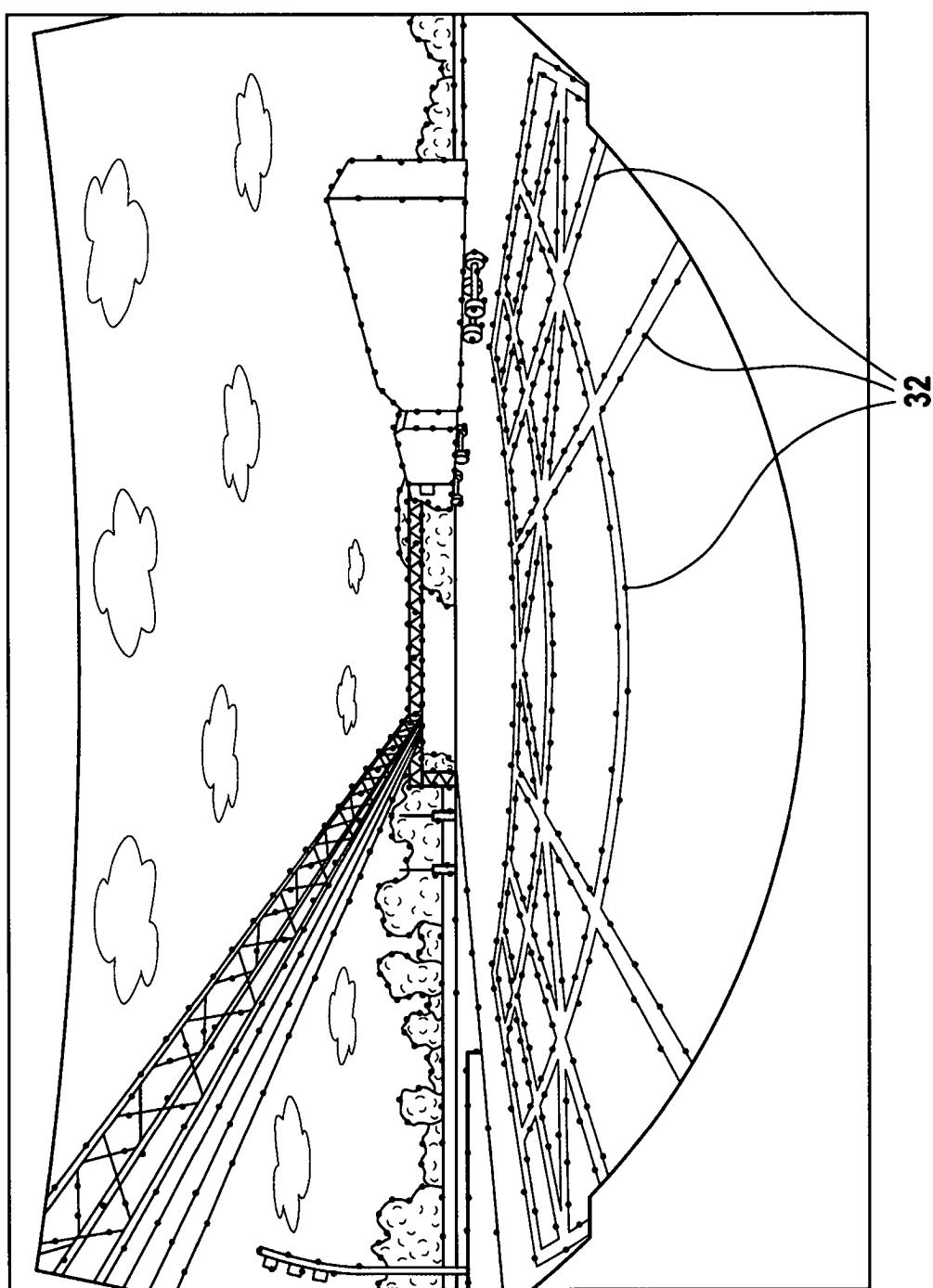


Fig. 3

Fig. 4



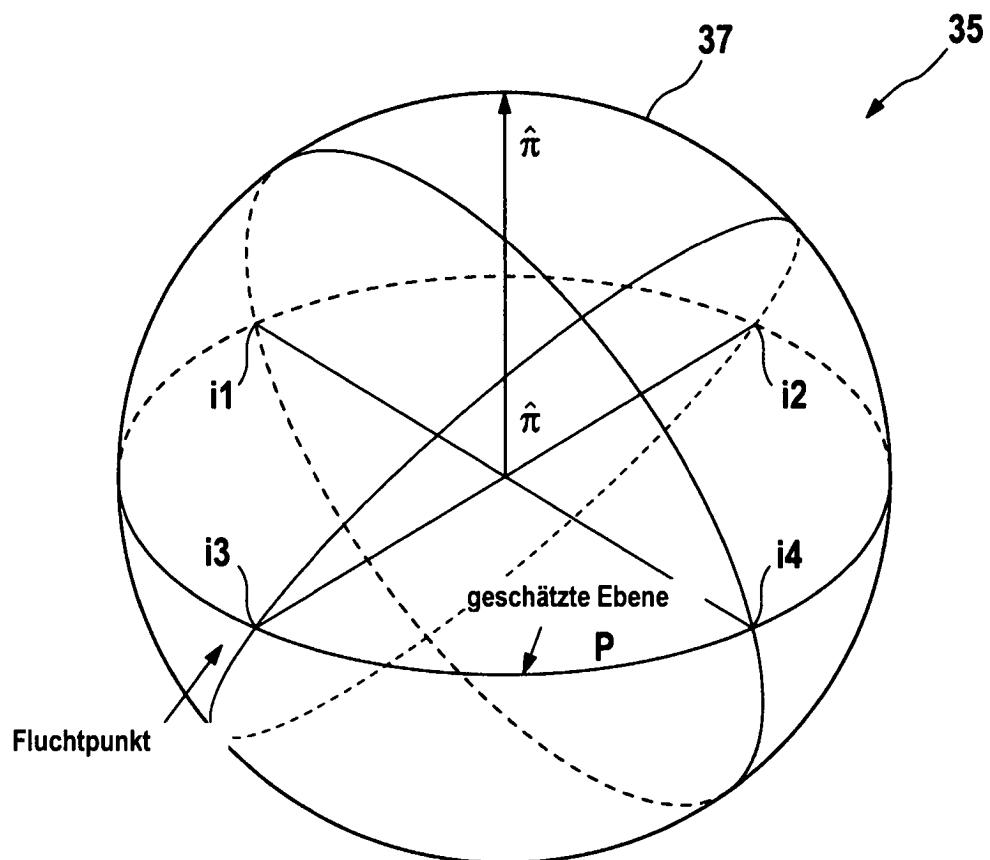


