



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 211 730.0**

(22) Anmeldetag: **29.06.2016**

(43) Offenlegungstag: **04.01.2018**

(51) Int Cl.: **B60W 40/06 (2012.01)**

(71) Anmelder:

**Continental Teves AG & Co. OHG, 60488
Frankfurt, DE**

(72) Erfinder:

**Loy, Claudia, 80804 München, DE; Heller, Claudio,
Dr., 81543 München, DE; Bayer, Christopher,
80639 München, DE; Abramov, Alexey, Dr., 81547
München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

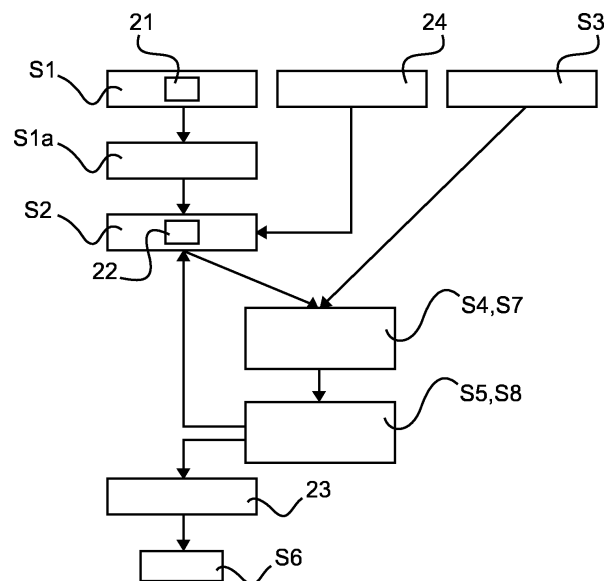
DE	11 2009 005 424	B4
DE	10 2006 040 334	A1
DE	10 2010 020 688	A1
DE	10 2015 013 085	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs (10) einer Fahrbahn (11) in einer Umgebung (12) eines Fahrzeugs (13). In einem Schritt (S1) des Verfahrens wird erstes Modell (21) für den Fahrbahnverlauf (10) bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt (t_1) bereitgestellt. In einem weiteren Schritt (S2) wird ein zweites Modell (22) für den Fahrbahnverlauf (10) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2) basierend auf dem ersten Modell (21) für den Fahrbahnverlauf (10) und einer Positionsänderung des Fahrzeugs (13) zwischen dem ersten Zeitpunkt (t_1) und dem zweiten Zeitpunkt (t_2) bereitgestellt. In einem weiteren Schritt (S3) werden Messdaten (16) bezüglich eines Objektes (14) in der Umgebung (12) des Fahrzeugs (13) durch eine Sensoreinheit (30) ermittelt. In einem weiteren Schritt (S4) werden Messdaten (16) dem zweiten Modell (22) für den Fahrbahnverlauf (10) zugeordnet. In einem weiteren Schritt (S5) wird ein Modellierungsfehler des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) von den zugeordneten Messdaten (16) minimiert, um somit ein optimiertes Modell (23) für den Fahrbahnverlauf (10) zum zweiten Zeitpunkt (t_2) zu erhalten (S5). Die Erfindung betrifft ferner ein Fahrerassistenzsystem (32) für ein Fahrzeug (13) sowie ein Fahrzeug (13) mit einem Fahrerassistenzsystem (32).



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Modellierung von Fahrspuren für Fahrerassistenzsysteme. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn in einer Umgebung eines Fahrzeugs sowie ein Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug. Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrzeug mit einem solchen Fahrerassistenzsystem.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Heutzutage ist es keine Seltenheit, Fahrerassistenzsysteme zu nutzen, die eine Vorhersage von verschiedenen Verkehrssituationen ermöglichen. Dabei werden zunächst Daten und Informationen über die Umgebung des Fahrzeugs, welches mit dem Fahrerassistenzsystem ausgestattet ist, gesammelt. Diese Daten bzw. Informationen werden anschließend verwendet, um eine möglichst präzise Vorhersage von möglicherweise auftretenden Verkehrssituationen bereitzustellen. Unter Verwendung der Informationen und Daten aus der Umgebung des Fahrzeugs können unter anderem Straßenverläufe beispielsweise durch mathematische Funktionen modelliert werden, um somit Fahrerassistenzfunktionen, wie beispielsweise die Verwendung von Klothoiden zur Repräsentation des Fahrstreifenverlaufs zur Spurhalteassistentz, bereitzustellen.

