(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

PCT

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. April 2009 (09.04.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/043789 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01C 15/00 (2006.01) *B65G 63/00* (2006.01)
B66C 19/00 (2006.01) *G01S 17/89* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/062832

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. September 2008 (25.09.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 046 287.7
27. September 2007 (27.09.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **FEITEN, Wendelin** [DE/DE]; Max-Löw-Str. 47, 85579 Neubiberg (DE). **LAWITZKY, Gisbert** [DE/DE]; Schusterstrasse 3, 81477 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

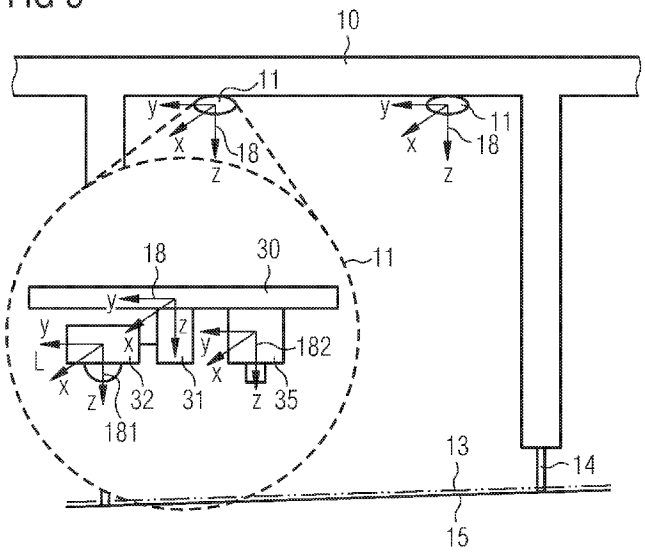
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SENSOR UNIT AND METHOD FOR CALIBRATION THEREOF

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR KALIBRIERUNG EINER SENSORANORDNUNG UND SENSORANORDNUNG

FIG 5



(57) Abstract: Different sensors such as laser scanners (32) and video cameras (35) are first mounted securely onto a common substrate (30) and calibrated to each other. This considerably simplifies subsequent calibration of the resultant multi-sensor system (11) at the employment site. The incorporation of a video camera which is precalibrated in this manner, makes possible the automatic, computerized extraction of the location of the tracks from the video picture of the video camera when using a loading crane system (10). Thus, the need for manually positioned calibration elements is eliminated. This reduces faults in ongoing operation during activation of the multi-sensor system.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/043789 A1

GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

(57) Zusammenfassung: Unterschiedliche Sensoren wie etwa Laserscanner (32) und Videokameras (35) werden vorab auf einem gemeinsamen Träger (30) fest montiert und zueinander kalibriert. Dies vereinfacht die spätere Kalibrierung des so gebildeten Multi-Sensorsystems (11) am Einsatzort erheblich. Die Einbindung einer Videokamera, die auf diese Weise vorkalibriert wird, ermöglicht beim Einsatz einer Ladekrananlage (10) die automatische, rechnergestützte Extraktion der Lage der Fahrspuren aus dem Videobild der Videokamera. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit manuell platzierter Kalibrierkörper. Dies verringert Störungen des laufenden Betriebs bei der Aufschaltung des Multi-Sensorsystems.

Beschreibung

Verfahren zur Kalibrierung einer Sensoranordnung und Sensoranordnung

Eine Sensoranordnung, welche beispielsweise auf einem Kran montiert ist, dient zur Messung (bzw. Schätzung) der Position und Lage beweglicher Objekte, wie etwa des Krans selbst oder einer Fracht, z.B. eines Containers. Als weitere Verwendungen kommen etwa die Messung der Position und Lage eines Fahrzeugs oder eines beweglichen Bauteils des Krans selbst in Betracht.

Bei dem Kran kann es sich beispielsweise um einen Ladekran handeln. Ladekrane werden auf Güterumschlagplätzen, Lagerplätzen, in Montagehallen und Werften sowie beim Gleisbau eingesetzt. Bei einem Ladekran für Kraftfahrzeuge ist der Boden gegenüber dem Ladekran geneigt, damit Wasser abfließen kann. Weiterhin sind auf dem Boden unter dem Ladekran Spuren für Lastwagen markiert.

Eine Ausführung eines Ladekrans ist ein Portalkran. Dieser überspannt einen Lade- und Arbeitsbereich wie ein Portal. In der Regel laufen seine Seitenwände mit Rädern auf zwei parallelen Schienen. Auf der Kranbrücke, dem horizontalen Teil des Portalkrans, bewegt sich eine Laufkatze mit einem Hubwerk. Alternativ kann auch ein Schienendrehkran auf der Kranbrücke montiert sein.

Weiterhin kommen als Ladekran auch ein Brückenkran, ein Halbportalkran, ein Bockkran sowie ein Portaldrehkran in Betracht.

Bewegliche Teile eines Krans sind z. B. die Laufkatze oder der Spreader - ein Hebezeug, mit dem Container ergriffen werden können.

Im Kontext eines Ladekrans dienen die Messungen der Sensoranordnung als Grundlage, um LKW-Fahrern zu signalisieren, wo

sie anzuhalten haben. Weiterhin kann aufgrund solcher Messungen der Kran selbst gesteuert werden.

Die Sensoranordnung kann beispielsweise aus einem oder mehreren der folgenden Elemente zusammengesetzt sein: einem 3D-Laserscanner, einem schwenkbaren 2D-Laserscanner oder einer Videokamera. Die Elemente der Sensoranordnung werden üblicherweise derart im Tragwerk des Krans angebracht, dass - im Falle eines Portalkrans - mehrere Spuren für LKW oder Gleise für Eisenbahnwaggons überstrichen werden.

Damit die Sensoranordnung in der beschriebenen Weise verwendet werden kann, ist es erforderlich, sie zu kalibrieren. Das bedeutet, dass die folgenden Koordinatensysteme zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen:

- Das Sensor-Koordinatensystem eines oder mehrerer Laserscanner, die in der Sensoranordnung verbaut sind,
- das Kamera-Koordinatensystem einer oder mehrerer Kameras, sofern diese im Rahmen der Sensoranordnung verbaut sind,
- das Kran-Koordinatensystem des Krans, bezüglich dem z.B. Laufkatze und Spreader lokalisiert werden,
- das Boden-Koordinatensystem, bezüglich dessen ggf. Spuren für Lastwagen oder Gleise für Eisenbahnwaggons gegeben sind, welche beladen und entladen werden.

