



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 207 523.8**

(22) Anmeldetag: **22.04.2014**

(43) Offenlegungstag: **22.10.2015**

(51) Int Cl.: **G01S 7/40 (2006.01)**

**G01S 13/88 (2006.01)**

**G01S 13/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

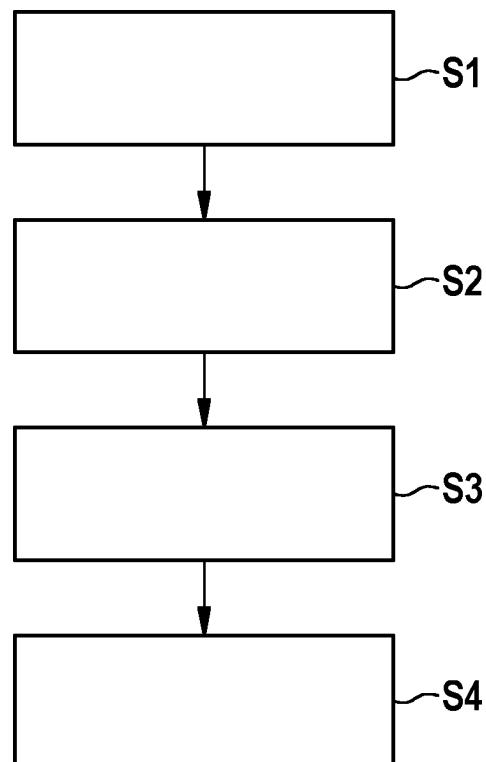
(72) Erfinder:

**Lehnertz, Benedikt, 71634 Ludwigsburg, DE;  
Scheschko, Toni Manuel, 71729 Erdmannhausen,  
DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM KALIBRIEREN EINES RADARSSENSORS UND RADARSYSTEM**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsensors, mit den Schritten Anordnen mindestens eines Referenzobjekts an einer vorgegebenen Position in dem Sichtfeld des Radarsensors, Erfassen einer geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts durch den Radarsensor, Berechnen eines Korrekturwertes für die Position des mindestens einen Referenzobjekts basierend auf der vorgegebenen Position des mindestens einen Referenzobjekts und der von dem Radarsensor erfassten geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts, und Anwenden des berechneten Korrekturwertes auf durch den Radarsensor erfasste geschätzte Positionen von weiteren Objekten in dem Sichtfeld des Radarsensors. Ferner offenbart die vorliegende Erfindung ein entsprechendes Radarsystem.



### Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsensors und ein entsprechendes Radarsystem.

#### Stand der Technik

**[0002]** Radarsensoren werden heute in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Beispielsweise können Radarsensoren in mobilen oder stationären Anwendung zu Umfeldüberwachung eingesetzt werden. In Fahrzeugen werden Radarsensoren zum Beispiel eingesetzt, um vorausfahrende oder sich von hinten nähernende Fahrzeuge zu detektieren und das Fahrzeug gegebenenfalls Abzubremsen oder den Fahrer zu warnen.

**[0003]** Stationäre Radarsensoren können dagegen eingesetzt werden, um z.B. einen vorgegebenen Raum zu überwachen. Beispielsweise können mit einem Radarsensor Bahübergänge überwacht werden. Mit Hilfe des Radarsensors soll an solchen Bahnübergängen erkannt werden, ob sich ein Objekt z.B. auf oder in der Nähe der Schienen befindet. Wird ein solches Objekt erkannt, kann eine Warnung an einen Zugführer eines sich nährenden Zugs gerichtet werden oder der Zug z.B. automatisch abgebremst werden.

**[0004]** Um mit stationären Radarsensoren einen solchen vorgegebenen Raum effektiv überwachen zu können, ist es notwendig, die Größe der von dem Radarsensor erfassten Objekte bestimmen zu können.

**[0005]** Die US 2011 007 157 A1 zeigt z.B. ein Radarsystem zur Überwachung eines vorgegebenen Raums.

**[0006]** Bekannte Radarsensoren verfügen über eine Höhenschätzung für vor dem jeweiligen Radarsensor befindliche Objekte. Allerdings ist für diese Höhenschätzung eine parallele Ausrichtung der vertikalen Sensorachse mit der Ebene, auf welcher sich die Objekte befinden, notwendig. Bereits kleine Abweichungen von wenigen 10-tel Grad zwischen dieser Ebene und der vertikalen Sensorachse können zu großen Fehlern in der Schätzung der Objektgröße führen. Beispielsweise führt eine kleine Abweichung von  $1^\circ$  bei einer Entfernung des Objekts zu dem Radarsensor von 20m bereits zu einer Ungenauigkeit in der Höhenschätzung von 0.5m. Dieser Schverhalt wird in **Fig. 6** veranschaulicht.