[0003] Die Informationen und Daten aus der Umgebung des Fahrzeugs werden beispielsweise durch Messeinrichtungen bereitgestellt, wobei Ausreißer in solchen Messdaten häufig zu einer Verfälschung des Ergebnisses und somit zu einer verringerten Genauigkeit der Fahrerassistenzfunktion führen. Ferner sind herkömmliche Fahrerassistenzfunktionen durch eine Abhängigkeit des erstellten Modells für den Fahrbahnverlauf zu einem Schätzalgorithmus gekennzeichnet. Zusammenfassung der Erfindung

[0004] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, die Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn zu verbessern.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Beispielhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

[0006] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn in einer Umgebung eines Fahrzeugs angegeben. Das Verfahren zur Vorhersage des Fahrbahnverlaufs kann insbesondere als ein Verfahren zur Modellierung oder Bestimmung bzw. Schätzung

eines Fahrbahnverlaufs angesehen werden. In einem Schritt des Verfahrens erfolgt ein Bereitstellen eines ersten Modells für den Fahrbahnverlauf bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt. In einem weiteren Schritt des Verfahrens wird ein zweites Modell für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt basierend auf dem ersten Modell für den Fahrbahnverlauf und einer Positionsänderung des Fahrzeugs zwischen dem ersten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt bestimmt. In einem weiteren Schritt erfolgt ein Ermitteln von Messdaten bezüglich eines Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs durch eine Sensoreinheit. In einem weiteren Schritt werden die ermittelten Messdaten dem zweiten Modell für den Fahrbahnverlauf zugeordnet. Ferner erfolgt in einem weiteren Schritt des Verfahrens ein Minimieren eines Modellierungsfehlers des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten, um somit ein optimiertes Modell für den Fahrbahnverlauf zum zweiten Zeitpunkt zu erhalten.

[0007] Mit dem vorliegenden Verfahren ist es also möglich, den Fahrbahnverlauf einer Fahrbahn unter Verwendung von Messdaten sowie von bereitgestellten oder ausgewählten Fahrbahnmodellen derart zu modellieren, dass letztendlich ein optimiertes Fahrbahnmodell bereitgestellt werden kann, welches anschließend beispielsweise für Fahrerassistenzfunktionen verwendet werden kann. Mit anderen Worten kann ein Ausgangsmodell unter Verwendung von Messdaten aus der Umgebung des Fahrzeugs erstellt und dahingehend optimiert werden, dass es den Anforderungen für ein Fahrerassistenzsystem genügt und folglich für eine Fahrerassistenz im Fahrzeug verwendet werden kann. Das Verfahren bietet den Vorteil, dass weitere Nebenbedingungen zur Bereitstellung des optimierten Modells verwendet werden können bzw. zusätzliche Aspekte in der Minimierung verwendet werden können, die bei der Optimierung des Modells mithilfe der Messdaten in die Berechnung einbezogen werden können. Es kann unter anderem eine Realisierung einer zeitlichen Filterung für beliebig komplexe Modelle sowie eine Robustheit gegenüber ungenauen und verrauschten Daten bereitgestellt werden. Ferner kann durch das Verfahren ein echtzeitfähiges System bereitgestellt werden und Eingangsdaten bzw. Messwerte können von verschiedenen Sensoren gewonnen werden, so dass während der Modellierung, das heißt der Ermittlung des optimierten Modells, eine Datenfusion stattfinden kann.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit eine Parameterschätzung eines frei wählbaren Modells bzw. eines vorgegebenen Ausgangsmodells unter Berücksichtigung der Eingangsdaten bzw. Messwerte und verschiedenartiger Nebenbedingun-

gen. Dieser Aspekt wird im Folgenden noch genauer erläutert werden.

[0009] Der Fahrbahnverlauf kann beispielsweise derjenige einer Autobahn, einer Landstraße oder einer sonstigen befestigten Straße sein. Jedoch kann ein solcher Fahrbahnverlauf auch durch eine Markierung auf einem Parkplatz gegeben sein.

[0010] Die Umgebung des Fahrzeugs kennzeichnet beispielsweise einen Umkreis um das Fahrzeug, in dem Messdaten bezüglich des Objektes gesammelt werden sollen, oder einen Umkreis um das Fahrzeug, in dem der Fahrbahnverlauf der Fahrbahn, auf der sich das Fahrzeug befindet, vorhergesagt werden soll.