Die Kalibrierung wird im Stand der Technik beispielsweise dadurch gelöst, dass ein speziell zu diesem Zweck angefertigter und bereitgehaltener Kalibrierkörper auf den Boden im Bereich des Krans gestellt und in Bezug auf den Kran bzw. das Kran-Koordinatensystem durch einen Vermessungsingenieur manuell vermessen wird. Zusätzlich können Fahrspuren manuell in Bezug auf den Kran oder auf den Kalibrierkörper vermessen werden. Die Sensoranordnung erfasst anschließend den Kalibrierkörper, woraus sich Koordinatentransformationen zwischen dem Sensor-Koordinatensystem und den übrigen Koordinatensystemen erschließen lassen. Nachteilig wirkt sich hierbei aus, dass der

laufende Betrieb des Krans für die Kalibrierung längere Zeit unterbrochen werden muss.

Häufig finden sich in der Umgebung der Ladekrananlage Strukturierungsmerkmale, welche lediglich optisch erfasst werden können. Ein Beispiel hierfür sind auf den Boden aufgemalte Spurmarkierungen, welche die Lage der Fahrspuren anzeigen. Bei Einbindung eines optischen Sensors (etwa einer Kamera) in die Sensoranordnung muss eine Koordinatentransformation zwischen dem Kamera-Koordinatensystem und den übrigen Koordinatensystemen bestimmt werden.

Dies wird in den beschriebenen Anwendungen in großen Krananlagen durch deren große Abmessungen und nicht standardisierten visuellen Merkmale erschwert. So können beispielsweise die Spurmarkierungen unterschiedlich ausfallen. Deshalb ist es im Stand der Technik erforderlich, weitere, in ihren optischen und geometrischen Merkmalen genau definierte Kalibrierkörper in die Anlage einzubringen, um anhand dieser die Kalibrierung vorzunehmen. Im Kontext der Automatisierung der Ladekrananlage ist eine spezifische Kalibrierung der Sensoranordnung für die jeweiligen Arbeitsabläufe wünschenswert. Auch eine manuelle Vermessung der Spurmarkierungen bedeutet hier zusätzlichen Aufwand.

Es stellt sich somit die Aufgabe, ein Verfahren zur Kalibrierung einer Sensoranordnung und eine Sensoranordnung anzugeben, welche die Kalibrierung der Sensoranordnung am Einsatzort vereinfachen.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren zur Kalibrierung einer Sensoranordnung und die Sensoranordnung gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Bei dem Verfahren zur Kalibrierung einer Sensoranordnung werden folgende Schritte ausgeführt:

Zuerst werden ein erster Sensor und ein zweiter Sensor auf einem Träger montiert, wodurch die Sensoranordnung gebildet wird. Anschließend wird eine Koordinatentransformation zwischen einem ersten Koordinatensystem des ersten Sensors und einem zweiten Koordinatensystem des zweiten Sensors ermittelt. In einem dritten Schritt wird die Sensoranordnung an einem Einsatzort montiert. Abschließend wird die Sensoranordnung in Relation zu einer Umgebung am Einsatzort kalibriert, wobei die ermittelte Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem verwendet wird.

Die Sensoranordnung weist einen Träger auf, an dem ein erster Sensor mit einem ersten Koordinatensystem und ein zweiter Sensor mit einem zweiten Koordinatensystem montiert sind. Weiterhin weist die Sensoranordnung eine Recheneinheit auf, auf der eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem gespeichert ist.

Indem der erste und zweite Sensor vorab auf einem gemeinsamen Träger montiert werden, kann die so gebildete Sensoranordnung bereits in der Fertigung kalibriert werden. Hierdurch wird ein vorkalibriertes Multi-Sensorsystem gebildet. Dies vereinfacht die spätere Kalibrierung am Einsatzort erheblich.

Die Kalibrierung der Sensoranordnung erfolgt somit in zwei Schritten:

1. Zunächst werden im Werk die Koordinatensysteme der in der Sensoranordnung enthaltenen Sensoren zueinander kalibriert. Dies kann beispielsweise mit zueinander referenzierten Kalibrierkörpern und Kalibriermustern erfolgen.

2. Nach der Montage der Sensoranordnung am Einsatzort erfolgt die Kalibrierung in Relation zur neuen Umgebung.

Hierdurch wird das Verfahren zur Kalibrierung besonders robust und genau. Der laufende Betrieb am Einsatzort wird durch das Aufschalten der Sensoranordnung weniger gestört. Weiterhin wird es durch die vorgeschaltete Kalibrierung möglich, auch eine Videokamera in die Sensoranordnung einzubinden, da diese nach dem Einbau am Einsatzort nicht mehr aufwändig nachkalibriert werden muss. Der Einsatz einer Videokamera unterstützt die Modellierung weiterer Aspekte des jeweiligen Einsatzbereichs wie etwa Personen, bisher nicht modellierte Fahrzeuge oder Frachten.

In einer Weiterbildung des Verfahrens wird die Sensoranordnung am Einsatzort an einem Objekt montiert und erfasst Messdaten ihrer Umgebung. In den Messdaten werden Boden-Messdaten für Teile eines Bodens unter dem Objekt sowie Objekt-Messdaten für Teile des Objekts identifiziert. Die Objekt-Messdaten werden genutzt, um aus den Boden-Messdaten ein Boden-Koordinatensystem zu ermitteln. Eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem Boden-Koordinatensystem wird berechnet. Die Sensoranordnung wird in Relation zu der Umgebung am Einsatzort kalibriert, wobei die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem und die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem Boden-Koordinatensystem verwendet wird.

In einer Weiterbildung der Sensoranordnung ist diese zur Montage an einem Objekt eingerichtet. Sie weist eine Recheneinheit auf, welche zur Identifikation von Boden-Messdaten für Teile eines Bodens unter dem Objekt sowie Objekt-Messdaten für Teile des Objekts in den Messdaten eingerichtet ist. Die Recheneinheit ist weiterhin eingerichtet zur Ermittlung eines Boden-Koordinatensystems aus den Boden-Messdaten unter Nutzung der Objekt-Messdaten, zur Berechnung einer Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem Boden-Koordinatensystem, sowie zur Kalibrierung der Sensoranordnung auf Grundlage der Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensys-

tem und der Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem Boden-Koordinatensystem.

Die Weiterbildungen bieten den Vorteil, dass auf einen gesonderten Kalibrierkörper zur Kalibrierung der Sensoranordnung verzichtet werden kann. Hierdurch werden Kosten eingespart. Weiterhin entfällt der Aufwand für das Erstellen, Zwischenlagern, Platzieren und Wegräumen des Kalibrierkörpers. Die Aufschaltung der Sensoranordnung erfordert somit weniger Aufwand und verursacht eine geringere Störung des laufenden Betriebs.

Gemäß einer Weiterbildung ist das Objekt ein Kran, insbesondere ein Ladekran, Portalkran, Brückenkran, Halbportalkran, Bockkran oder Portaldrehkran, oder ein beliebiges bewegliches oder statisches Objekt, auf welchem die Sensoranordnung montierbar ist. Ein Portalkran bietet den Vorteil, dass seine ausgeprägten Symmetrieeigenschaften für die Kalibrierung genutzt werden können.