**[0007]** In **Fig. 6** ist ein Radarsensor in einer Höhe  $h$  angeordnet. Die Straße, die die zu überwachende Ebene darstellt, verläuft horizontal. Die vertikale Sensorachse ist um einen Winkel  $\alpha$  nach oben verdreht. Dadurch wird die Objekthöhe durch den Radarsensor niedriger geschätzt (schraffierter Bereich), als die reale Objekthöhe (nicht schraffierter Bereich) eigentlich ist.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Radarsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

Demgemäß ist vorgesehen:

**[0009]** Ein Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsensors, mit den Schritten Anordnen mindestens eines Referenzobjekts an einer vorgegebenen Position in dem Sichtfeld des Radarsensors, Erfassen einer geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts durch den Radarsensor, Berechnen eines Korrekturwertes für die Position des mindestens einen Referenzobjekts basierend auf der vorgegebenen Position des mindestens einen Referenzobjekts und der von dem Radarsensor erfassten geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts, und Anwenden des berechneten Korrekturwertes auf durch den Radarsensor erfasste geschätzte Positionen von weiteren Objekten in dem Sichtfeld des Radarsensors.

Ferner ist vorgesehen:

**[0010]** Ein Radarsystem mit einem Radarsensor und eine Steuereinrichtung, welche dazu ausgebildet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen.

#### Vorteile der Erfindung

**[0011]** Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Erkenntnis besteht darin, dass eine manuelle Kalibrierung eines Radarsensors sehr aufwändig und fehleranfällig ist.

**[0012]** Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Idee besteht nun darin, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen und ein Verfahren vorzusehen, bei welchem ein Radarsensor sich selbst automatisch kalibriert, ohne dass ein Zutun eines Technikers notwendig ist.

**[0013]** Dazu werden an vorgegebenen Positionen Referenzobjekte platziert, die daraufhin von dem Radarsensor erfasst werden. Dem Radarsensor sind diese vorgegebenen Positionen bekannt.

**[0014]** Dadurch kann der Radarsensor einen Abgleich zwischen den aus dem Radarsignal geschätzten Positionen der Referenzobjekte und den ihm bekannten realen Positionen der Referenzobjekte durchführen.

**[0015]** Der Abgleich beinhaltet erfindungsgemäß, dass ein Korrekturwert zur Korrektur der geschätzten Position eines erfassten Objekts berechnet wird. Dieser Korrekturwert kann insbesondere basierend auf den bekannten vorgegebenen Positionen der Referenzobjekte und den aus dem Radarsignal geschätzten Positionen berechnet werden.

**[0016]** Schließlich kann dieser berechnete Korrekturwert auf weitere Messungen bzw. auf die aus einem Radarsignal geschätzten Positionen von Objekten angewendet werden.

**[0017]** Die vorliegende Erfindung bietet eine sichere und einfache Möglichkeit, einen stationären Radarsensor in der Vertikalen zu justieren.

**[0018]** Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

**[0019]** In einer Ausführungsform weist das Erfassen einer geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts das Identifizieren des mindestens einen Referenzobjekts in einer Vielzahl von durch den Radarsensor erfassten Objekten auf. Dadurch kann eine Kalibrierung auch dann durchgeführt werden, wenn sich neben den Referenzobjekten weitere Objekte vor dem Radarsensor bzw. in dem Sichtfeld des Radarsensors befinden.

**[0020]** In einer Ausführungsform wird das Identifizieren insbesondere anhand der Rückstreuistung des jeweiligen Objekts durchgeführt. Dies ermöglicht eine sehr einfache Identifizierung der Referenzobjekte.

**[0021]** In einer Ausführungsform wird eine durch den Radarsensor zu überwachende Fläche vorgegeben und es werden mindestens zwei Referenzobjekte in der zu überwachenden Fläche angeordnet. Diese Anordnung ermöglicht eine einfache Kalibrierung des Radarsensors mit wenigen Referenzobjekten.

**[0022]** In einer Ausführungsform wird beim Berechnen eines Korrekturwertes die Differenz zwischen der tatsächlichen Höhe jedes Referenzobjekts und der durch den Sensor erfassten geschätzten Höhe des jeweiligen Referenzobjekts berechnet. Aus den berechneten Differenzen wird eine Abweichungsebene gebildet. Durch die Verwendung der Referenzobjekte wird eine sehr einfache Berechnung der Abweichungsebene möglich.

**[0023]** In einer Ausführungsform weist das Anwenden des berechneten Korrekturwertes das Berechnen des Höhenwertes zu der geschätzten Position jedes der Objekte in der Abweichungsebene auf. Ferner weist das Anwenden des berechneten Korrekturwertes für jedes Objekt das Addieren des berechneten Höhenwertes in der Abweichungsebene zu dem Höhenwert der geschätzten Position des jeweiligen Objekts auf. Auf diese Art kann eine sehr einfache Korrektur der Höhe des jeweiligen Objekts durchgeführt werden.

**[0024]** In einer Ausführungsform weist das Berechnen des Höhenwertes in der Abweichungsebene das Erzeugen einer Geradengleichung auf, welche die horizontale Position und die Entfernung des jeweiligen Objektes als feste Bezugsgrößen und die Höhe des jeweiligen Objekts als variable Bezugsgröße aufweist. Ferner wird die erzeugte Geradengleichung in die Ebengleichung der Abweichungsebene eingesetzt und die resultierende Gleichung nach der variablen Bezugsgröße aufgelöst. Dies ermöglicht eine sehr einfache Umsetzung der zur Korrektur eines Höhenwertes notwendigen Schritte mittels einfacher Vektorgeometrie. Diese Berechnungen können z.B. in einer Steuereinrichtung als für eine Datenverarbeitung durch eine Recheneinrichtung optimierte Programmbefehle ausgebildet sein.