Fig. 5

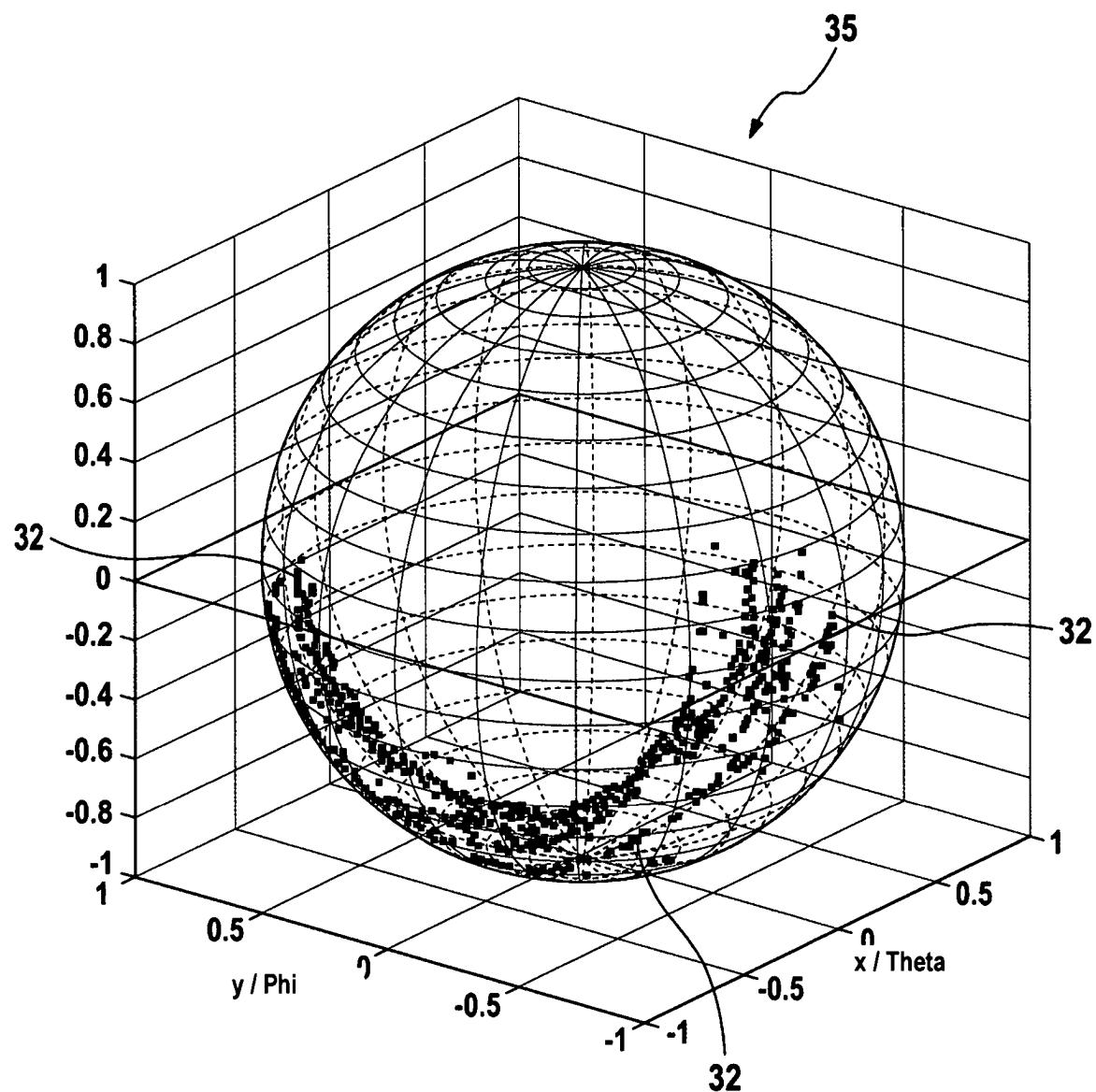


Fig. 6

Fig. 7

