



(10) **DE 10 2016 213 495 A1** 2018.01.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 213 495.7**
(22) Anmeldetag: **22.07.2016**
(43) Offenlegungstag: **25.01.2018**

(51) Int Cl.: **B60W 30/10 (2006.01)**
B60W 10/20 (2006.01)

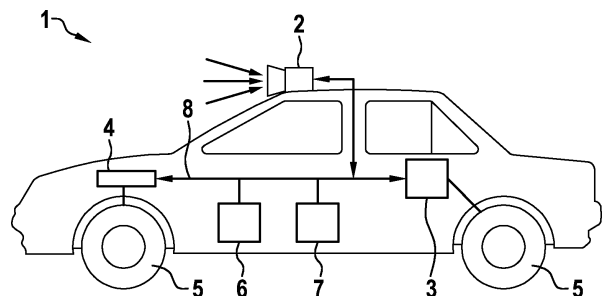
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Szabo, Vilmos, Budapest, HU; Anka, Laszlo, Budapest, HU

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Fahrassistenzverfahren, Fahrassistenzsystem und Fahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrassistenzverfahren für ein Fahrzeug (1), bei welchem (A) in einer Trainingsphase das Fahrzeug (1) von einem Fahrer durch einen Sollparcours (10) zu einer Sollzielposition (12) gesteuert wird und dabei Sollparcoursdaten erfasst werden, (B) in einer Replayphase das Fahrzeug (1) automatisch durch einen Istparcours (20) gesteuert wird, dabei Istparcoursdaten erfasst werden und über einen Vergleich von Istparcoursdaten mit Sollparcoursdaten das Steuern des Fahrzeugs (1) derart durchgeführt wird, dass der Istparcours (20) dem Sollparcours (10) angepasst ist oder wird und in einem Bereich (13) der Sollzielposition (12) endet und (C) als Sollparcoursdaten an – an der Sollfahrstrecke (15) des Sollparcours (10) äquidistant beabstandeten – Sollpositionen (16) mit einer Kamera (2) Bilder der Umgebung des Fahrzeugs (1) erfasst und aus einer Bildverarbeitung für jedes Bild Kantensegmente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren bestimmt werden.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrassistenzenverfahren, ein Fahrassistenzenystem sowie ein Fahrzeug. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Fahrassistenzenverfahren für ein Fahrzeug, ein Fahrassistenzenystem für ein Fahrzeug und insbesondere ein Kraftfahrzeug mit einem Fahrassistenzenystem.

[0002] Zur Unterstützung beim Führen eines Fahrzeugs werden vermehrt so genannte Fahrassistenzenysteme eingesetzt. Dies kann zum Beispiel mit der Absicht geschehen, ein autonomes Fahren, zum Beispiel auf einer Autobahn oder dergleichen, zu bewerkstelligen oder den Fahrzeugführer beim Rangieren und insbesondere beim Einparken zu unterstützen.

[0003] Herkömmliche Fahrassistenzenysteme verwenden vergleichsweise aufwendige Verfahren, um aus einer Sequenz zweidimensionaler Aufnahmen, die mit einer Fahrzeugkamera erzeugt werden, im Zusammenwirken mit Bewegungsdaten eine dreidimensionale Struktur und aus dieser die Lage und die Orientierung des Fahrzeugs im Raum und in Relation zur Umwelt zu erfassen (Structure-from-Motion-Konzept).

[0004] Nachteilig bei diesen herkömmlichen Verfahren ist der vergleichsweise hohe Aufwand der Datenverarbeitung zur Bewertung von Lage und Orientierung des Fahrzeugs im Raum und in Bezug auf die Umgebung. Des Weiteren sind bekannte Verfahren bezüglich ihrer Genauigkeit der Bewertung der Geometrie der Umgebung fehleranfällig.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Das erfindungsgemäße Fahrassistenzenverfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruches 1 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass mit vergleichsweise einfachen Mitteln eine besonders zuverlässige Bewertung von Lage und Orientierung eines Fahrzeugs in der Fahrumgebung möglich ist. Dies wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruches 1 dadurch erreicht, dass ein Fahrassistenzenverfahren für ein Fahrzeug geschaffen wird, bei welchem: (A) in einer Lern- oder Trainingsphase das Fahrzeug von einem Fahrer durch einen Sollparcours zu einer Sollzielposition gesteuert wird und dabei Sollparcoursdaten erfasst werden, (B) in einer Anwendungs- oder Replayphase das Fahrzeug automatisch durch einen Istparcours gesteuert wird, dabei Istparcoursdaten erfasst werden und über einen Vergleich von Istparcoursdaten mit Sollparcoursdaten das Steuern des Fahrzeugs derart durchgeführt wird, dass der Istparcours dem Sollparcours angepasst ist oder wird und in einem Bereich der Sollzielposition endet, und (C) als Sollparcoursdaten an – an einer Sollfahrstrecke des Sollparcours äquidistant beabstandeten – Sollpositionen mit einer Kamera Bilder der Umgebung des Fahrzeugs erfasst und aus einer Bildverarbeitung für jedes Bild Kantensegmente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren bestimmt werden. Durch das Erfassen von Kamerabildern der Umgebung des Fahrzeugs an äquidistant beabstandeten Positionen der Sollfahrstrecke, das heißt also entlang der durchmessenen Bogenlänge, und durch das Bestimmen von Linien- oder Kantensegmenten und von Merkmalspunkten mit entsprechenden Deskriptoren wird die zu verarbeitende Datenmenge gegenüber herkömmlichen Vorgehensweisen reduziert, wobei aus den Kantensegmenten, den Merkmalspunkten und den entsprechenden Deskriptoren ein hoher Grad an Zuverlässigkeit bei dem Vergleich zwischen Istparcoursdaten und Sollparcoursdaten erreicht wird.

[0006] Die Unteransprüche zeigen bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

[0007] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrassistenzenverfahrens ist es vorgesehen, dass in der Replayphase als Istparcoursdaten an – an einer Fahrstrecke des Istparcours äquidistant beabstandeten – Istpositionen mit einer Kamera Bilder der Umgebung des Fahrzeugs erfasst und aus einer Bildverarbeitung für jedes Bild Kantensegmente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren bestimmt werden.

[0008] Ein besonders hohes Maß an Übereinstimmung zwischen dem Istparcours gegenüber dem Sollparcours ergibt sich dann, wenn gemäß einer anderen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Fahrassistenzenverfahrens in der Replayphase eine Punktkorrespondenz ermittelt wird, indem (a) der für eine – insbesondere aktuelle – Istposition ermittelte Deskriptor mit Deskriptoren zu Sollpositionen abgeglichen wird und (b) derjenige Datensatz einer Sollposition als Referenzdatensatz bestimmt wird, bei welchem eine Deskriptorenübereinstimmung mit dem Deskriptor der Istposition maximal ist, insbesondere um dadurch zumindest näherungsweise die aktuelle Position des Fahrzeugs relativ zum Sollparcours zu bestimmen.

[0009] Die Auswertung der erfassten Daten zum Istparcours lässt sich besonders kompakt gestalten, wenn gemäß einer anderen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens in der Anwendungs- oder

[0010] Replayphase aus dem Datensatz zu einer – insbesondere aktuellen – Istposition und einem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten ein optischer Fluss \vec{f} in Form eines Vektorfeldes ermittelt wird.

[0011] Dabei ist es von besonderem Vorteil, wenn der optische Fluss \vec{f} als Vektorfeld in geeigneter Weise zerlegt wird. So kann es bei einer anderen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens vorgesehen sein, dass der optische Fluss \vec{f} in eine translatorische Komponente und eine rotatorische Komponente zerlegt wird, um eine aktuelle Orientierung des Fahrzeugs oder seiner Kamera auf dem Istparcours zu bestimmen.

[0012] Bei einer anderen Alternative des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens ist es vorgesehen, dass in der Anwendungs- oder Replayphase eine relative Orientierung ermittelt wird auf der Grundlage der jeweiligen Kantensegmente aus dem Datensatz zur Istposition und dem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten.