**[0025]** In einer Ausführungsform wird der Wert für die variable Bezugsgröße in die erzeugte Geradengleichung eingesetzt. Ferner wird der in der Geradengleichung resultierende Wert für die Höhe des jeweiligen Objekts als Höhenwert des jeweiligen Objekts in der Korrekturebene genutzt.

**[0026]** In einer Ausführungsform werden die Schritte S1–S3 bei einer Inbetriebnahme des Radarsensors einmalig ausgeführt. Dies vereinfacht die Inbetriebnahme deutlich, da keine manuelle Kalibrierung des Radarsensors notwendig ist.

**[0027]** In einer Ausführungsform werden die Schritte S1–S3 während dem Betrieb des Radarsensors zyklisch ausgeführt. Dies ermöglicht es, auf sich während dem Betrieb des Radarsensors verändernde Positionen bzw. Ausrichtungen des Radarsensors zu reagieren.

**[0028]** In einer Ausführungsform ist das mindestens eine Referenzobjekt ein Tripelspiegel. Dadurch kann eine sehr einfache und genaue Lokalisierung der Referenzobjekte durchgeführt werden.

**[0029]** In einer weiteren Ausführungsform ist das mindestens eine Referenzobjekt eines der in dem Sichtfeld des Radarsensors befindlichen weiteren Objekte. Dadurch können z.B. fest installierte Objekte, wie z.B. Schrankenkästen an Bahnübergängen, für die Kalibrierung genutzt werden. Dies ermöglicht insbesondere eine zyklische Neukalibrierung im Betrieb des Radarsensors.

**[0030]** In einer Ausführungsform ist der Radarsensor als ein FMCW-Radarsensor ausgebildet. Dadurch kann eine von den Wetterbedingungen unabhängige Objekterfassung mit Hilfe des Radarsensors sichergestellt werden.

**[0031]** Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0032]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

**[0033]** **Fig. 1** ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0034]** **Fig. 2** ein Blockdiagramm eines Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems;

**[0035]** **Fig. 3** ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0036]** **Fig. 4** ein weiteres Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0037]** **Fig. 5** ein weiteres Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

**[0038]** **Fig. 6** ein Diagramm zur Veranschaulichung eines nicht kalibrierten Radarsensors.

**[0039]** In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nichts anderes angegeben ist – mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0040]** **Fig. 1** zeigt ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Kalibrieren eines Radarsensors **1**.

**[0041]** Das Verfahren sieht vor, dass in einem ersten Schritt S1 mindestens ein Referenzobjekt **2-1-2-4** an einer vorgegebenen Position in dem Sichtfeld **3** des Radarsensors **1** angeordnet wird.

**[0042]** Daraufhin wird eine geschätzte Position des mindestens einen Referenzobjekts **2-1-2-4** durch den Radarsensor **1** erfasst.

**[0043]** In einem dritten Schritt S3 wird ein Korrekturwert für die Position des mindestens einen Referenzobjekts **2-1-2-4** basierend auf der vorgegebenen Position des mindestens einen Referenzobjekts **2-1-2-4** und der von dem Radarsensor **1** erfassten geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts **2-1-2-4** berechnet.

**[0044]** Schließlich wird der berechnete Korrekturwert auf durch den Radarsensor **1** erfasste geschätzte Positionen von weiteren Objekten **4-1-4-8** in dem Sichtfeld **3** des Radarsensors **1** angewandt.

**[0045]** In einer Ausführungsform sieht das Verfahren ferner vor, dass das mindestens eine Referenzobjekt **2-1-2-4** in einer Vielzahl von durch den Radarsensor erfassten Objekten **2-1-2-4, 4-1-4-8** identifiziert wird. Dies kann z.B. anhand spezieller Merkmale wie der Rückstreuistung des jeweiligen Objekts **2-1-2-4, 4-1-4-8** geschehen.

**[0046]** Im Anschluss kann die korrekte Höhe eines der Objekte **2-1-2-8** wie folgt berechnet werden: Zuerst werden für die Referenzobjekte **2-1-2-4** die Differenzen zwischen deren realer durch die vorgegebenen Positionen festgelegten Einbauhöhen und den vom Sensor geschätzten Höhen berechnet:

$$diff_i = h_{Ref,i} - h_{SensorObjekt,i}$$

**[0047]** Dabei bezeichnet,  $h_{Ref,i}$  die durch die vorgegebene Position des  $i$ -ten Referenzobjekts **2-1-2-4** festgelegte Einbauhöhe und  $h_{SensorObjekt,i}$  die von dem Sensor geschätzte Höhe des  $i$ -ten Referenzobjekts **2-1-2-4**.

**[0048]** Aus dieser Information kann eine Abweichungsebene  $E$  gebildet werden, die wie folgt definiert ist:

$$E : \vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{p}) \quad \text{mit } \vec{u} = \begin{pmatrix} x_{SensorObjekt,1} \\ y_{SensorObjekt,1} \\ diff_1 \end{pmatrix}, \vec{v} = \begin{pmatrix} x_{SensorObjekt,2} \\ y_{SensorObjekt,2} \\ diff_2 \end{pmatrix} \text{ und } \vec{n} = \vec{u} \times \vec{v} \quad \text{und } \vec{p} = 0$$

**[0049]** Anhand dieser Abweichungsebene kann der Fehler in der durch den Sensor bestimmten Höhe des jeweiligen Objekts **4-1-4-8** bestimmt werden.