Gemäß einer Weiterbildung umfasst die Sensoranordnung einen oder mehrere schwenkbare 2D-Laserscanner. Die Verwendung eines schwenkbaren 2D-Laserscanners bietet durch seinen großen Sichtbereich den Vorteil, dass neben Fahrzeugen im Arbeitsbereich des Krans auch große Teile der tragenden Struktur des Krans selbst erfasst werden können.

Gemäß einer Weiterbildung umfasst die Sensoranordnung eine Kamera, etwa eine Videokamera. Dies bietet den Vorteil, dass auf dem Boden angebrachte Spurmarkierungen durch die Kamera erfasst und in die Kalibrierung einbezogen werden können.

Gemäß einer Weiterbildung sind die Teile des Objekts Seitenwände eines Portalkrans. Dies bietet den Vorteil, dass die Orientierung dieser Seitenwände zur Ermittlung des Objekt-Koordinatensystems genutzt werden kann.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 Kran mit einer Sensoranordnung sowie einem Frachtgut unter dem Kran,

Figur 2 Entfernungs-Messdaten der Sensoranordnung,

Figur 3 ein Kran-Koordinatensystem, ein Sensor-Koordinatensystem sowie ein Boden-Koordinatensystem,

Figur 4 ein Ablaufdiagramm des Verfahrens,

Figur 5 eine Sensoranordnung, bei der mehrere Sensoren auf einem Träger vormontiert sind.

Figur 1 zeigt einen Kran 10. An dem Kran 10 ist eine Sensoranordnung 11 angebracht, welche im in Figur 1 gezeigten Fall aus zwei Elementen besteht. Weiterhin gezeigt ist ein Frachtgut 12, beispielsweise ein Container auf einem LKW, welches durch die Sensoranordnung 11 erfasst wird. Ebenfalls in Figur 1 zu sehen sind Räder 14, mit denen der Kran 10 auf Schienen bewegt werden kann. Ein Boden 15 unter dem Kran 10 ist geneigt, so dass Wasser abfließen kann. Auf dem Boden 15 sind Spurmarkierungen 13 angebracht, welche Spuren für Fahrzeuge markieren.

Figur 2 zeigt Messdaten der Sensoranordnung 11, in diesem Fall Entfernungs-Messdaten eines Laserscanners. In den Messdaten lassen sich Boden-Messdaten 21 von Teilen des Bodens 15 unter dem Kran 10 sowie Kran-Messdaten 22 von Teilen des Krans 10 identifizieren. Dies ermöglicht eine geometrische Vermessung des Krans und seines Arbeitsraumes.

Die Messdaten können beispielsweise durch Schwenk eines 2D-Laserscanners über die Teile des Krans 10 und die Teile des Bodens 15 gewonnen werden.

Die Kran-Messdaten 22 sind hierbei als Rechtecke in 3D heraussegmentierte Seitenwände des Krans 10. Bei den Boden-

Messdaten 21 handelt es sich entsprechend um heraussegmentierte Bodenpunkte. Von diesen muss ggf. nur eine Teilmenge verwendet werden, um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen; dies spart Rechenzeit und Speicherbedarf.

Figur 3 zeigt erneut den Kran 10, seine Räder 14, die Sensoranordnung 11 sowie den Boden 15 und die Spurmarkierungen 13. Zusätzlich eingezeichnet sind ein Boden-Koordinatensystem 16, ein Kran-Koordinatensystem 17 sowie ein Sensor-Koordinatensystem 18 der Sensoranordnung 11.

Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm zur Kalibrierung der Sensoranordnung 11. In einem ersten Schritt 1 erfasst die Sensoranordnung 11 Messdaten ihrer Umgebung wie in Figur 2 gezeigt. Hierbei handelt es sich um Entfernungs-Messdaten. In einem zweiten Schritt 2 werden in den Messdaten die in Figur 2 gezeigten Boden-Messdaten 21 sowie die Kran-Messdaten 22 identifiziert. Dies kann rechnergestützt unter Verwendung von Planzeichnungen erfolgen, welche bezüglich der Einbaulage der Sensoranordnung 11 bzw. ihrer Elemente sowie weiterer Elemente des Krans 10 genau genug sind. Die Messdaten sind hierbei als 3D-Messpunkte gegeben, welche zunächst alle im Sensor-Koordinatensystem 18 der Sensoranordnung 11 vorliegen.

In einem dritten Schritt 3 werden die Kran-Messdaten 22 genutzt, um aus den Boden-Messdaten 21 ein Boden-Koordinatensystem 16 zu ermitteln. In einem vierten Schritt 4 wird eine Koordinatentransformation zwischen einem Sensor-Koordinatensystem 18 der Sensoranordnung und dem Boden-Koordinatensystem 16 berechnet, anhand derer die Sensoranordnung 11 kalibriert wird.

Das Verfahren zur Kalibrierung der Sensoranordnung 11 nutzt Symmetrien, etwa Flächensymmetrien oder Translationssymmetrien im dreidimensionalen Raum. Solche Symmetrien weist der Kran 10 auf - insbesondere in der Ausgestaltung als Portalkran. Die Symmetrien werden hierbei aus den Kran-Messdaten 22 und ggf. den Boden-Messdaten 21 extrahiert. Hierbei liegt

die Erkenntnis zugrunde, dass eine durch die Kran-Messdaten 22 repräsentierte Fläche von 3D-Messpunkten einen Normalenvektor aufweist, der als y-Richtungsvektor des Kran-Koordinatensystems 17 verwendet werden kann. Weiterhin lässt sich die Tatsache nutzen, dass eine durch die Boden-Messdaten 21 repräsentierte Fläche von 3D-Messpunkten einen Normalenvektor aufweist, der als z-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems 16 gewählt werden kann. Überraschenderweise kann der x-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems 16 identisch zum x-Richtungsvektor des Kran-Koordinatensystems 17 gewählt werden. Dieser x-Richtungsvektor ist sowohl parallel zum Boden 15 als auch parallel zu einer durch die Kran-Messdaten 22 repräsentierten Fläche. Dies wird am Beispiel des Portalkrans deutlich. Da dieser auf Schienen fährt, verlaufen diese sowohl parallel zum Boden als auch parallel zu den Innenwänden des Portalkrans. Der x-Richtungsvektor sowohl des Boden-Koordinatensystems 16 als auch des Kran-Koordinatensystems 17 kann somit parallel zu den Schienen gewählt werden. Somit ist der x-Richtungsvektor sowohl zu dem Normalenvektor der durch die Boden-Messdaten 21 repräsentierten Fläche von 3D-Messpunkten als auch zu dem Normalenvektor der durch die Kran-Messdaten 22 repräsentierten Fläche von 3D-Messpunkten senkrecht. Ausgehend hiervon lassen sich diese Koordinatensysteme sukzessive erschließen.