[0011] Das erste Modell für den Fahrbahnverlauf kann beispielsweise in einem Datenspeicher hinterlegt sein. Beispielsweise kann der Datenspeicher eine Vielzahl von unterschiedlichen Modellen bzw. Ausgangsmodellen für verschiedene Fahrbahnverläufe aufweisen. Diese verschiedenen Modelle für Fahrbahnverläufe, insbesondere das erste Modell für den Fahrbahnverlauf, beziehen sich auf das Referenzkoordinatensystem zu dem ersten Zeitpunkt. Zu dem zweiten Zeitpunkt wird ein zweites Modell für den Fahrbahnverlauf, welches sich von dem ersten Modell für den Fahrbahnverlauf unterscheiden kann, bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zum zweiten Zeitpunkt erzeugt. Dabei können Odometriedaten des Fahrzeugs, welche Informationen über eine Positionsänderung oder eine Richtungsänderung des Fahrzeugs umfassen, verwendet werden, um das erste Modell für den Fahrbahnverlauf in das zweite Modell für den Fahrbahnverlauf zu transformieren. Die Transformation kann dabei beispielsweise eine Rotation und/oder eine Translation des ersten Modells, welches im Folgenden auch als Straßenmodell bezeichnet werden kann, in das zweite Modell für den Fahrbahnverlauf umfassen.

[0012] Das Ermitteln der Messdaten bezüglich des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs erfolgt durch die Sensoreinheit, welche beispielsweise ein Kamerasystem des Fahrzeugs ist. Es können jedoch auch andere Sensorsysteme am Fahrzeug vorgesehen sein, um die Messdaten bezüglich des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs zu ermitteln. Somit sind nicht nur optische Systeme zur Ermittlung der Messdaten des Objektes möglich. Vielmehr können die Messdaten des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs auch über eine Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation oder über eine Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation, beispielsweise von einem externen Server, bereitgestellt werden. Ferner können die Messdaten als Eingangsinformation anhand von Kartenmaterial bereitgestellt werden.

[0013] Das Objekt hinsichtlich dessen die Messdaten ermittelt werden, kann beispielsweise ein anderer Verkehrsteilnehmer, eine Fahrbahnmarkierung oder ein Fahrbahnrand sein.

[0014] Die ermittelten Messdaten und das zweite Modell werden anschließend assoziiert. Das bedeutet, dass dem zweiten Modell für den Fahrbahnverlauf die Messdaten beispielsweise mithilfe eines sogenannten „Nearest Neighbour“-Verfahrens den individuellen Spuren des aktuellen Straßenmodells, das heißt dem zweiten Modell, zugeordnet werden. Ein solches „Nearest Neighbour“-Verfahren umfasst beispielsweise eine quadratische Minimierung oder ein anderes mathematisches Verfahren, mit dem eine Zugehörigkeit eines Messwertes zu einem bestimmten Punkt der Fahrbahn ermittelt werden kann. Die Zuordnung der Messdaten zum zweiten Modell kann beispielsweise unter Verwendung einer euklidischen Norm als Distanzmaß erfolgen. Es können jedoch auch andere Maße, wie beispielsweise die 1-Norm oder die Maximumnorm verwendet werden. Es ist ebenfalls möglich, dass die Mahalanobis-Distanz als Distanzmaß verwendet wird. Ferner können Varianzen in den Messdaten berücksichtigt werden.

[0015] Um das optimierte Modell zu den ermittelten Messdaten zu finden, findet nun eine Minimierung des Modellierungsfehlers des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf der Abweichung des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten statt. Dabei wird der Modellierungsfehler beispielsweise mithilfe eines Gauß-Newton-Verfahrens minimiert. Beispielsweise kann der euklidische Abstand eines Messpunktes zur assoziierten Spur des Straßenmodells bzw. des zweiten Modells für die Minimierung verwendet werden. Es ist möglich, dass eine Ausrichtung, also ein sog. „heading“, der Messdaten zur Minimierung verwendet wird.

[0016] Ferner ist es möglich, die Genauigkeit der Modellierung einzustellen. Durch das Bereitstellen der Messdaten mittels verschiedener Sensoren kann zusätzlich zu der Modellierung eine Datenfusion stattfinden und Fehlmessungen rechtzeitig identifiziert werden. Es ist möglich, dass sowohl die Zuordnung bzw. Assoziation der Messwerte zum zweiten Modell als auch die Minimierung des Modellierungsfehlers iterativ wiederholt werden, um somit eine Verbesserung der Datenzuordnung und damit eine Verbesserung der Modellierung zu erreichen.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt in einem weiteren Schritt des Verfahrens ein Verwenden des optimierten Modells für den Fahrbahnverlauf in einem Fahrerassistenzsystem des Fahrzeugs zur Regelung eines Fahrzustandes des Fahrzeugs.