[0013] Die für das Unterstützen des Führers eines Fahrzeugs notwendige Genauigkeit bei der Bewertung von Position und Lage im Raum lässt sich weiter steigern, wenn gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens in der Anwendungs- oder Replayphase eine relative Orientierung ermittelt wird durch (a) Projizieren von Kantensegmenten aus dem Datensatz zur Istposition und dem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten auf eine Einheitssphäre, (b) Bestimmen von Fluchtpunkten und/oder (c) Abgleichen der Fluchtpunkte.

[0014] Besonders einfache Verhältnisse stellen sich ein, wenn alternativ oder zusätzlich in der Anwendungs- oder Replayphase bei bekannter oder bestimmter relativer Orientierung die relative Lage und Orientierung in der aktuellen Istposition in Bezug auf den Sollparcours ermittelt wird durch Triangulation der Istposition mit zwei – insbesondere nächsten – Positionen auf dem Sollparcours, insbesondere unter Verwendung einer Orientierung an der Istposition zu den beiden Positionen auf dem Sollparcours.

[0015] Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Fahrassistenzsystem für ein Fahrzeug, welches eingerichtet ist, ein Fahrassistenzverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung auszuführen oder im Zusammenhang mit einem erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahren verwendet zu werden.

[0016] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird auch ein Fahrzeug und insbesondere ein Kraftfahrzeug, vorzugsweise ein Personenkraftwagen, geschaffen. Das erfindungsgemäße Fahrzeug ist ausgebildet mit einem Antrieb, einer Lenkeinheit, einer Steuereinheit und einem Fahrassistenzsystem gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0017] Die Steuereinheit ist bei dem erfindungsgemäßen Fahrzeug ausgebildet, den Antrieb und/oder die Lenkeinheit auf der Grundlage vom erfindungsgemäßen Fahrassistenzsystem bereitgestellter Daten zu steuern.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0018] Unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren werden Ausführungsformen der Erfindung im Detail beschrieben.

[0019] Fig. 1 ist eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs.

[0020] Fig. 2 zeigt in schematischer Draufsicht zur Erläuterung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens einen Sollparcours im Vergleich zu einem Istparcours.

[0021] Fig. 3 erläutert Details zu einem Sollparcours.

[0022] Fig. 4 erläutert in schematischer Form ein Projektionsverfahren auf eine Einheitssphäre.

[0023] Fig. 5 bis Fig. 8 zeigen in Form von Graphen Aspekte des optischen Flusses im Zusammenhang mit der Bestimmung der Grundlinienausrichtung verwendeter Kameras.

[0024] Fig. 9 erläutert in schematischer Form ein Triangulationsverfahren.

[0025] Fig. 10 und Fig. 11 zeigen in Form von Graphen Ergebnisse aus Simulationen und mit realen Daten zu einem Triangulationsverfahren.

[0026] Fig. 12 bis Fig. 14 zeigen in schematischer Form Kameraansichten im Zusammenhang mit einem Sollparcours bzw. einem Istparcours.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0027] Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis Fig. 14 Ausführungsbeispiele der Erfindung im Detail beschrieben. Gleiche und äquivalente sowie gleich oder äquivalent wirkende Elemente und Komponenten werden mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Nicht in jedem Fall ihres Auftretens wird die Detailbeschreibung der bezeichneten Elemente und Komponenten wiedergegeben.

[0028] Die dargestellten Merkmale und weiteren Eigenschaften können in beliebiger Form voneinander isoliert und beliebig miteinander kombiniert werden, ohne den Kern der Erfindung zu verlassen.

[0029] Fig. 1 zeigt in schematischer Seitenansicht eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs 1.

[0030] Das erfindungsgemäße Fahrzeug gemäß Fig. 1 ist mit einem Antrieb 3 zum Antreiben eines Rades 5 ausgestattet. Es handelt sich hierbei um ein hinteres Rad 5. Des Weiteren ist das erfindungsgemäße Fahrzeug 1 mit einer Lenkeinheit 4 zum Lenken eines vorderen Rades 5 ausgebildet. Die Lenkeinheit 4 weist üblicherweise ein Lenkrad zum Betätigen durch einen Fahrzeugführer auf. Zusätzlich können entsprechende Aktuatoren, zum Beispiel im Sinne einer Servolenkung vorgesehen sein.

[0031] Im Zusammenhang mit Aspekten des autonomen Fahrens und/oder Einparkens ist erfindungsgemäß ein Fahrassistenzsystem 7 im Zusammenwirken mit einer Außenkamera 2 und einer allgemeinen Steuereinheit 6 des Fahrzeugs 1 ausgebildet.

[0032] Durch die Steuereinheit 6 gesteuert, erfasst die Kamera 2 in Fahrtrichtung des Fahrzeugs 1 die Fahrzeugumgebung und gibt über den gemeinsamen Bus 8 entsprechende Bilddaten aus, die vom Fahrassistenzsystem 7 aufgenommen werden können.

[0033] Das Fahrassistenzsystem 7 bewertet die von der Kamera 2 bereitgestellten Bilddaten, insbesondere im Zusammenhang mit einem Vergleich zwischen einem Istparcours 20 und einem Sollparcours 10, wie sie unten im Zusammenhang mit Fig. 2 im Detail erläutert werden.

[0034] Auf Grund der Bewertung durch das Fahrassistenzsystem 7 ist die Steuereinheit 6 in der Lage, den Antrieb 3 und/oder die Lenkeinheit 4 für einen autonomen Betrieb des Fahrzeugs 1 zu steuern.

[0035] Fig. 2 erläutert in einer schematischen Draufsicht Aspekte einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrassistenzverfahrens.

[0036] Dargestellt ist ein Sollparcours 10, der auch als Trainingsparcours bezeichnet werden kann. Dieser führt von einer Sollstartposition 11 zu einer Sollzielposition 12, die sich in einer gewissen Umgebung 13 befindet. Zwischen der Sollstartposition 11 und der Sollzielposition 12 ist eine Mehrzahl entlang der Bogenlänge des Sollparcours 10 äquidistant beabstandeter Zwischenpositionen vorgesehen, die auch als Sollpositionen 16 bezeichnet werden und an denen die Kamera 2 des Fahrzeugs 1 im Betrieb der Trainingsphase eine entsprechende Aufnahme der Fahrzeugumgebung in Fahrtrichtung erfasst.

[0037] In der Anwendungsphase, die auch als Replayphase bezeichnet wird, befindet sich das Fahrzeug 1 im Allgemeinen nicht direkt an der Iststartposition 11, sondern in einer vordefinierten Umgebung 17 dazu. Das bedeutet, dass – wenn sich die Iststartposition 21 des Fahrzeugs 1 innerhalb der Umgebung 17 der Sollstartposition 11 befindet – das erfindungsgemäße Fahrassistenzverfahren gestartet werden kann, um ein autonomes Führen des Fahrzeugs 1 von der Iststartposition 21 zu einer Istzielposition 22 innerhalb des Bereichs 13 oder der Umgebung 13 der Sollzielposition 12 zu bewirken.

[0038] Auf dem Weg von der Iststartposition **21** in den Bereich **13** oder der Umgebung **13** der Sollzielposition **12** fährt das Fahrzeug **1** entlang des Istparcours **20**, wobei an Zwischenpositionen, die als Istpositionen **26** bezeichnet werden, von der Kamera **2** entsprechende Bilddaten im Sinne von Keyframes erfasst und vom Fahrassistenzsystem **7** ausgewertet werden. Während der Fahrt werden also in der erfindungsgemäßen Art und Weise die an den Istpositionen **26** erfassten Daten mit den an den Sollpositionen **16** in der Trainingsphase erfassten Daten abgeglichen, um eine Steuerung des Fahrzeugs **1** zur Sollzielposition **12** hin oder zumindest in den Bereich oder der Umgebung **13** der Sollzielposition **12** hin zu bewirken.

[0039] Bei dieser Steuerung ist ein durch den Schlauch **18** definierter maximaler Fehler zwischen dem Istparcours **20** und dem Sollparcours **10** erlaubt. Dieser maximale Fehler **18** kann in Abhängigkeit vom Abstand von der Sollzielposition **12** oder von der zu erreichenden Umgebung **13** der Sollzielposition **12** variabel gestaltet werden.