Im Folgenden wird ein hierzu geeigneter Algorithmus exemplarisch angegeben. Es sind beliebige andere Algorithmen möglich. Der Algorithmus berechnet hilfsweise das Kran-Koordinatensystem 17, welches für die Herleitung des Boden-Koordinatensystems 16 verwendet wird.

Im Szenario eines Portalkrans in einem Hafen werden als Kran-Messdaten 22 3D-Messpunkte identifiziert, die zur Seitenwand (der so genannten "sill bar") gehören, und zwar einerseits 3D-Messpunkte, die zur seeseitigen Seitenwand gehören, sowie andererseits 3D-Messpunkte, die zur landseitigen Seitenwand gehören. Bei Portalkränen auf dem Festland kann eine beliebi-

ge andere Charakterisierung der beiden Seiten des Portalkrans gewählt werden.

Eine Hauptachsentransformation (beschrieben in: Jonathon Shlens: "A Tutorial on Principal Component Analysis", erhältlich im Internet am 02.07.2007 unter http://www.snl.salk.edu/~shlens/pub/notes/pca.pdf) auf den 3D-Messpunkten der seeseitigen Seitenwand des Krans 10 sowie auf den 3D-Messpunkten der landseitigen Seitenwand des Krans 10 ermöglicht jeweils die Bildung eines Normalenvektors im Schwerpunkt der jeweiligen 3D-Messpunkte. Aus diesen beiden Normalenvektoren wird nun durch Mittelung der y-Richtungsvektor des Kran-Koordinatensystems 17 gebildet. Hierbei wird als Konvention gewählt, dass der y-Richtungsvektor zur Seeseite weist.

Ebenfalls durch Hauptachsentransformation wird auf den 3D-Messpunkten in den Boden-Messdaten 21 ein Normalenvektor gebildet und als z-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems 16 gewählt.

Anschließend ergibt sich der x-Richtungsvektor sowohl des Boden-Koordinatensystems 16 als auch des Kran-Koordinatensystems 17 aus dem Kreuzprodukt des y-Richtungsvektors des Kran-Koordinatensystems 17 und des z-Richtungsvektors des Boden-Koordinatensystems 16.

Im nächsten Schritt wird der z-Richtungsvektor des Kran-Koordinatensystems aus dem Kreuzprodukt des x-Richtungsvektors und des y-Richtungsvektors des Kran-Koordinatensystems 17 berechnet. Entsprechend ergibt sich der y-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems 16 aus dem Kreuzprodukt des z-Richtungsvektors und des x-Richtungsvektors des Boden-Koordinatensystems 16.

Als Ursprung des Kran-Koordinatensystems 17 wird zunächst die Mitte zwischen den Fußpunkten der aus den Kran-Messdaten 22 gebildeten Normalenvektoren gewählt.

Anschließend werden die 3D-Messpunkte in den Kran-Messdaten 22, welche zur seeseitigen Seitenwand und zur landseitigen Seitenwand gehören, in das Kran-Koordinatensystem 17 transformiert. Im Zuge dessen wird auch ihre Ausdehnung in x-Richtung als Minimum und Maximum bestimmt. Daraufhin wird das Kran-Koordinatensystem 17 in seiner x-Richtung so verschoben, dass sein Ursprung auf der Mitte zwischen dem ermittelten Minimum und Maximum liegt. Damit ist das Kran-Koordinatensystem 17 vollständig bestimmt.

Als Ursprung des Boden-Koordinatensystems 16 wird zunächst der Schwerpunkt der 3D-Messpunkte in den Boden-Messdaten 21 bestimmt. Anschließend wird die z-Achse des Kran-Koordinatensystems 17 mit der Ebene, welche durch die 3D-Messpunkte in den Boden-Messdaten 21 gebildet wird, geschnitten. Der Schnittpunkt als Ursprung des Boden-Koordinatensystems 16 gewählt.

Nun können Fahrspuren unter dem Kran 10 manuell zwischen Gleisen, auf welchen die Räder 14 des Krans 10 laufen, vermessen werden. Die Lage der Mitte zwischen den Gleisen relativ zur Sensoranordnung 11 ergibt sich aus den zuvor ermittelten Koordinatensystemen.

Anhand der ermittelten Koordinatensysteme wird jeweils eine Koordinatentransformation zu dem Sensor-Koordinatensystem 18 der Sensoranordnung 11 errechnet. Mit dieser wird die Sensoranordnung 11 kalibriert.

Figur 5 zeigt einen Kran 10 welcher auf Rädern 14 über einen Boden 15 bewegt werden kann. Auf dem Boden sind Spurmarkierungen 13 eingezeichnet. Weiterhin sind in Figur 5 zwei Sensoranordnungen 11 gezeigt. Die linke Sensoranordnung 11 ist innerhalb der gestrichelten Kreislinie vergrößert dargestellt. Die Sensoranordnungen 11 verfügen über ein Sensor-Koordinatensystem 18. Die vergrößert dargestellte Sensoranordnung 11 besteht aus einem Träger 30, auf dem ein erster

Sensor 32 sowie ein zweiter Sensor 35 montiert sind. Der erste Sensor 32 ist über einen Drehantrieb 31 an dem Träger 30 montiert, wodurch der erste Sensor 32 schwenkbar gelagert ist. Weiterhin verfügt der erste Sensor 32 über ein erstes Koordinatensystem 181 und der zweite Sensor über ein zweites Koordinatensystem 182. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass das Sensor-Koordinatensystem 18 mit dem ersten Koordinatensystem 181 übereinstimmt.

Im Kontext einer Krananlage handelt es sich bei dem ersten Sensor 32 beispielsweise um einen 2D-Laserscanner, welcher über den Drehantrieb 31 geschwenkt und zur Aufzeichnung eines zweidimensionalen Umgebungsbildes verwendet werden kann. Bei dem zweiten Sensor 35 handelt es sich etwa um eine Kamera, z.B. eine Videokamera. Die Videokamera eignet sich besonders zur Erkennung der Spurmarkierungen 13 auf dem Boden 15 unter dem Kran 10. Der Träger 30 kann beispielsweise als Montagegerüst ausgeführt sein.

Zuerst werden der erste Sensor 32 und der zweite Sensor 35 auf dem Träger 30 montiert, wodurch die Sensoranordnung 11 gebildet wird. Anschließend wird eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem 181 des ersten Sensors 32 und dem zweiten Koordinatensystem 182 des zweiten Sensors 35 ermittelt. Dies kann beispielsweise mit zueinander referenzierten Kalibrierkörpern und Kalibriermustern erfolgen.