[0018] Das optimierte Modell kann somit für eine Fahrerassistenzfunktion, welche den Fahrer des Fahrzeugs während der Fahrt unterstützt, verwendet werden. Beispielsweise kann das optimierte Modell für den Fahrbahnverlauf für einen Spurhalteassistenten oder einen Spurwechselassistenten verwendet werden. Es ist somit möglich, aufgrund des optimierten Modells für den Fahrbahnverlauf und somit der Vorhersage des Fahrbahnverlaufs der Fahrbahn in der Umgebung des Fahrzeugs eine selbstständige Anpassung des Fahrverhaltens, das heißt eine Regelung des Fahrzustandes des Fahrzeugs, rechtzeitig einzuleiten. Ein gesamtheitliches Fahrstreifenmodell, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren bereitgestellt werden kann, ist zum Beispiel im Bereich des automatisieren Fahrens, für die Realisierung hoher Geschwindigkeiten, für Fahrstreifenwechsel, für das Einhalten von Fahrgeboten oder für das Rechtsfahrgebot vorteilhaft.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weisen die Messdaten bezüglich des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs Informationen über eine Position und/oder eine Form einer Fahrbahnmarkierung der Fahrbahn auf.

[0020] Es kann somit unterschieden werden, welche Art von Fahrbahnmarkierung auf der Fahrbahn vorliegt. Insbesondere kann zwischen einer Fahrbahnrandmarkierung und einer Fahrbahnmarkierung zur Trennung verschiedener Spuren der Fahrbahn unterschieden werden. Insbesondere erfolgt eine Online-Modellierung der Fahrstreifenverläufe bzw. der Fahrbahnmarkierungen, wobei das Ergebnis der Modellierung im Rahmen des automatisierten Fahrens für die Fahrstrategie die Trajektorienplanung, die Objektspurzuordnung und die Regelung des Fahrverhaltens verwendet wird.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt eine Bestimmung einer Trajektorie eines Verkehrsteilnehmers in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf den Messdaten, um somit Informationen bezüglich des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs bereitzustellen.

[0022] Der Fahrbahnverlauf kann somit aus gewonnenen Daten bzw. Informationen über die Bewegungsrichtungen anderer Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs bestimmt werden. Das Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs kann ein feststehender Gegenstand, wie beispielsweise eine Leitplanke, ein Leitpfosten oder Ähnliches, sein. Die Messdaten umfassen beispielsweise Informationen über die Lage und Positionsänderung von Punkten auf dem Objekt. Solche Punkte können auch als Features oder Feature-Punkte bezeichnet werden. Jedenfalls weisen die aus den Messdaten gewonnenen Trajektorien von Verkehrsteilnehmern, die sich in der Umgebung des Fahrzeugs befinden, Informationen

über das Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs auf. Der Fahrstreifenverlauf kann somit unmittelbar aus der Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer ermittelt werden.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Ermitteln der Messdaten bezüglich des Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf Kameradaten eines Kamerasystems des Fahrzeugs.

[0024] Beispielsweise kann ein solches Kamerasystem eine Fahrerassistenzkamera des Fahrzeugs sein. Es ist möglich, dass ein solches Kamerasystem eine Stereokamera sowie bildverarbeitende Einheiten aufweist. Jedenfalls kann durch die Sensoreinheit in Form eines Kamerasystems die Ermittlung der Messdaten stattfinden, wobei die Messdaten, welche über dieses Kamerasystem gewonnen werden, anschließend einer Recheneinheit des Fahrzeugs bereitgestellt werden, so dass diese Messdaten mit anderen Messdaten sowie mit dem Straßenmodell fusioniert werden können. Insbesondere werden diese Messdaten dem zweiten Modell für den Fahrbahnverlauf zugeordnet und anschließend ein Modellierungsfehler des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf minimiert.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Bereitstellen des ersten Modells für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt unter Verwendung eines Initialmodells für den Fahrbahnverlauf. Alternativ erfolgt das Bereitstellen des ersten Modells für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zum ersten Zeitpunkt unter Verwendung eines zeitlich vor dem zweiten Modell für den Fahrbahnverlauf bestimmten Modells.