[0040] Fig. 3 zeigt in schematischer Ansicht einen Ausschnitt aus einem Sollparcours **10** mit einer Sollistposition **11** und zueinander um einen identischen Abstand d beabstandeten Sollpositionen **16**. An sämtlichen diskreten Positionen **11** und **16** des Sollparcours **10** werden mittels der Kamera **2** des Fahrzeugs **1** Bilddaten erfasst. Erfindungsgemäß werden bei den erfassten Bilddaten Kantenelemente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren ermittelt.

[0041] Dazu ist die Kamera **2** mit ihrer Orientierung vorzugsweise in Richtung der Fahrzeugorientierung ausgerichtet.

[0042] Fig. 4 zeigt in schematischer Form die bei dem erfindungsgemäß durchgeführten Verfahren zur Fahrassistenz bei bestimmten Ausführungsformen notwendige Projektion auf die Einheitssphäre **50** zur Ermittlung des optischen Flusses \vec{r} und zur Bestimmung der Fluchtpunkte sowie der Kameraverbindungslinien **40** (camera base line) oder Kamerabasislinie **40** zwischen Istpositionen **26** und Sollpositionen **16** und deren Orientierung.

[0043] Die Fig. 5 bis Fig. 8 zeigen in Form von Graphen Aspekte von Simulationen zum optischen Fluss \vec{r} , und zwar für zwei Kamerapositionen **16** und **26** gemäß Fig. 5, dem daraus ermittelten optischen Fluss \vec{r} gemäß Fig. 6, dem um eine Rotation der Kamerapositionen **16** und **26** bereinigten optischen Fluss \vec{r} auf der Einheitssphäre **50** gemäß Fig. 4 in Fig. 7 sowie die aus dem optischen Fluss \vec{r} auf der Einheitssphäre **50** gemäß Fig. 7 ermittelte Orientierung B der Verbindungslinie zwischen den Kamerapositionen **16** und **26** in Fig. 8.

[0044] Fig. 9 zeigt in schematischer Draufsicht den Sollparcours **20** im Vergleich zu einem Istparcours **10** und Aspekte einer Triangulation einer Istposition **26** mit einer Kameraorientierung im Vergleich zu Sollpositionen **16** und **16'** mit entsprechenden Kameraorientierungen.

[0045] Die Graphen der Fig. 10 und Fig. 11 beschreiben Aspekte der Positionstriangulation auf der Grundlage einer Simulation bzw. auf der Grundlage von realen Daten.

[0046] Die Fig. 12 bis Fig. 14 zeigen in schematischer Form zweidimensionale Kameraansichten mit entsprechend abgeglichenen Bildmerkmalen **30**, die über Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren ermittelt wurden.

[0047] Des Weiteren sind in den Fig. 12 und Fig. 13 die Kameraverbindungslinien **40** zwischen der Istposition **26** des Istparcours **20** und zweier Sollpositionen **16** und **16'** des Sollparcours **10** dargestellt.

[0048] Diese und weitere Merkmale und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden an Hand der folgenden Darlegungen weiter erläutert:

Für die so genannte Home-Zone-Funktion werden üblicherweise bei Fahrassistenzsystemen **7** Stereo-Video-kamerasysteme verwendet.

[0049] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrassistenzverfahren und ein entsprechendes Messverfahren zum Bestimmen der relativen Position und/oder Orientierung oder Rotation unter Verwendung eines Nahfeld-kamerasystems (NRC: near range camera system).

[0050] Die Home-Zone-Funktion ist eine Fahrassistenzkomponente im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren. Das Verfahren besteht aus zwei Phasen, einer Lern- oder Trainingsphase und einer Anwendungs- oder Replayphase.

[0051] In der Trainingsphase werden Aspekte des Pfades und visuelle Eindrücke der Umgebung erfasst und gespeichert, während der Fahrer das Fahrzeug **1** führt, und zum Beispiel an seine Parkposition **12** fährt.

[0052] Bei der Replayphase ist das Fahrzeug **1** dann in der Lage, in einem ähnlichen Zustand autonom die Parkposition **12** oder dessen nähere Umgebung **13** anzufahren.

[0053] Der Trainingsvorgang beginnt üblicherweise an seiner initialen Position, die auch als Sollstartposition **11** bezeichnet wird.

[0054] Im Zusammenhang mit **Fig. 2** wird dabei die Grenze oder der Rand des Aktivierungsbereichs **17** für die Replayphase definiert. Dann wird das Fahrzeug **1** zur Zielparkposition, die auch als Sollzielposition **12** bezeichnet wird, unter Führung durch den Fahrer gefahren, und zwar entlang des Trainingspfades **10**.

[0055] Die Replayphase beginnt dann an der Replastyartposition, die auch als Iststartposition **21** bezeichnet wird und innerhalb des Aktivierungsbereichs **17** liegt. Das erfindungsgemäße Fahrzeug **1** fährt in autonomer Art und Weise auf dem Replaypfad, der auch als Istpartcours **20** bezeichnet wird. Das Fahrzeug **1** nähert sich dabei dem Trainingspfad oder Sollparcours **10** innerhalb des Schlauches **18** der maximal zulässigen Abweichung vom Sollparcours **10** beim Annähern an die Sollzielposition **12** an.

[0056] Die Umgebung **13** der Sollzielposition **12** beschreibt den maximalen Fehler oder die maximale Abweichung, die das Fahrzeug **1** von der Sollzielposition **12** beim Erreichen der Istzielposition **22** haben darf, wenn es mit dem erfindungsgemäßen Fahrassistenzsystem **7** autonom gesteuert wird.

[0057] Ein durch die vorliegende Erfindung gelöstes Problem besteht darin, die relative Position und Orientierung zwischen einem Trainingsdatensatz und einem Anwendungs- oder Replaydatensatz zu bestimmen. Eine herkömmliche Möglichkeit zur Lösung dieses Problems bietet das sogenannte SFM-Verfahren (SFM: structure-from-motion), indem eine 3D-Punktvolke entlang des Trainingspfades **10** generiert wird und ein Merkmalsdeskriptor im Zusammenhang mit jedem Punkt zu erzeugt und gesichert wird. Während der Replayphase werden Bildpunkte und deren Deskriptoren extrahiert. Es findet ein Merkmalsabgleich statt, der zu 3D-2D-Merkmalsübereinstimmungen führt. Das Lösen des so genannten P3P-Problems (P3P: perspective three point) liefert die relative Position und Rotation zwischen einer Trainingsposition der Kamera und einer Anwendungs- oder Replayposition der Kamera.

[0058] Es sind dazu minimal vier 3D-2D-Korrespondenzen oder -Übereinstimmungen erforderlich. Zu deren Bestimmung werden RANSAC-Algorithmen verwendet, um Ausreißer herauszufiltern und eine optimale Positions-/Orientierungsparameter zu erzeugen.

[0059] Dieses herkömmliche Vorgehen ist vergleichsweise aufwendig, was den Speicher- und Verarbeitungsbedarf anbelangt.

[0060] Ferner treten Ungenauigkeiten auf, da es zur Überlagerung von Drift- und Verschiebungseffekten kommt.

[0061] Erfindungsgemäß werden unter anderem die folgenden zwei Hauptaspekte verbessert:

- Eine Triangulation von 3D-Punkten erfordert die Bestimmung von Schnittpunkten von windschiefen Geraden oder Fluchtlinien. Entfernte Punkte werden mittels spitzer Winkel trianguliert, falls die Kameragrundlinie eine geringe Ausdehnung besitzt. Diese beiden Faktoren führen zu Ungenauigkeiten im Hinblick auf die 3D-Punktvolke.
- Das Erzeugen der rekonstruierten Umgebung entlang des Trainingspfades oder des Istparcours **10** erfordert die Aufnahme oder Integration der Fahrzeugodometrie oder Weglängenmessung. Dies führt zur Aufnahme von Driftfehlern, die sich mit der Zeit aufschaukeln. Eine Möglichkeit, den Einfluss von Drifteffekten zu reduzieren besteht im Durchführen einer Mehrzahl von Trainingsphasen unter Verwendung einer so genannten Bündelanpassung (bundle adjustment), um den Trainingspfad oder den Sollparcours **10** zu korrigieren. Das Vorgehen soll erfindungsgemäß dadurch vereinfacht werden, dass eine einzelne Trainingsphase ausreicht.