In einem dritten Schritt wird die Sensoranordnung 11 bzw. der Träger 30 am Einsatzort, etwa der Kranbrücke, montiert. Abschließend wird die Sensoranordnung 11 in Relation zu ihrer Umgebung am Einsatzort nach dem oben beschriebenen Verfahren kalibriert, wobei die ermittelte Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem 181 und dem zweiten Koordinatensystem 182 verwendet wird.

Zusätzlich zum oben beschriebenen Verfahren können nun die im Videobild der Videokamera sichtbaren Spurmarkierungen 13 mit

bekannten Methoden der Bildverarbeitung extrahiert werden, welche zunächst im zweiten Koordinatensystem 182 vorliegen. Durch Anwendung der Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem 181 und dem zweiten Koordinatensystem 182 kann die Lage der Spurmarkierungen 13 im ersten Koordinatensystem 181 bestimmt werden. Zwar sind im Videobild keine Abstandsinformationen enthalten. Diese sind jedoch durch die Randbedingung ermittelbar, dass die Spurmarkierungen 13 in der durch den x- und y-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems 16 aufgespannten Ebene des Bodens 15 liegen müssen. Da die Koordinatentransformation zwischen dem Sensor-Koordinatensystem 18 (gemäß obiger Annahme identisch mit dem ersten Koordinatensystem 181) und dem Boden-Koordinatensystem 16 zuvor ermittelt wurde, kann die Lage der Spurmarkierungen 13 im ersten Koordinatensystem 181 hiermit berechnet werden.

Somit können in diesem Anwendungsfall die Fahrspuren unter der Krananlage automatisch erkannt und in ein Umgebungsmodell der Krananlage einbezogen werden. Ein solches Umgebungsmodell erlaubt die Modellierung und Steuerung der Anlage. Zusätzlich zur Lage der Koordinatensysteme wird somit auch die Lage der Spurmarkierungen 13 bzw. der Fahrspuren rechnergestützt ermittelt.

Erst die vorab im Werk vorgenommene Kalibrierung der Videokamera zu den im ersten Koordinatensystem 181 bzw. Sensor-Koordinatensystem 18 vorliegenden 3D-Messpunkten des Laserscanners erlaubt es, wie oben beschrieben am Einsatzort automatisch aus dem simultanen Bild der Videokamera die Lage der Spurmarkierungen 13 zu extrahieren.

Gleiches gilt für beliebige andere Einsatzgebiete der Sensoranordnung 11. Die beschriebenen Ausführungsbeispiele lassen sich auch in anderen Szenarien analog implementieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung einer Sensoranordnung (11) mit folgenden Schritten:
- ein erster Sensor (32) und ein zweiter Sensor (35) werden auf einem Träger (30) montiert, wodurch die Sensoranordnung (11) gebildet wird,
- eine Koordinatentransformation zwischen einem ersten Koordinatensystem (181) des ersten Sensors (32) und einem zweiten Koordinatensystem (182) des zweiten Sensors (35) wird bestimmt,
- die Sensoranordnung (11) wird an einem Einsatzort montiert,
- die Sensoranordnung (11) wird in Relation zu einer Umgebung am Einsatzort kalibriert, wobei die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem zweiten Koordinatensystem (182) verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
- bei dem weitere Sensoren auf dem Träger (30) montiert werden,
- bei dem jeweils eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) des erstens Sensors (32) und Koordinatensystemen der weiteren Sensoren ermittelt wird,
- bei dem die zusätzlich ermittelten Koordinatentransformationen nach der Montage am Einsatzort bei der Kalibrierung der Sensoranordnung verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als erster Sensor (32) ein Laserscanner und als zweiter Sensor (35) eine Kamera, insbesondere eine Videokamera verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem
- die Sensoranordnung (11) am Einsatzort an einem Objekt montiert wird und Messdaten ihrer Umgebung erfasst,

- in den Messdaten Boden-Messdaten (21) für Teile eines Bodens (15) unter dem Objekt sowie Objekt-Messdaten für Teile des Objekts identifiziert werden,
- die Objekt-Messdaten genutzt werden, um aus den Boden-Messdaten (21) ein Boden-Koordinatensystem (16) zu ermitteln,
- eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem Boden-Koordinatensystem (16) berechnet wird,
- die Sensoranordnung (11) in Relation zu der Umgebung am Einsatzort kalibriert wird, wobei die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem zweiten Koordinatensystem (182) und die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem Boden-Koordinatensystem (16) verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 und 4,
- bei dem aus einem Bild der Kamera Spurmarkierungen (13) extrahiert werden, welche zunächst im zweiten Koordinatensystem (182) vorliegen,
- bei dem die Sensoranordnung (11) in Relation zu den Spurmarkierungen (13) kalibriert wird, indem die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem zweiten Koordinatensystem (182) und die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem Boden-Koordinatensystem (16) angewendet wird, um die Lage der Spurmarkierungen (13) im ersten Koordinatensystem (181) zu bestimmen.

6. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Objekt ein Kran (10), insbesondere ein Ladekran, Portalkran, Brückenkran, Halbportalkran, Bockkran oder Portaldrehkran ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Teile des Objekts Seitenwände eines Portalkrans sind.

8. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem Planzeichnungen des Objekts genutzt werden, um die Boden-Messdaten (21) sowie die Objekt-Messdaten rechnergestützt zu identifizieren.

9. Verfahren nach Anspruch 4,
- bei dem anhand der Objekt-Messdaten ein y-Richtungsvektor eines Objekt-Koordinatensystems ermittelt wird,
- bei dem anhand der Boden-Messdaten (21) ein z-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems (16) ermittelt wird,
- bei dem ein x-Richtungsvektor sowohl des Boden-Koordinatensystems (16) als auch des Objekt-Koordinatensystems anhand eines Kreuzproduktes des y-Richtungsvektors des Objekt-Koordinatensystems und des z-Richtungsvektors des Boden-Koordinatensystems (16) berechnet wird,
- bei dem ein z-Richtungsvektor des Objekt-Koordinatensystems aus einem Kreuzprodukt des x-Richtungsvektors und des y-Richtungsvektors des Objekt-Koordinatensystems berechnet wird,
- bei dem ein y-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems (16) aus einem Kreuzprodukt des z-Richtungsvektors und des x-Richtungsvektors des Boden-Koordinatensystems (16) berechnet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der y-Richtungsvektor des Objekt-Koordinatensystems mittels Hauptachsentransformation oder Hauptkomponentenanalyse durch einen Normalenvektor im Schwerpunkt von 3D-Messpunkten in den Objekt-Messdaten gebildet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der z-Richtungsvektor des Boden-Koordinatensystems (16) mittels Hauptachsentransformation oder Hauptkomponentenanalyse durch einen Normalenvektor im Schwerpunkt von 3D-Messpunkten in den Boden-Messdaten (21) gebildet wird.