[0026] Das Initialmodell ist beispielsweise ein Ausgangsmodell für einen Fahrbahnverlauf, welcher in einem Datenspeicher hinterlegt ist. Beispielsweise kann eine Vielzahl von verschiedenen Modellen für einen Fahrbahnverlauf als Initialmodell in einem solchen Datenspeicher hinterlegt sein. Da das erfindungsgemäße Verfahren ein Verfahren zur Online-Modellierung von Fahrbahnverläufen ist und somit während der Fahrt ausgeführt werden kann, ist es möglich, dass zeitlich aufeinanderfolgende Modelle jeweils als Ausgangspunkt für ein zu einem nachfolgenden Zeitpunkt bestimmtes Modell dienen können. Beispielsweise wird eine vorherige Lösung eines Modells auf einen aktuellen Zeitschritt bzw. eine aktuelle Position prädiziert oder alternativ ein initiales Modell verwendet, um aufgrund eines dieser Modelle und den Odometriedaten des Fahrzeugs das zweite Modell zu ermitteln. Es ist insbesondere möglich, dass das erste Modell zu dem ersten Zeitpunkt nicht aus Sensordaten des Fahrzeugs ermittelt wird, son-

dem lediglich ein in einem Datenspeicher hinterlegtes Ausgangsmodell ist.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Bereitstellen des ersten Modells für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zum ersten Zeitpunkt basierend auf Ausgangsmodellen für den Fahrbahnverlauf, die in einem Datenspeicher hinterlegt sind.

[0028] Es ist möglich, dass eine Vielzahl von Ausgangsmodellen für den Fahrbahnverlauf in dem Datenspeicher hinterlegt ist, so dass aufgrund dieser Ausgangsmodelle und einer Positionsänderung oder Richtungsänderung des Fahrzeugs das zweite Modell berechnet werden kann. Mit anderen Worten werden Modelle für den Fahrbahnverlauf aus dem Datenspeicher entnommen und unter Berücksichtigung von Odometriedaten des Fahrzeugs sowie unter Hinzuführung der Messdaten, welche durch die Sensoreinheit des Fahrzeugs gewonnen werden, optimiert.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Bestimmen des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Richtungsänderung des Fahrzeugs.

[0030] Es ist somit möglich, die Odometriedaten des Fahrzeugs, das heißt die Position des Fahrzeugs sowie eine Richtungsänderung des Fahrzeugs, zu berücksichtigen, um aus dem Initialmodell bzw. Ausgangsmodell oder einem zeitlich vorhergehenden Modell das zweite Modell für den Fahrbahnverlauf zu generieren. Mit anderen Worten wird eine Transformation, das heißt eine Rotation und eine Translation, des ersten Modells unter Berücksichtigung der Odometriedaten des Fahrzeugs in dem Referenzkoordinatensystem durchgeführt.

[0031] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Optimieren des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf mittels eines iterativen Näherungsverfahrens.

[0032] Beispielsweise kann ein Gauß-Newton-Verfahren verwendet werden, um das mit den Messdaten optimierte Modell zu erhalten. Erfindungsgemäß kann somit die Minimierung des Modellierungsfehlers des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten unter Verwendung des iterativen Näherungsverfahrens, insbesondere unter Verwendung des Gauß-Newton-Verfahrens erfolgen. Die Minimierung des Modellierungsfehlers kann daher eine Minimierung der Abweichung zwischen den ermittelten Messdaten bezüglich des Fahrstreifens in der Umgebung des Fahrzeugs von den zugehörigen Fahrstreifen aus dem Modell umfassen. Ebenso können verschiedene Attribute der Fahrstreifen ebenfalls zur Minimierung

verwendet werden. Ferner kann eine zeitliche Filterung mittels Minimierung der Abweichung des zweiten Modells zum präzidierten, vorherigen ersten Modell erstellt werden. Zudem können vorab geclusterte Messdaten für die Modellierung berücksichtigt werden, indem die Zugehörigkeit von Daten in der Optimierung bzw. Minimierung berücksichtigt wird. Allgemein kann die Optimierung, das heißt Minimierung, additiv mit beliebigen zusätzlichen Minimierungen ergänzt werden.

[0033] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Minimieren des Modellierungsfehlers des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf mittels des iterativen Näherungsverfahrens und zumindest einer weiteren Nebenbedingung.