[0062] Das vorgeschlagene Verfahren vermeidet beide Fehlerquellen. Zusätzliche Vorteile entstehen durch das Entkoppeln der Rotation und der Translation der bei der Berechnung eingeführter Vektorfelder.

- (1) Dies bedeutet insbesondere, dass die Bestimmung der Rotation unabhängig von einer Bildtiefe ausgeführt werden kann.
- (2) Die Translationsbestimmung reduziert das Problem beim Bestimmen des Richtungswinkels und kann in effizienter Art und Weise implementiert werden.
- (3) Die Ermittlung der anfänglichen Position und/oder Orientierung ist ohne Bewegung möglich, wogegen herkömmlicherweise das SFM-Verfahren eine Bewegung während des Bestimmens erforderlich macht.

[0063] Zusätzlich besteht die Möglichkeit, trifokale Tensoren (trifocal tensors) für die erfindungsgemäße Zielsetzung zu verwenden.

[0064] Das vorgeschlagene Verfahren kann zum Beispiel im Zusammenhang mit Fischaugenkameras mit einem effektiven Gesichtsfelds von 185 Grad verwendet werden.

[0065] Dies ist jedoch nicht obligatorisch, es sind andere Kameramodelle denkbar.

[0066] Das hier vorgeschlagene Vorgehen und die damit im Zusammenhang stehenden Algorithmen sind im Zusammenhang mit drei Freiheitsgraden denkbar, nämlich t_x , t_y , R_{yaw} .

[0067] Verallgemeinerungen mit bis zu fünf Freiheitsgraden sind möglich.

Trainingsphase

[0068] Das erfindungsgemäße Vorgehen beginnt mit dem Aufzeichnen von Trainingsdaten, also insbesondere entlang des in **Fig. 2** dargestellten Sollparcours **10**.

[0069] Der Trainingspfad **10** wird in äquidistant beabstandete Bereiche mit entsprechenden Messpositionen **16** mit entsprechenden Datensätzen unterteilt, wie dies im Zusammenhang mit **Fig. 3** dargestellt ist. Während des Trainings werden an den verschiedenen Punkten **11** und **16** entlang des Sollparcours **10** äquidistant um den Abstand d beabstandet die folgenden Daten erhoben und gespeichert:

- $C^{\text{Train},p}$ beschreibt die Kameraposition $t_{3 \times 1}$, $R_{3 \times 3}$ – jeweils mit Translation t und Rotation T – des Trainingsdatensatzes mit einem entsprechenden am jeweiligen Punkt **11**, **16** aufgenommenen Bild.
- Es werden im Zusammenhang mit dem am jeweiligen Punkt **11**, **16** aufgenommenen Bild Kantensegmente oder Liniensegmente (edge segment) unter Verwendung eines Kantendetektors oder Eckendetektors ermittelt.
- Ebenfalls werden aus dem jeweils aufgenommenen Bild so genannte Merkmalspunkte (feature points) mit entsprechenden Deskriptoren (descriptor) ermittelt.

Anwendungs- oder Replayphase

[0070] Das erfindungsgemäße Vorgehen im Zusammenhang mit der Replayphase oder Anwendungsphase beginnt mit dem Auswählen einer Sollposition **16** als Trainingspunkt und einer Istposition **26** als Replaypunkt.

[0071] Eine Punktkorrespondenz (point correspondence) zwischen dem Trainingsdatensatz und dem Anwendungsdatensatz oder Replaydatensatz wird ermittelt, und zwar durch einen Abgleich der jeweiligen mit den Bildern im Zusammenhang stehenden Deskriptoren (descriptor matching). Auf Grund dieses Vorgehens wird ein so genannter optischer Fluss oder ein optisches Flussfeld $\dot{\vec{r}}$ als Vektorfeld zwischen den beiden Datensätzen generiert. Diese hat die folgende allgemeine Form einer optischen Flussgleichung:

$$\dot{\vec{r}} = \vec{v}_{tr}(\vec{r}) + \vec{v}_{rot}(\vec{r}) = \frac{1}{|\vec{R}(\vec{r})|} \cdot ((\vec{t} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{r} - \vec{t}) - \vec{w} \times \vec{r}.$$

[0072] Dabei haben die einzelnen Größen folgende Bedeutung:

- R ist ein Weltpunkt mit kartesischen Koordinaten x , y , z .
- $r = R/|R(r)|$ ist der Sichtstrahl (sight ray) oder Richtungsvektor zum Punkt R .
- $w = (\alpha, \beta, \gamma)$ ist der Rotationsvektor.

[0073] Dieses Vektorfeld $\dot{\vec{r}}$ wird in einen Rotationsanteil v_{rot} und einen Translationsanteil v_{tr} zerlegt, und zwar unter Zuhilfenahme der optischen Flussgleichung. Der Rotationsanteil v_{rot} und der Translationsanteil v_{tr} sind

Vektorfelder, die sich im Zusammenhang mit Flussgleichung unter Zuhilfenahme der Darstellung der **Fig. 4** an der Einheitssphäre **50** ergeben.

Relative Rotation

[0074] Die relative Rotation oder Orientierung zwischen einem Trainingsdatensatz und einem Anwendungsdatensatz wird unter Verwendung der im Zusammenhang mit den jeweiligen aufgenommenen Bildern erzeugten Liniensegmente abgeleitet. Die Liniensegmente werden auf die Sphäre **50** projiziert, die insbesondere eine Einheitssphäre gemäß **Fig. 4** ist. Die Fluchtlinienpunkte oder Fluchtpunkte werden bestimmt. Ein Abgleich der Fluchtpunkte ergibt die relative Orientierung zwischen den Kameras in Zusammenhang mit den Trainingsdatensätzen (also an einer Sollposition **16**) und den Replay- oder Anwendungsdatensätzen (also an einer Istposition **26**).

Kameragrundlinienrichtung (Camera base line direction)

[0075] Aus dem bisherigen Vorgehen sind die relativen Rotationen oder Orientierungen der Kameras in der jeweiligen Sollposition **16** bzw. der jeweiligen Istposition **26** und den damit im Zusammenhang stehenden Trainings- und Anwendungsdatensätzen bekannt.

[0076] Die Punktkorrespondenzen (point correspondence) aus dem Merkmalsabgleich (feature matching) werden auf die Einheitssphäre projiziert. Die Replaypunkte oder Anwendungspunkte **26** werden auf der Sphäre derotiert, das heißt die Rotation wird aufgehoben, kompensiert oder rückgängig gemacht, und zwar auf der Grundlage der bekannten relativen Rotation oder Orientierung. Das sich ergebende Vektorfeld ist dann ein rein translatorisches Vektorfeld. Die Kameragrundlinienrichtung (camera baseline direction) kann von einer 2-Punktkorrespondenz abgeleitet werden, insbesondere unter Zuhilfenahme der folgenden Zusammenhänge

$$\dot{\mathbf{r}}_1 = v_{tr}(\mathbf{r}_1) + v_{rot}(\mathbf{r}_1)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_2 = v_{tr}(\mathbf{r}_2) + v_{rot}(\mathbf{r}_2)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_1 - v_{rot}(\mathbf{r}_1) = v_{tr}(\mathbf{r}_1) = \frac{1}{|\mathbf{R}(\mathbf{r}_1)|} ((t \cdot \mathbf{r}_1)\mathbf{r}_1 - t)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_2 - v_{rot}(\mathbf{r}_2) = v_{tr}(\mathbf{r}_2) = \frac{1}{|\mathbf{R}(\mathbf{r}_2)|} ((t \cdot \mathbf{r}_2)\mathbf{r}_2 - t)$$

[0077] Dabei bezeichnen n_1 und n_2 Normalvektoren auf der Ebene, die definiert ist durch den Ursprung der Sphäre **50** und den rein translatorischen Anteil des optischen Flussvektors $\dot{\mathbf{r}}$ auf der Oberfläche der Sphäre **50**.