12. Sensoranordnung (11),
- mit einem Träger (30), an dem ein erster Sensor (32) mit einem ersten Koordinatensystem (181) und ein zweiter Sen-

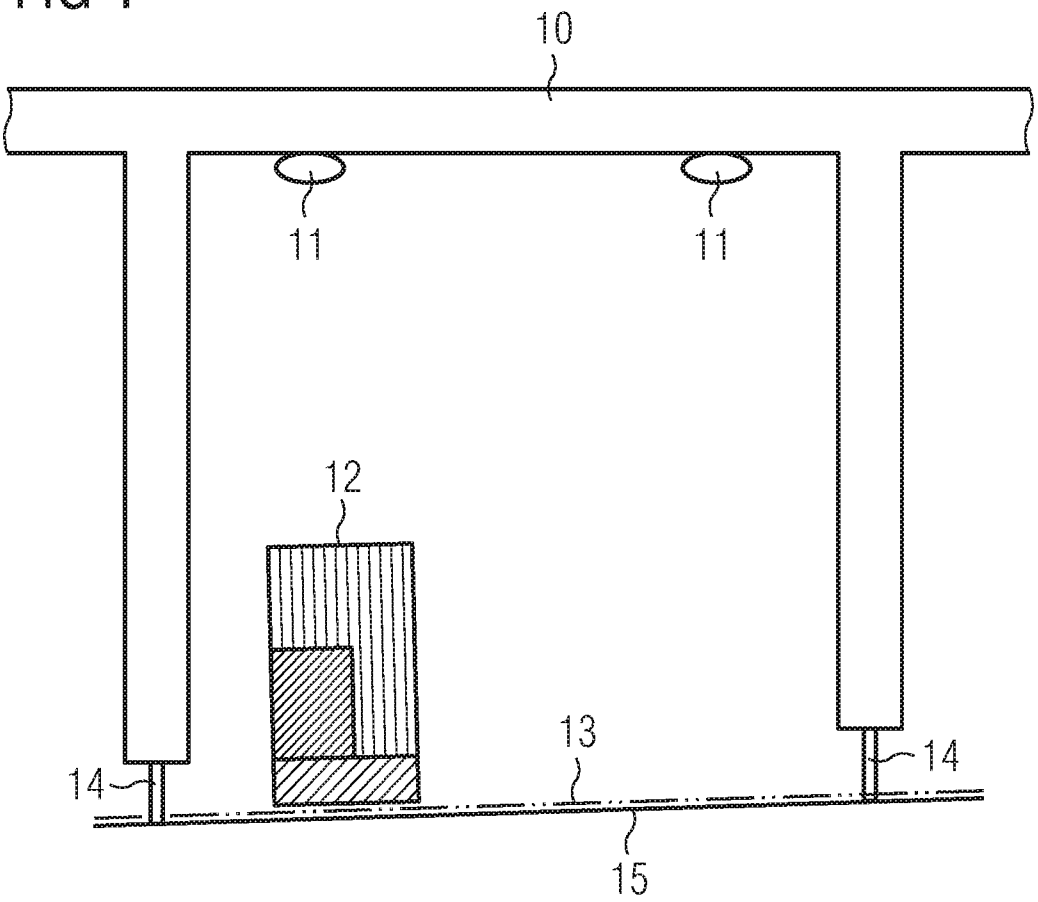
sor (35) mit einem zweiten Koordinatensystem (182) montiert sind, und
- mit einer Recheneinheit, auf der eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und dem zweiten Koordinatensystem (182) gespeichert ist.

13. Sensoranordnung (11) nach Anspruch 12,
bei dem der erste Sensor (32) ein Laserscanner und der zweite Sensor (35) eine Kamera, insbesondere eine Videokamera ist.

14. Sensoranordnung (11) nach Anspruch 13, bei dem der Laserscanner an dem Träger (30) über eine Drehantrieb (31) schwenkbar montiert ist.

15. Sensoranordnung (11) nach Anspruch 12,
- bei der an dem Träger (30) zusätzlich weitere Sensoren mit weiteren Koordinatensystemen montiert sind,
- bei der auf der Recheneinheit zusätzliche Koordinatentransformationen zwischen dem ersten Koordinatensystem (181) und den Koordinatensystemen der weiteren Sensoren gespeichert sind.