**[0050]** Alternativ können auch zwei Verdrehungswinkel berechnet werden. Mit diesen könnte ein Techniker den Radarsensor **1** verdrehen. Zwei Winkel sind notwendig, da der Radarsensor **1** bzgl. x- und y-Achse gekippt sein kann.

**[0051]** Anschließend wird in jedem Messzyklus des Radarsensors **1** die geschätzte Höhe der Objekte **4-1-4-8** korrigiert. Dies erfolgt, indem für jedes Objekt **4-1-4-8** anhand seiner  $(x, y)$ -Position, also seiner Position in der von dem Radarsensor **1** beobachteten Ebene der entsprechende  $z$ -Wert bzw. Höhenwert in der Abweichungsebene  $E$  bestimmt wird.

**[0052]** Dazu wird die von dem Radarsensor **1** erfasste Position des jeweiligen Objekts **4-1-4-8** als Gerade dargestellt:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

**[0053]** Anschließend wird die Gerade in die Ebenengleichung der Abweichungsebene  $E$  eingesetzt und nach  $\lambda$  aufgelöst.

$$E : \vec{n} \cdot \left( \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \vec{u} \right)$$

**[0054]** Das Ergebnis für  $\lambda$  wird daraufhin in die Geradengleichung für die erfasste Position des jeweiligen Objekts **4-1-4-8** eingesetzt. Als Ergebnis erhält man:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z_{\text{Abweichung}} \end{pmatrix}$$

**[0055]** Die Höhe des Sensorobjektes lässt sich nun folgendermaßen korrigieren:

$$z_{\text{korr}} = z_{\text{Sensor}} + z_{\text{Abweichung}}$$

**[0056]** Dabei stellt  $z_{\text{korr}}$  die korrigierte Höhe des jeweiligen Objekts **4-1-4-8** dar.  $z_{\text{Sensor}}$  stellt die von dem Radarsensor **1** geschätzte Höhe des jeweiligen Objekts **4-1-4-8** dar und  $z_{\text{Abweichung}}$  den Korrekturwert.

**[0057]** Das in Zusammenhang mit **Fig. 1** dargestellte Verfahren kann vorsehen, dass die Abweichungsebene E lediglich einmal bei der Inbetriebnahme des jeweiligen Radarsensors **1** durchgeführt wird. Alternativ kann die Abweichungsebene E zyklisch oder nach einer festgestellten Veränderung der Position des Radarsensors **1** berechnet werden. Solche Veränderung könnte z.B. durch Positionssensoren oder durch Vibrationssensoren oder durch die Erfassung stationärer Referenzobjekte in der zu überwachenden Fläche **5** detektiert werden.

**[0058]** Das dargestellte erfindungsgemäße Verfahren kann auf jede beliebige Art in Rechenschritte übertragen werden, die von einer programmgesteuerten Einrichtung ausgeführt werden können. Dabei kann die Vektorrechnung beibehalten werden. Alternativ kann aber auch eine andere Art der Berechnung, z.B. Komponentenweise, gewählt werden.

**[0059]** **Fig. 2** zeigt ein Blockdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems **1**.

**[0060]** Das Radarsystem **10** weist eine Steuereinrichtung **11** auf, die mit einem Radarsensor **1** gekoppelt ist, um diesen anzusteuern und das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

**[0061]** Die Steuereinrichtung **11** kann z.B. als ein in den Radarsensor **1** integriertes Steuergerät **11** ausgeführt sein. Alternativ kann die Steuereinrichtung **11** auch als extern zu dem Radarsensor **1** angeordnete programmgesteuerte Einrichtung **11** ausgebildet sein. In solch einem Fall kann die Steuereinrichtung **11** z.B. an dem Radarsensor **1** angeordnet sein. Alternativ kann die Steuereinrichtung **11** aber auch z.B. in einer Steuerzentrale oder einem Rechenzentrum angeordnet sein und mit dem Radarsensor **1** über eine Datenverbindung, z.B. eine Netzwerkverbindung, gekoppelt sein.

**[0062]** Der Radarsensor **1** ist in **Fig. 2** als FMCW-Radarsensor **1** ausgebildet. Weitere Arten von Radarsensoren **1** sind ebenfalls möglich.

**[0063]** Von dem Radarsensor **1** ausgehend ist eine in etwa rechtwinklig aufgespannte Fläche dargestellt, die das Sichtfeld **3** des Radarsensors **1** darstellt. Innerhalb dieses Sichtfeldes **3** ist eine zu überwachende Fläche **5** dargestellt, die in etwa trapezförmig ausgebildet ist. In der zu überwachenden Fläche **5** ist jeweils an den von dem Radarsensor **1** entfernten Ecken des Trapezes je ein Referenzobjekt **2-1-2-2** (durch dicke Punkte) dargestellt. Zwischen dem Radarsensor **1** und der zu überwachenden Fläche **5** ist ein Objekt **4-1** (durch dünne Punkte) dargestellt. Weitere Objekte **4-2-4-8** (durch dünne Punkte dargestellt) sind um die trapezförmige zu überwachende Fläche **5** verteilt dargestellt.