[0078] Es gilt:

$$n_1 = \mathbf{r}_1 \times v_{tr}(\mathbf{r}_1)$$

$$n_2 = \mathbf{r}_2 \times v_{tr}(\mathbf{r}_2)$$

$$B = n_1 \times n_2$$

[0079] B ist die Kameragrundlinienrichtung zwischen den beiden Kamerapunkten also insbesondere der Position der Kamera **2** an der Trainingsposition, also einer Sollposition **16**, und der Position der Kamera **2** an der Replayposition, also einer Istposition **26**.

[0080] Dies ist im Zusammenhang mit der Abfolge der **Fig. 5** bis **Fig. 8** näher erläutert. Dort ist die Simulation des optischen Flusses als Vektorfeld dargestellt.

[0081] **Fig. 5** zeigt dabei die beiden betrachteten Kameras **2** mit Translation und Rotation, also eine Kamera **2** an einer Trainings- oder Sollposition **16** und eine Kamera an einer Replayposition oder Istposition **26**.

[0082] Fig. 6 zeigt den in Bezug auf die beiden Kameras erzeugten optischen Fluss $\dot{\vec{r}}$ als Vektorfeld.

[0083] Fig. 7 beschreibt den von der Rotation entkoppelten oder derotierten optischen Fluss $\dot{\vec{r}}$, und zwar projiziert auf eine Einheitskugel **50**.

[0084] Fig. 8 zeigt die ermittelte Kameragrundlinienrichtung oder -orientierung B , wie sie aus dem optischen Fluss $\dot{\vec{r}}$ abgeleitet werden kann.

Relativposition

[0085] Unter der Annahme, dass zwei Kameragrundlinienrichtungen B_1 und B_2 vorliegen, nämlich zwischen der Kamera **2** an einer Istposition **26** und einer Kamera an zwei Sollpositionen **16** und **16'**, zum Beispiel gemäß Fig. 9, kann die relative Position der Kamera **2** an der Replayposition **26** trianguliert werden, weil die relative Position, Ausrichtung und/oder Orientierung zwischen den jeweils betrachteten Positionen **16**, **16'** und **26** der Kamera **2** bekannt ist.

[0086] Es ergeben sich relative Kamerapositionen und/oder Orientierung in Weltkoordinaten ohne Drift gemäß den nachfolgenden Gleichungen:

$$C_{Train,p} = \begin{bmatrix} R_{Train,p} & t_{Train,p} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{Train,p+1} = \begin{bmatrix} R_{Train,p+1} & t_{Train,p+1} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{Replay,q} = \begin{cases} \begin{bmatrix} R_{Train,p}^{Replay,q} & t_{Train,p}^{Replay,q} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} R_{Train,p+1}^{Replay,q} & t_{Train,p+1}^{Replay,q} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \end{cases}$$

[0087] Es gelten noch die Zusammenhänge:

$t_{Train,p}^{Replay,q}$ is position of the camera from the origin.

$$t_{Train,p}^{Replay,q} = \lambda_1 \cdot B_1 + t_{Train,p} = \lambda_2 \cdot B_2 + t_{Train,p}^{Train,p+1}$$

$$\lambda_1 \cdot B_1 - \lambda_2 \cdot B_2 = t_{Train,p}^{Train,p+1} - t_{Train,p} = t_{Train,p}^{Train,p+1}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 & -B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = t_{Train,p}^{Train,p+1} \rightarrow \text{solve for } \lambda_1$$

$$t_{Train,p}^{Replay,q} = \lambda_1 \cdot B_1$$

[0088] Im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Vorgehen sind in Fig. 4 simulierte Daten verwendet worden, wogegen in Fig. 5 tatsächliche Anwendungsdaten zu Grunde gelegt wurden.

[0089] Die Fig. 10 und Fig. 11 zeigen jeweils die Positionstriangulation der jeweils zu Grunde gelegten Daten, also in Fig. 10 einerseits eine Simulation und in Fig. 11 an Realdaten, wobei das erfindungsgemäße Verfahren zu Grunde gelegt wurde.

Patentansprüche

1. Fahrassistenzverfahren für ein Fahrzeug (1), bei welchem

(A) in einer Trainingsphase das Fahrzeug (1) von einem Fahrer durch einen Sollparcours (10) zu einer Sollzielposition (12) gesteuert wird und dabei Sollparcoursdaten erfasst werden,
 (B) in einer Replayphase das Fahrzeug (1) automatisch durch einen Istparcours (20) gesteuert wird, dabei Istparcoursdaten erfasst werden und über einen Vergleich von Istparcoursdaten mit Sollparcoursdaten das Steuern des Fahrzeugs (1) derart durchgeführt wird, dass der Istparcours (20) dem Sollparcours (10) angepasst ist oder wird und in einem Bereich (13) der Sollzielposition (12) endet und
 (C) als Sollparcoursdaten an – an einer Sollfahrstrecke (15) des Sollparcours (10) äquidistant beabstandeten – Sollpositionen (16) mit einer Kamera (2) Bilder der Umgebung des Fahrzeugs (1) erfasst und aus einer Bildverarbeitung für jedes Bild Kantensegmente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren bestimmt werden.

2. Fahrassistenzverfahren nach Anspruch 1, bei welchem in der Replayphase als Istparcourdaten an – an einer Fahrstrecke (25) des Istparcours (20) äquidistant beabstandeten – Istpositionen (26) mit einer Kamera Bilder der Umgebung des Fahrzeugs (1) erfasst und aus einer Bildverarbeitung für jedes Bild Kantensegmente, Merkmalspunkte und entsprechende Deskriptoren bestimmt werden.

3. Fahrassistenzverfahren nach Anspruch 2, bei welchem in der Replayphase eine Punktkorrespondenz ermittelt wird, indem
 (a) der für eine – insbesondere aktuelle – Istposition (26) ermittelte Deskriptor mit Deskriptoren zu Sollpositionen (16) abgeglichen wird und
 (b) derjenige Datensatz einer Sollposition (16) als Referenzdatensatz bestimmt wird, bei welchem eine Deskriptorenübereinstimmung mit dem Deskriptor der Istposition (26) maximal ist, insbesondere um dadurch zumindest näherungsweise die aktuelle Position des Fahrzeugs (1) relativ zum Sollparcours (10) zu bestimmen.

4. Fahrassistenzverfahren nach Anspruch 3, bei welchem in der Replayphase aus dem Datensatz zu einer – insbesondere aktuellen – Istposition (26) und einem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten ein optischer Fluss (\vec{r}) in Form eines Vektorfeldes ermittelt wird.

5. Fahrassistenzverfahren nach Anspruch 4, bei welchem der optische Fluss (\vec{r}) in eine translatorische Komponente und eine rotatorische Komponente zerlegt wird, um eine aktuelle Orientierung des Fahrzeugs (1) oder seiner Kamera (2) auf dem Istparcours (20) zu bestimmen.

6. Fahrassistenzverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem in der Replayphase eine relative Orientierung ermittelt wird auf der Grundlage der jeweiligen Kantensegmente aus dem Datensatz zur Istposition (26) und dem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten.

7. Fahrassistenzverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem in der Replayphase eine relative Orientierung ermittelt wird durch
 (a) Projizieren von Kantensegmenten aus dem Datensatz zur Istposition (26) und dem Referenzdatensatz der Sollparcoursdaten auf eine Einheitssphäre,
 (b) Bestimmen von Fluchtpunkten und
 (c) Abgleichen der Fluchtpunkte.

8. Fahrassistenzverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem in der Replayphase bei bekannter oder bestimmter relativer Orientierung die relative Lage und Orientierung in der aktuellen Istposition (26) in Bezug auf den Sollparcours (10) ermittelt wird durch Triangulation der Istposition (26) mit zwei – insbesondere nächsten – Positionen (16) auf dem Sollparcours (10), insbesondere unter Verwendung einer Orientierung an der Istposition (26) zu den beiden Positionen (16) auf dem Sollparcours (10).