FIG 1



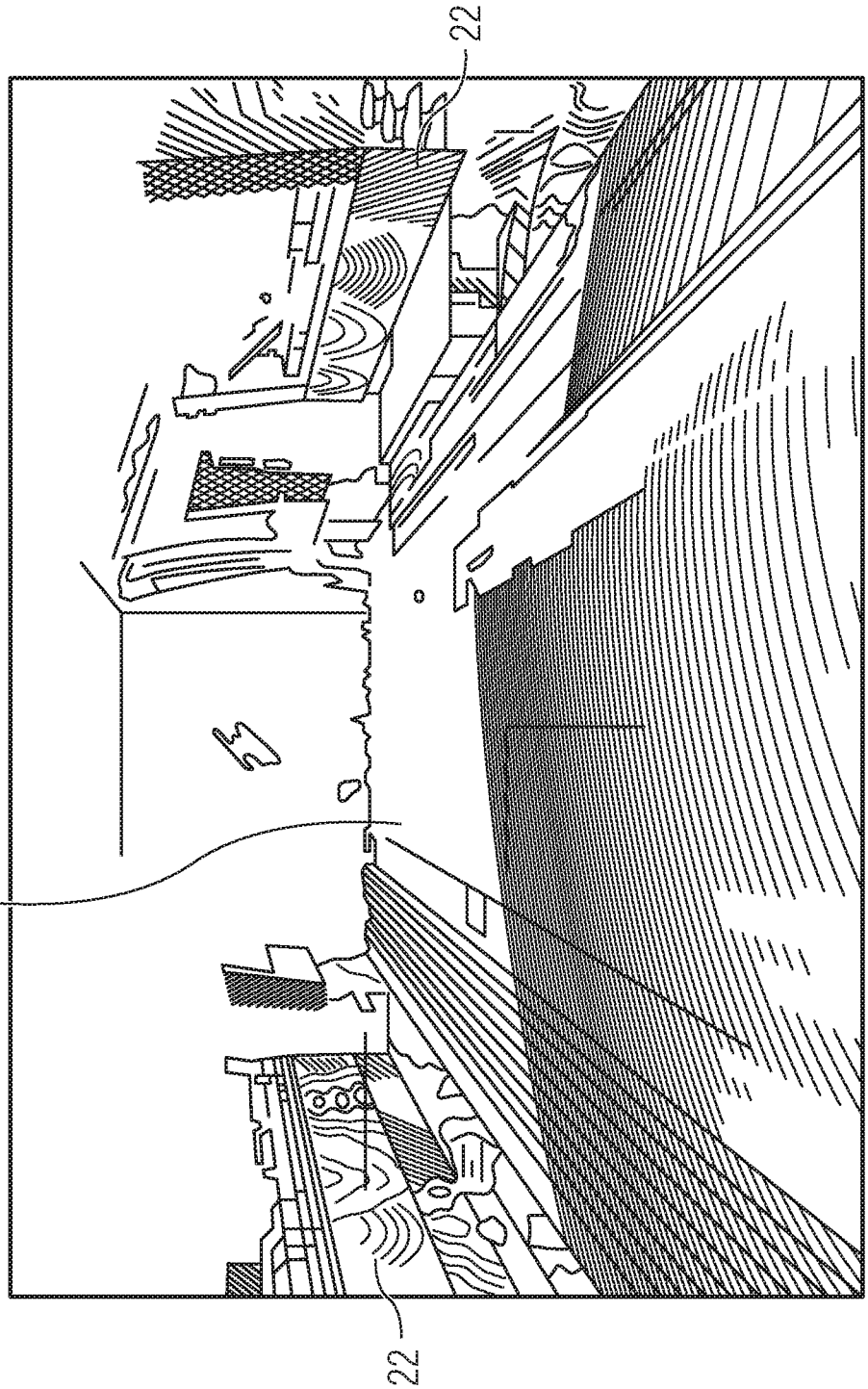


FIG 2

FIG 3

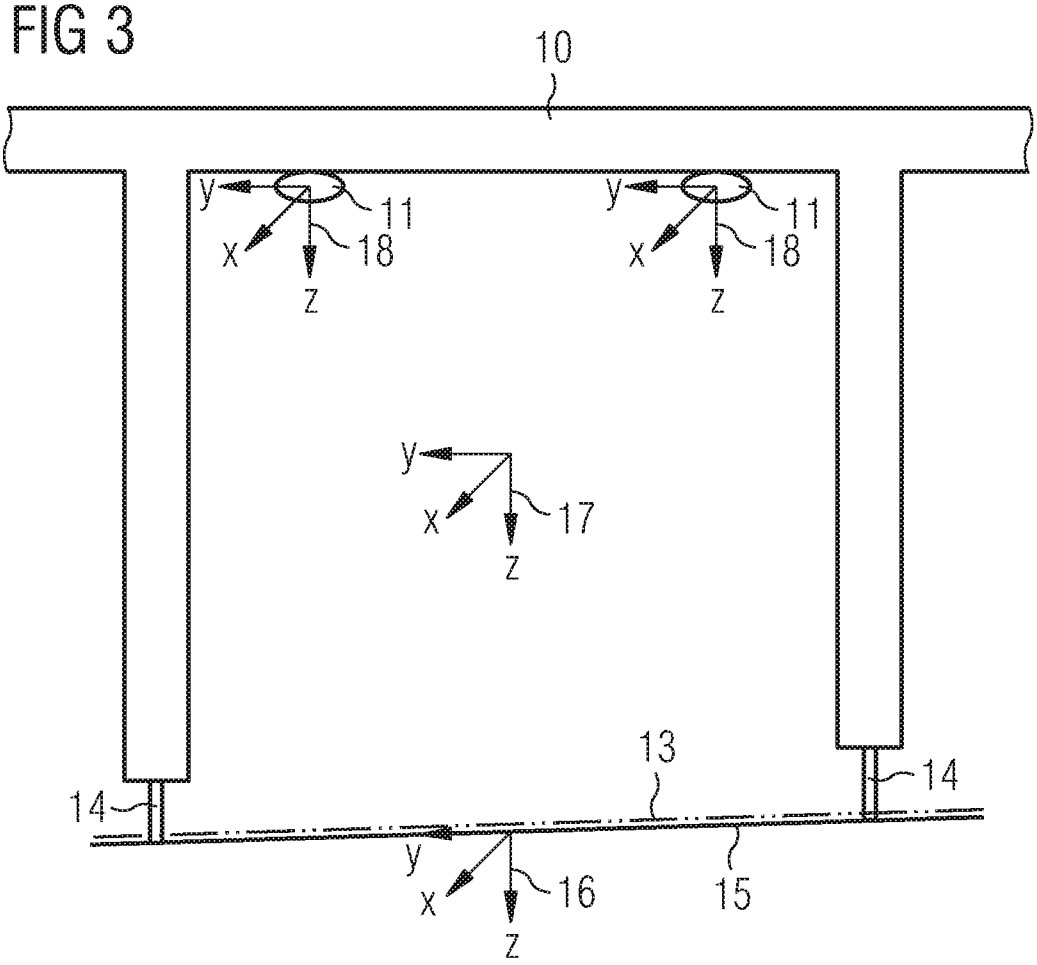


FIG 4

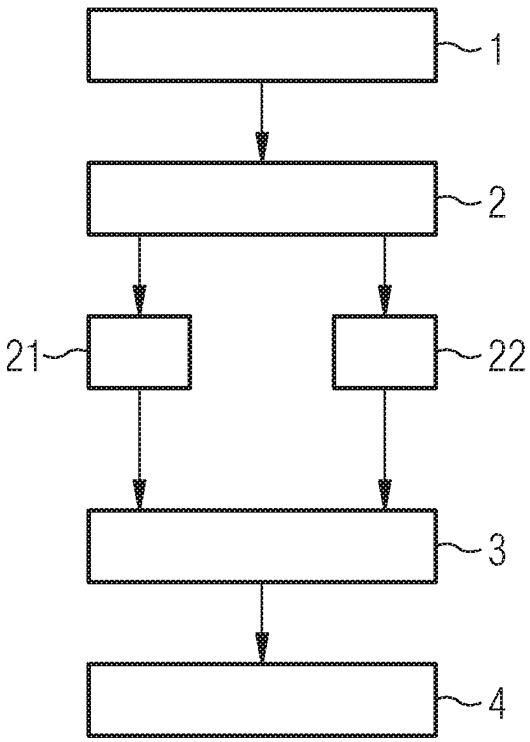
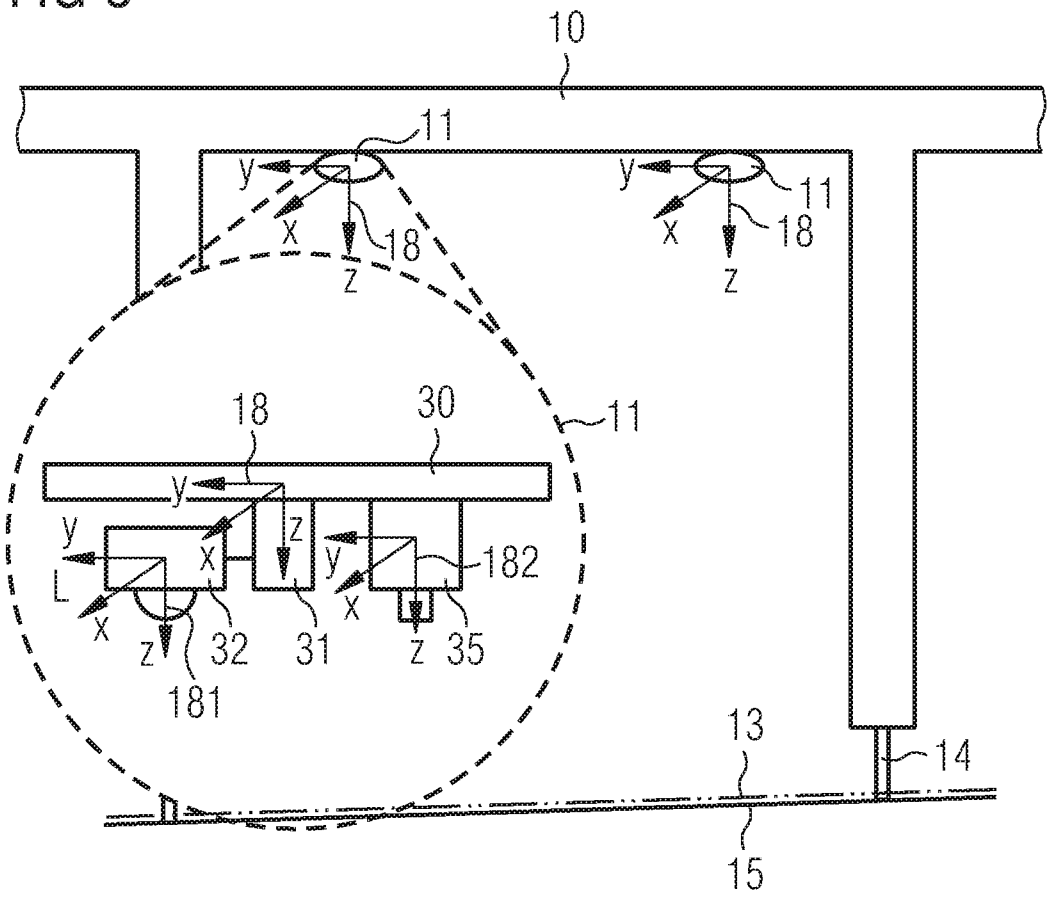


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/062832

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01C15/00
ADD. B66C19/00 B65G63/00 G01S17/89

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01C G01S B66C B65G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 615 047 A (IBEO AUTOMOBILE SENSOR GMBH [DE]) 11 January 2006 (2006-01-11)	1
X	paragraphs [0047] - [0058]; figures 1,2 paragraphs [0064], [0106] - [0110]	12-15
A	EP 1 666 919 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 7 June 2006 (2006-06-07)	1
X	paragraphs [0026] - [0029]; figures 1A,4 paragraphs [0034], [0035]; figure 7	12-15
A	EP 1 208 521 B (METROLOGIC INSTR INC [US]) 29 March 2006 (2006-03-29)	1
X	paragraph [0151]; figure 55 paragraph [0149]; figure 53	12-15
A	EP 0 342 655 A (TAX INGENIEURGESELLSCHAFT MBH [DE]) 23 November 1989 (1989-11-23) column 9, line 49 - column 11, line 1; figures 3-5	1,12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 Januar 2009	22/01/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jakob, Clemens

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/062832

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1615047 A	11-01-2006	DE 102004033114 A1	26-01-2006
		JP 2006038843 A	09-02-2006
		US 2006290920 A1	28-12-2006
EP 1666919 A	07-06-2006	CN 1779483 A	31-05-2006
		DE 602005004365 T2	02-01-2009
		JP 2006151125 A	15-06-2006
		US 2006125679 A1	15-06-2006
EP 1208521 B	29-03-2006	AT 322049 T	15-04-2006
		AU 5326600 A	28-12-2000
		CA 2376683 A1	14-12-2000
		EP 1208521 A1	29-05-2002
		US 7104453 B1	12-09-2006
		WO 0075856 A1	14-12-2000
		US 2002179708 A1	05-12-2002
EP 0342655 A	23-11-1989	DE 3816988 A1	30-11-1989
		HK 123095 A	04-08-1995
		JP 2018295 A	22-01-1990
		US 5048703 A	17-09-1991

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/062832