**[0064]** **Fig. 3** zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0065]** Die Anordnung der **Fig. 3** entspricht weitgehend der Anordnung der **Fig. 2**. Allerdings ist der Radarsensor **1** innerhalb der zu überwachenden Fläche **5** angeordnet.

**[0066]** Diese Anordnung ermöglicht eine sehr einfache Bestimmung des Korrekturwertes bzw. der Abweichungsebene E, da die zu überwachende Fläche **5** bzw. Ebene **5** durch die Position des Radarsensors **1** und zwei weitere in der Ebene **5** angeordnete Punkte (die Positionen der Referenzobjekte **2-1-2-2**) bestimmt werden kann.

**[0067]** **Fig. 4** zeigt ein weiteres Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bei welchem im Gegensatz zur Anordnung der **Fig. 3** der Radarsensor **1** vor der zu überwachenden Fläche **5** bzw. Ebene **5** liegt, ähnlich der Anordnung der **Fig. 2**.

**[0068]** Da der Radarsensor der **Fig. 4** außerhalb der zu überwachenden Fläche **5** liegt, werden vier Referenzobjekte **2-1-2-4** genutzt, um die Fläche **5** eindeutig identifizieren zu können. Diese Referenzobjekte **2-1-2-4** sind jeweils an einer Ecke der trapezförmigen zu überwachenden Fläche **5** angeordnet. Es kann bereits mit lediglich drei der Referenzobjekte **2-1-2-4** eine entsprechende Berechnung durchgeführt werden. Die in Zusammenhang mit **Fig. 1** erläuterten Berechnungen verändern sich dadurch wie folgt:

$$E : \vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{p}) \quad \text{mit } \vec{u} = \begin{pmatrix} x_{SensorObjekt,3} - x_{SensorObjekt,1} \\ y_{SensorObjekt,3} - y_{SensorObjekt,1} \\ diff_3 - diff_1 \end{pmatrix}, \vec{v} = \begin{pmatrix} x_{SensorObjekt,3} - x_{SensorObjekt,2} \\ y_{SensorObjekt,3} - y_{SensorObjekt,2} \\ diff_3 - diff_2 \end{pmatrix} \quad \text{und } \vec{n} = \vec{u} \times \vec{v} \quad \text{und } \vec{p} = \begin{pmatrix} x_{SensorObjekt,3} \\ y_{SensorObjekt,3} \\ diff_3 \end{pmatrix}$$

$$E : \vec{n} \cdot \left( \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \vec{p} \right)$$

**[0069]** **Fig. 5** zeigt ein weiteres Diagramm zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. In **Fig. 5** ist eine Seitenansicht eines Radarsensors **1** und der zu überwachenden Fläche **5** (einer Straße) dargestellt. Die Straße weist dabei eine Neigung mit dem Winkel  $\alpha$  auf. Der Radarsensor **1** ist in einer Höhe  $h$  über der Straße **5** angeordnet. Dabei ist die vertikale Sensorachse des Radarsensors **1** um einen Winkel  $\beta$  gegenüber einer korrekten Sensorachse nach oben verdreht. Durch eine weiße Raute ist ein Objekt **4-1** dargestellt, welches sich in einer Entfernung  $x_1$  vor dem Sensor befindet und in einer Höhe  $h_1$  über der Straßenoberfläche.

**[0070]** Dadurch, dass die Sensorachse des Radarsensors **1** um den Winkel  $\beta$  gegenüber einer korrekten Sensorachse nach oben verdreht ist, erscheint für den Radarsensor **1** das Objekt **4-1** aber tiefer, als es in Wirklichkeit liegt. Der Radarsensor würde dem Objekt **4-1** ohne eine erfindungsgemäße Kalibrierung die Höhe  $h_2$  zuordnen, welche von der Höhe  $h_1$  um die Differenz  $diff_1$  abweicht.

**[0071]** Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorstehend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar. Insbesondere lässt sich die Erfindung in mannigfaltiger Weise verändern oder modifizieren, ohne vom Kern der Erfindung abzuweichen.

**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**

- US 2011007157 A1 [0005]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsensors (1), mit den Schritten:

Anordnen (S1) mindestens eines Referenzobjekts (**2-1-2-4**) an einer vorgegebenen Position in dem Sichtfeld (**3**) des Radarsensors (1);

Erfassen (S2) einer geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) durch den Radarsensor (1);

Berechnen (S3) eines Korrekturwertes für die Position des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) basierend auf der vorgegebenen Position des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) und der von dem Radarsensor (1) erfassten geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**); und

Anwenden (S4) des berechneten Korrekturwertes auf durch den Radarsensor (1) erfasste geschätzte Positionen von weiteren Objekten (**4-1-4-8**) in dem Sichtfeld (**3**) des Radarsensors (1).

2. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei das Erfassen (S2) einer geschätzten Position des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) das Identifizieren (S2-1) des mindestens einen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) in einer Vielzahl von durch den Radarsensor (1) erfassten Objekten (**2-1-2-4, 4-1-4-8**) aufweist;

wobei das Identifizieren (S2-1) insbesondere anhand der Rückstreuleistung des jeweiligen Objekts (**2-1-2-4, 4-1-4-8**) durchgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei eine durch den Radarsensor (1) zu überwachende Fläche (**5**) vorgegeben wird und mindestens zwei Referenzobjekte (**2-1-2-4**) in der zu überwachenden Fläche (**5**) angeordnet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

wobei beim Berechnen (S3) eines Korrekturwertes die Differenz zwischen der tatsächlichen Höhe jedes Referenzobjekts (**2-1-2-4**) und der durch den Sensor erfassten geschätzten Höhe des jeweiligen Referenzobjekts (**2-1-2-4**) berechnet wird; und

wobei aus den berechneten Differenzen eine Abweichungsebene gebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

wobei das Anwenden (S4) des berechneten Korrekturwertes das Berechnen des Höhenwertes zu der geschätzten Position jedes der Objekte (**4-1-4-8**) in der Abweichungsebene aufweist; und

wobei das Anwenden (S4) des berechneten Korrekturwertes für jedes Objekt (**4-1-4-8**) das Addieren des berechneten Höhenwertes in der Abweichungsebene zu dem Höhenwert der geschätzten Position des jeweiligen Objekts (**4-1-4-8**) aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

wobei das Berechnen des Höhenwertes in der Abweichungsebene das Erzeugen einer Geradengleichung aufweist, welche die horizontale Position und die Entfernung des jeweiligen Objektes (**4-1-4-8**) als feste Bezugsgrößen und die Höhe des jeweiligen Objekts (**4-1-4-8**) als variable Bezugsgröße aufweist; und

wobei die erzeugte Geradengleichung in die Ebenengleichung der Abweichungsebene eingestzt wird und die resultierende Gleichung nach der variablen Bezugsgröße aufgelöst wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Wert für die variable Bezugsgröße in die erzeugte Geradengleichung eingesetzt wird und der in der Geradengleichung resultierende Wert für die Höhe des jeweiligen Objekts (**4-1-4-8**) als Höhenwert des jeweiligen Objekts (**4-1-4-8**) in der Korrekturebene genutzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die Schritte S1–S3 bei einer Inbetriebnahme des Radarsensors (1) einmalig ausgeführt werden; oder

wobei die Schritte S1–S3 während dem Betrieb des Radarsensors (1) zyklisch ausgeführt werden.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei das mindestens eine Referenzobjekt (**2-1-2-4**) ein Tripelspiegel ist; und/oder

wobei das mindestens eine Referenzobjekt (**2-1-2-4**) eines der in dem Sichtfeld (**3**) des Radarsensors (1) befindlichen weiteren Objekte (**4-1-4-8**) ist.

10. Radarsystem (**10**)

mit einem Radarsensor (1);

mit einer Steuereinrichtung (11), welche dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche auszuführen.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