9. Fahrassistenzsystem (7) für ein Fahrzeug (1), welches eingerichtet ist ein Fahrassistenzverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen.

10. Fahrzeug (1),
 – mit einem Antrieb (3), einer Lenkeinheit (4), einer Steuereinheit (6) und einem Fahrassistenzsystem (7) nach Anspruch 9,
 – wobei die Steuereinheit (6) ausgebildet ist, den Antrieb (3) und/oder die Lenkeinheit (4) auf der Grundlage vom Fahrassistenzsystem (7) bereitgestellter Daten zu steuern.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

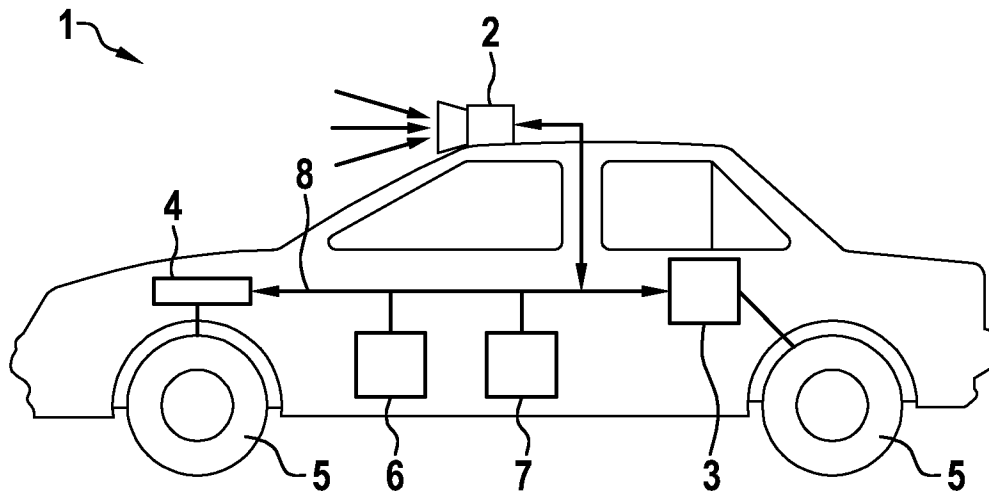


Fig. 2

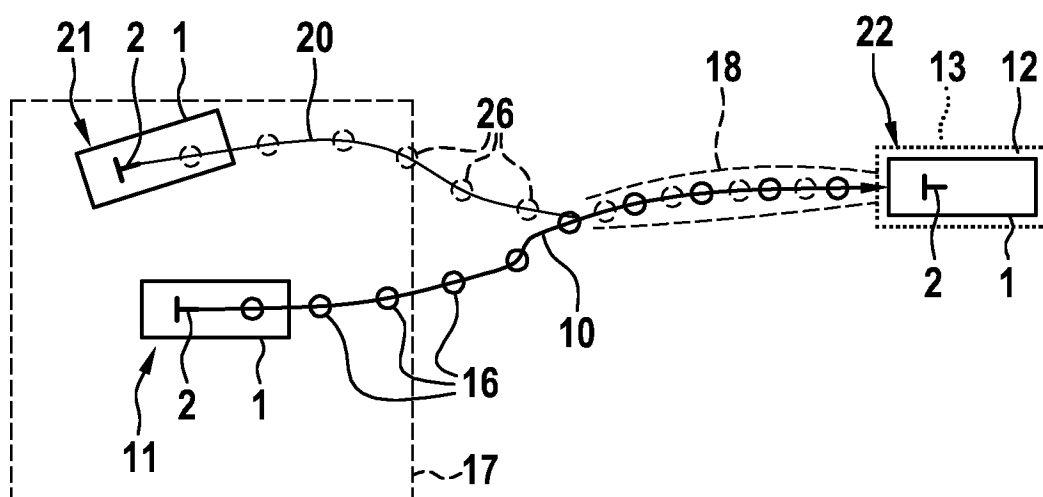


Fig. 3

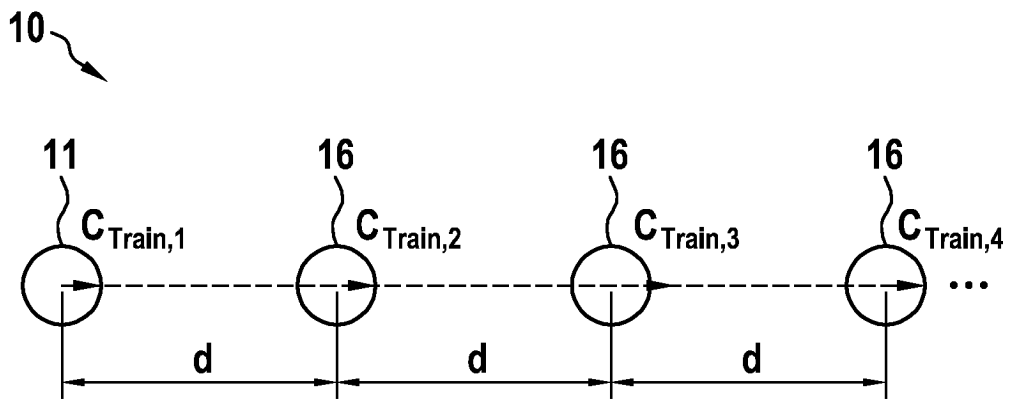


Fig. 4

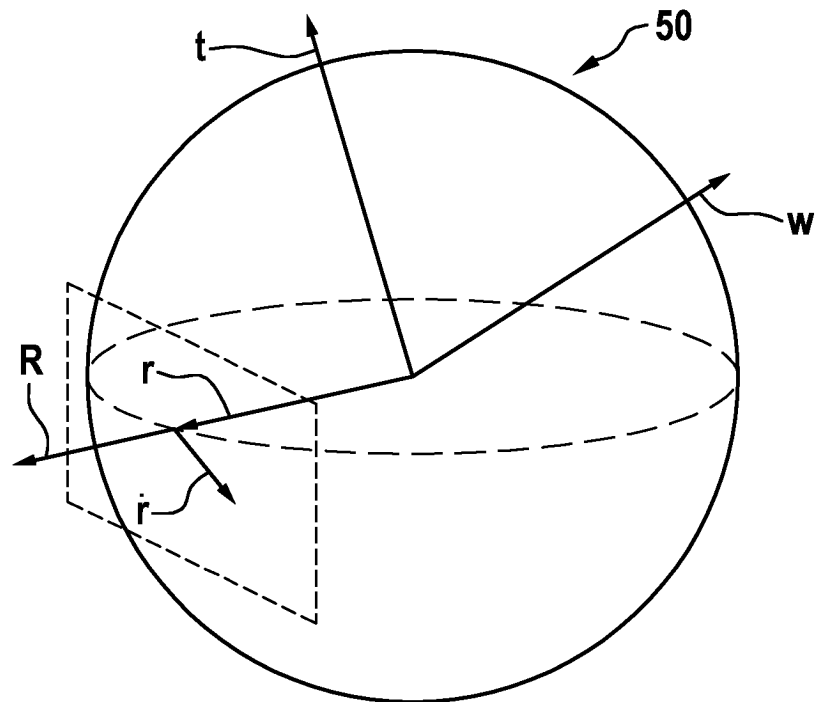


Fig. 5

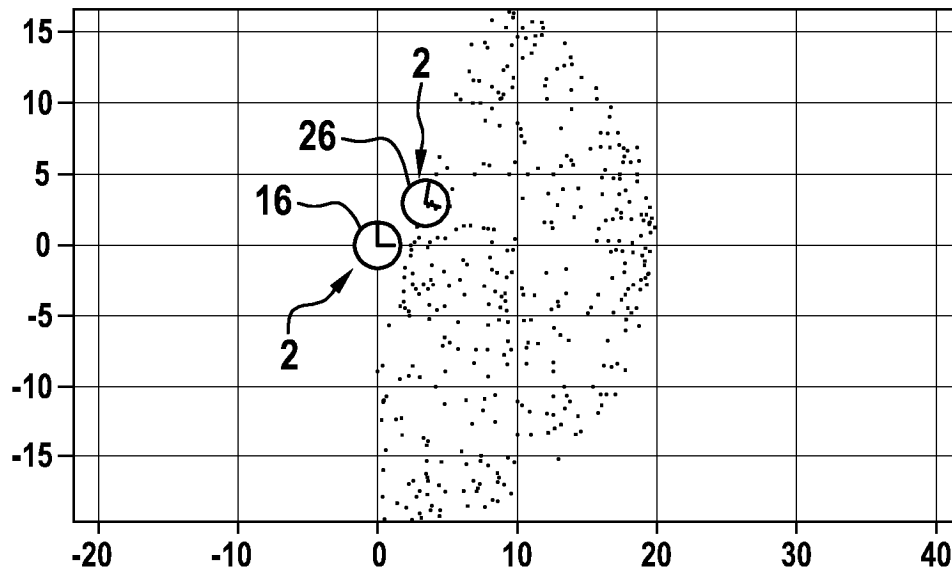


Fig. 6