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01C15/00
ADD. B66C19/00 B65G63/00 G01S17/89

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01C G01S B66C B65G

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 615 047 A (IBEO AUTOMOBILE SENSOR GMBH [DE]) 11. Januar 2006 (2006-01-11)	1
X	Absätze [0047] - [0058]; Abbildungen 1,2 Absätze [0064], [0106] - [0110]	12-15
A	EP 1 666 919 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 7. Juni 2006 (2006-06-07)	1
X	Absätze [0026] - [0029]; Abbildungen 1A,4 Absätze [0034], [0035]; Abbildung 7	12-15
A	EP 1 208 521 B (METROLOGIC INSTR INC [US]) 29. März 2006 (2006-03-29)	1
X	Absatz [0151]; Abbildung 55 Absatz [0149]; Abbildung 53	12-15
A	EP 0 342 655 A (TAX INGENIEURGESELLSCHAFT MBH [DE]) 23. November 1989 (1989-11-23) Spalte 9, Zeile 49 - Spalte 11, Zeile 1; Abbildungen 3-5	1,12

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, *aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist*
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" *Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach* dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
13. Januar 2009	22/01/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Fax: (+31–70) 340–3016	Jakob, Clemens

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/062832

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1615047	A	11-01-2006	DE 102004033114	A1	26-01-2006
			JP 2006038843	A	09-02-2006
			US 2006290920	A1	28-12-2006
EP 1666919	A	07-06-2006	CN 1779483	A	31-05-2006
			DE 602005004365	T2	02-01-2009
			JP 2006151125	A	15-06-2006
			US 2006125679	A1	15-06-2006
EP 1208521	B	29-03-2006	AT 322049	T	15-04-2006
			AU 5326600	A	28-12-2000
			CA 2376683	A1	14-12-2000
			EP 1208521	A1	29-05-2002
			US 7104453	B1	12-09-2006
			WO 0075856	A1	14-12-2000
			US 2002179708	A1	05-12-2002
EP 0342655	A	23-11-1989	DE 3816988	A1	30-11-1989
			HK 123095	A	04-08-1995
			JP 2018295	A	22-01-1990
			US 5048703	A	17-09-1991