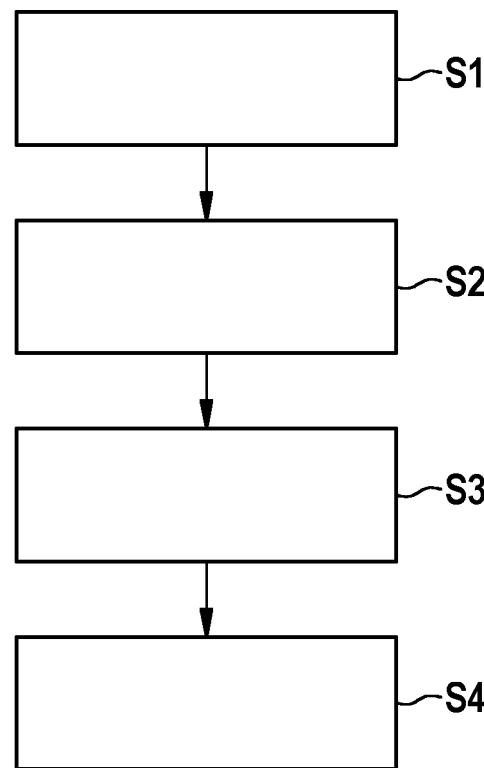


Fig. 1

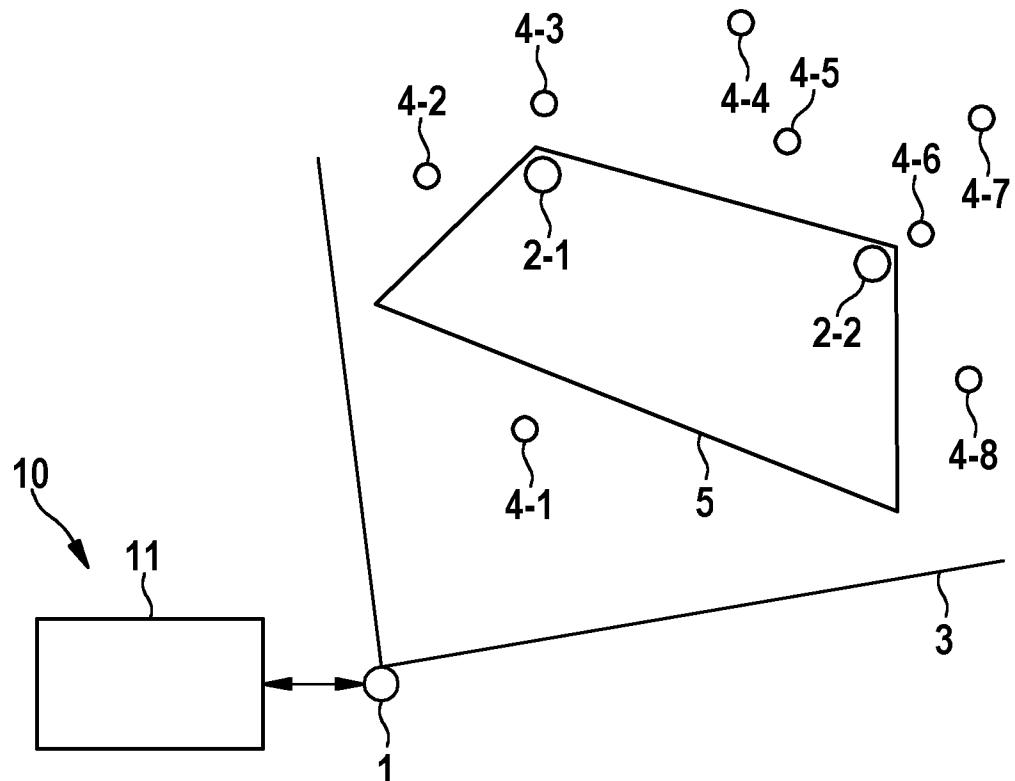


Fig. 2

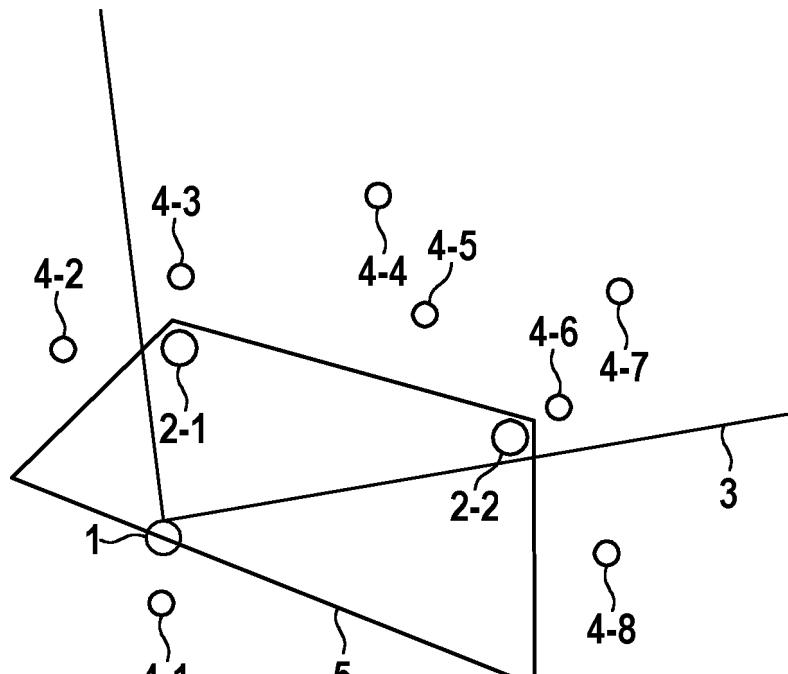


Fig. 3