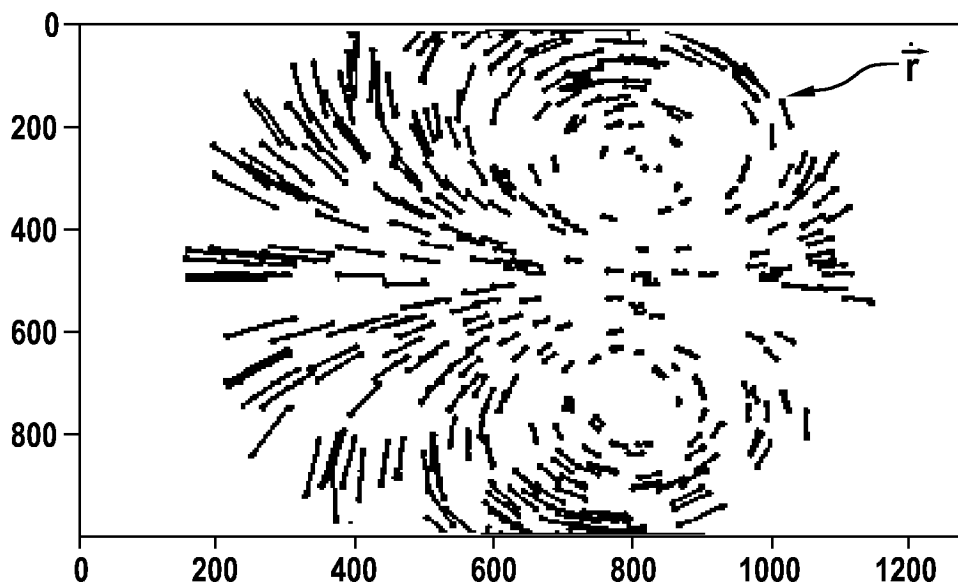


Fig. 7

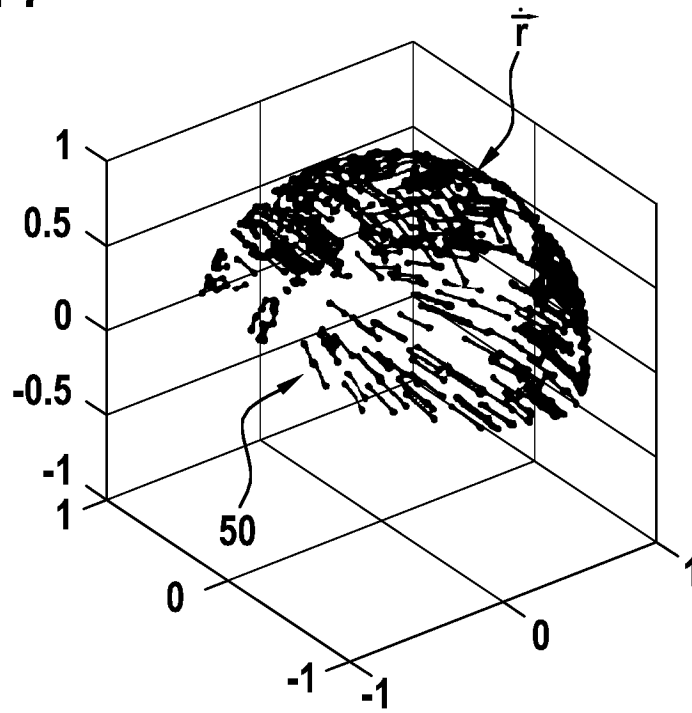


Fig. 8

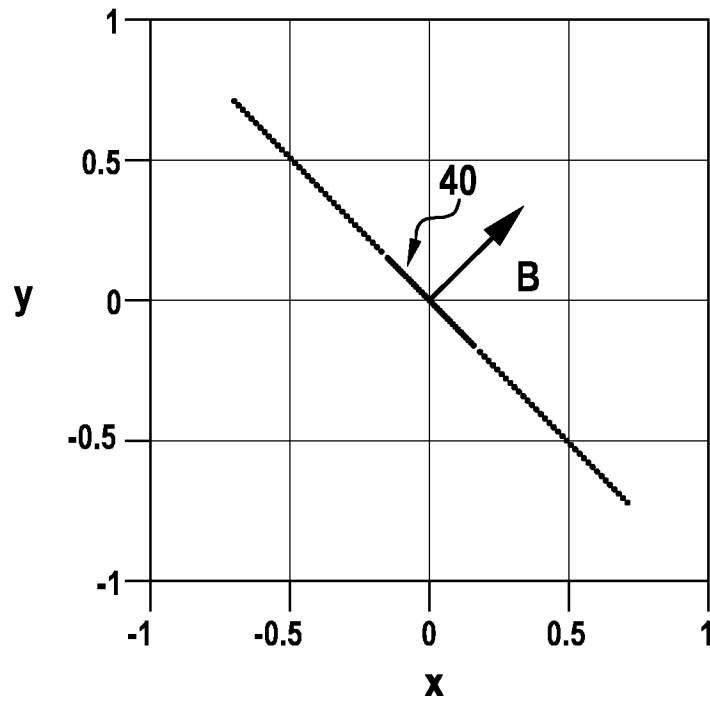


Fig. 9

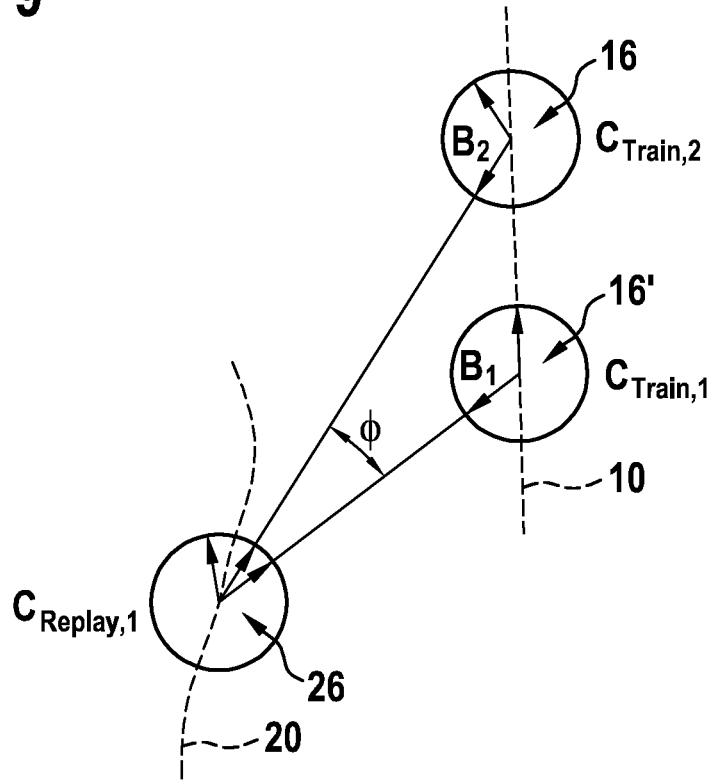


Fig. 10

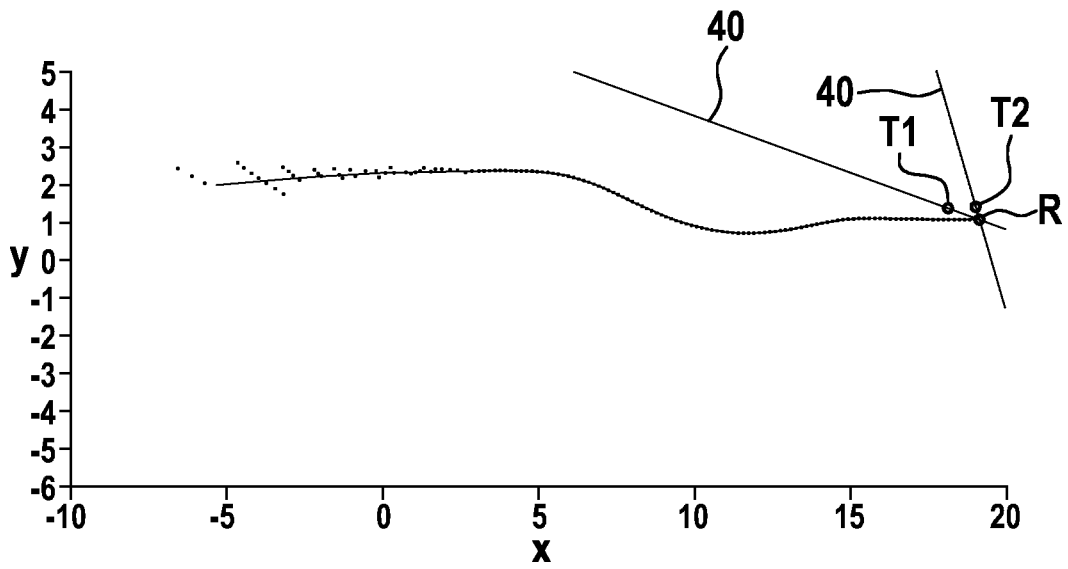


Fig. 11

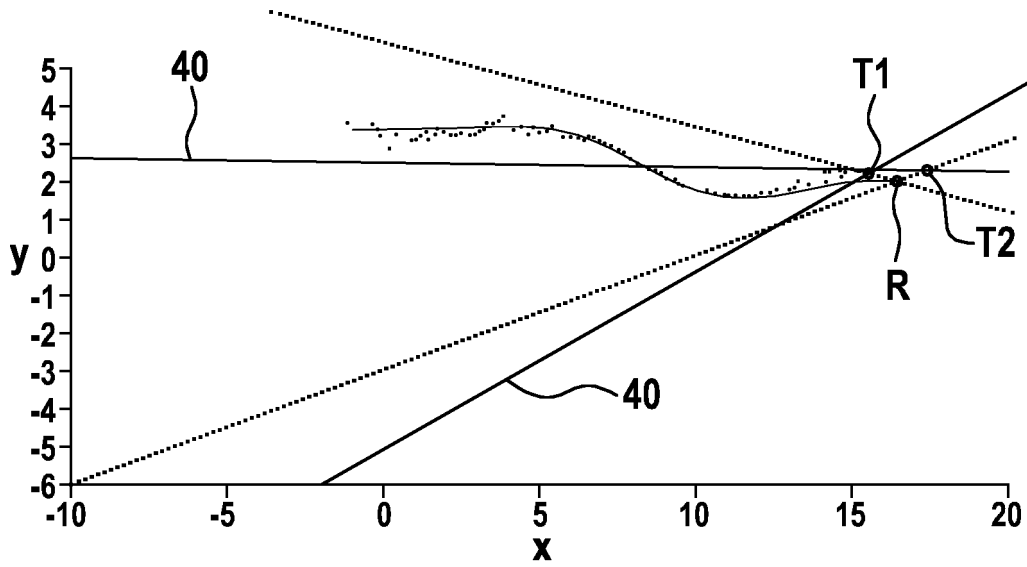


Fig. 12

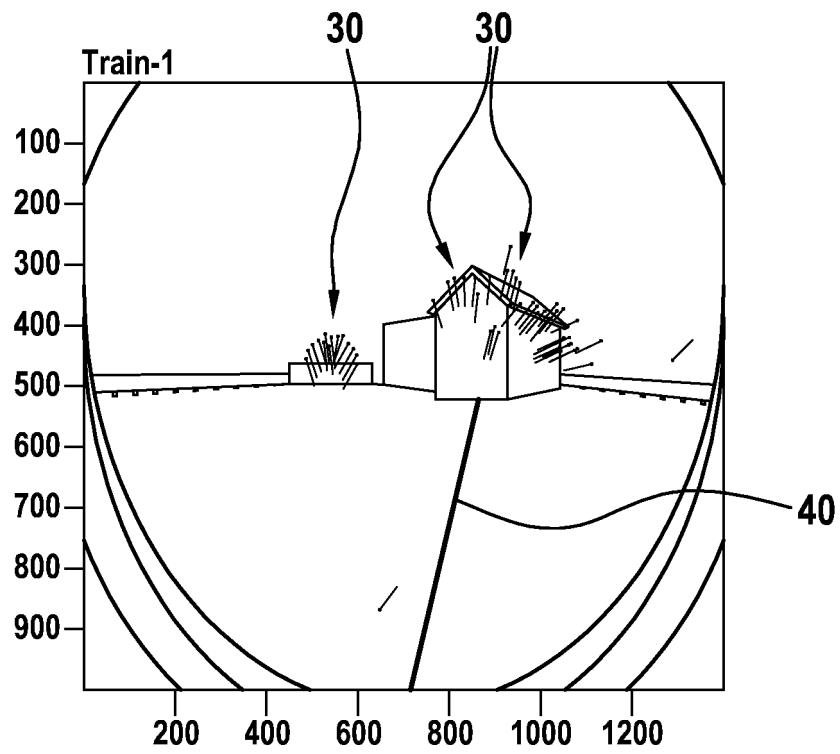


Fig. 13

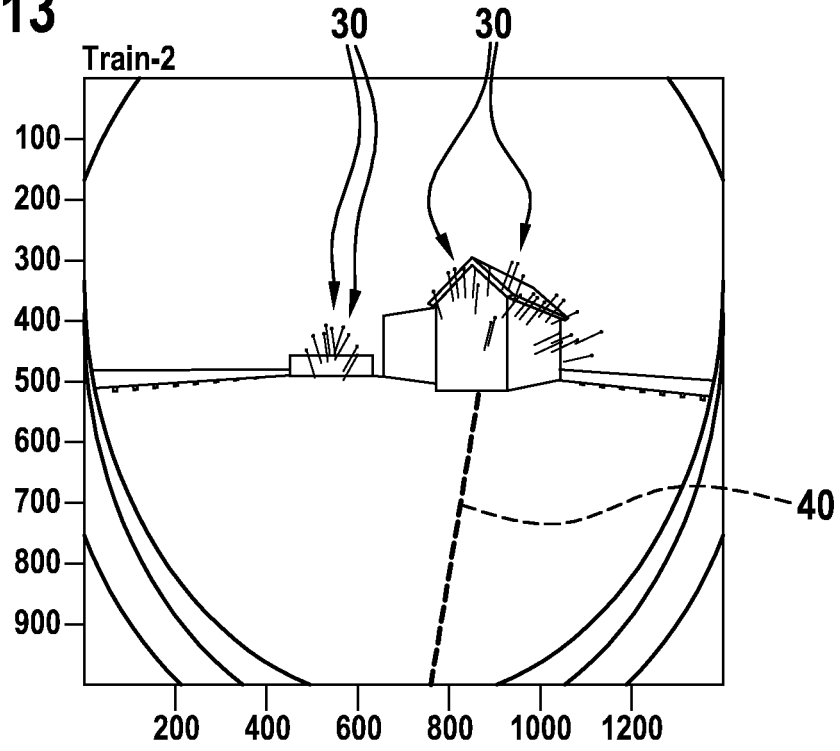


Fig. 14