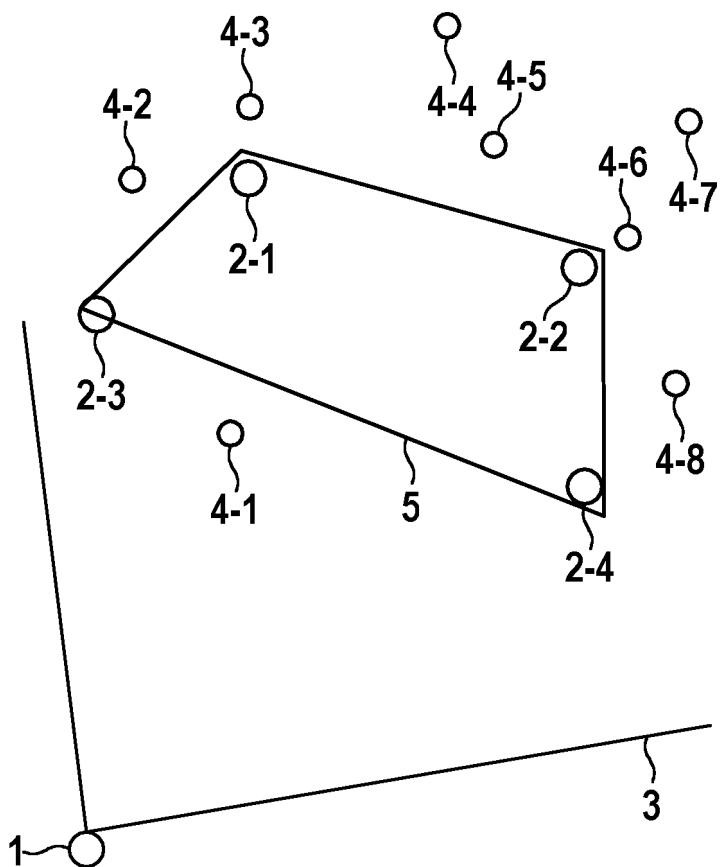


Fig. 4

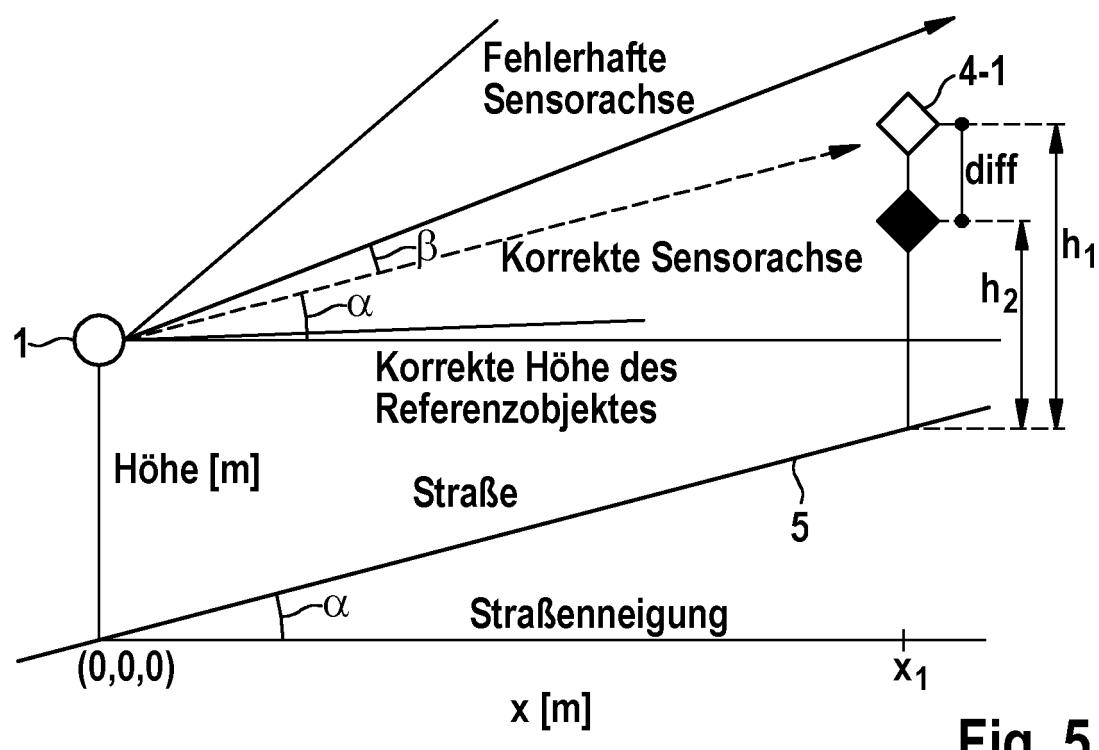


Fig. 5

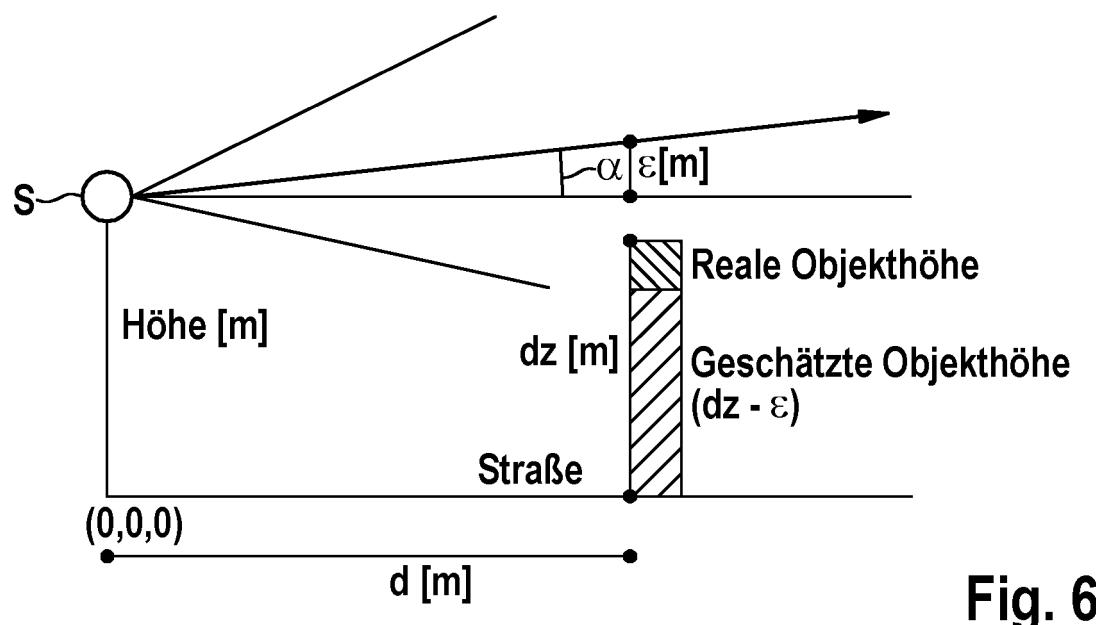


Fig. 6