[0034] Es kann somit das Gauß-Newton-Verfahren erweitert werden, indem Nebenbedingungen während der Optimierung, das heißt der Erstellung des optimierten Modells, berücksichtigt werden. Es können Gleichheitsnebenbedingungen, wie beispielsweise Stetigkeit und Differenzierbarkeit des jeweiligen Modells oder Parallelität der Fahrstreifen innerhalb des Modells, aber auch Ungleichheitsbedingungen, wie beispielsweise Beschränkung der maximalen Krümmung oder Vermeidung von Überschneidungen, realisiert werden. Somit kann das Verfahren bezüglich der jeweiligen Anforderungen an das verwendete, optimierte Straßenmodell angepasst werden.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist das optimierte Modell ein Modell für eine Fahrbahnmarkierung und/oder eine Fahrbahnberandung der Fahrbahn.

[0036] Die Fahrbahnmarkierung und/oder Fahrbahnberandung befindet sich beispielsweise auf der Oberfläche einer befestigten Straße, beispielsweise auf einer Landstraße oder einer Autobahn. Das optimierte Modell dieser Fahrbahnmarkierung und/oder Fahrbahnberandung kann in einem Fahrerassistenzsystem zur Bereitstellung einer Fahrerassistenzfunktion für den Fahrer des Fahrzeugs verwendet werden.

[0037] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt ein erneutes Zuordnen der Messdaten zum zweiten, bereits optimierten Modell für den Fahrbahnverlauf sowie ein erneutes Minimieren des Modellierungsfehlers des zweiten, bereits optimierten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung des zweiten, bereits optimierten Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten.

[0038] Hierdurch kann eine verbesserte Datenzuordnung erreicht werden. Insbesondere erfolgt ein abwechselndes Wiederholen der Zuordnung der Messdaten und der Minimierung des Modellierungs-

fehlers des zweiten Modells, um somit ein optimiertes Modell für den Fahrbahnverlauf mit einer möglichst hohen Genauigkeit zu erhalten. Mit anderen Worten wird nach der Erstellung des zweiten Modells aus dem ersten Modell unter Verwendung der Odometrie-daten des Fahrzeugs sowie der Messdaten die Minimierung ausgeführt. Die Zuordnung der Messdaten sowie die Minimierung des Modellierungsfehlers werden anschließend alternierend ausgeführt, bis eine ausreichend genaue Lösung bzw. Modellierung des Fahrbahnverlaufs ermittelt wurde. Das Minimieren, welches beispielsweise auch als Fitting bezeichnet wird, wird mittels des Gauß-Newton-Verfahrens realisiert. Es ist also möglich, dass nach der Minimierung des Modellierungsfehlers des zweiten Modells festgestellt wird, dass die Genauigkeit des optimierten Modells nicht ausreichend ist bzw. dass Abweichungen zwischen den Messdaten und dem optimierten Modell noch zu groß sind. In diesem Fall kann eine erneute Zuordnung von aktuellen Messdaten zu dem im ersten Minimierungsschritt erzeugten optimierten Modell stattfinden. Anschließend findet erneut eine Minimierung des Modellierungsfehlers bzw. die Modellierung statt, um ein optimiertes Modell zu erhalten. Sobald das optimierte Modell für eine bestimmte Anwendung, insbesondere für eine bestimmte Fahrerassistenzfunktion, hinreichend genau ist, kann dieses für ein entsprechendes Fahrerassistenzsystem des Fahrzeugs verwendet werden.

[0039] Die Vorhersage des Fahrbahnverlaufs kann erfindungsgemäß auf einer mathematischen Beschreibung der Fahrbahn basieren. Zum Beispiel weist eine Straße n Spuren auf, welche wiederum durch Kurven beschrieben werden können. Beispiele hierfür sind Polynome, Splines, Klothoiden und Bézierkurven.

[0040] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ein Verfahren zur Vorhersage und Modellierung eines Fahrbahnverlaufs bereitgestellt werden, wobei lediglich die Auswertbarkeit bezüglich jedes Punktes auf einer Kurve sowie die Beschreibung jedes Modells durch m Modellparameter beschrieben werden kann. Eine zusätzliche Auswertbarkeit bezüglich der Ausrichtung (erste Ableitung) und Krümmung (zweite Ableitung) kann die Fahrstreifenschätzung, das heißt die Vorhersage des Fahrbahnverlaufs weiter verbessern. Ferner kann eine Auswertbarkeit bezüglich allgemeiner Fahrstreifenattribute, wie beispielsweise Linientyp oder Farbe, zusätzlich verwendet werden um die Modellierung zu verbessern.

[0041] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug angegeben. Das Fahrerassistenzsystem weist eine Recheneinheit und eine Sensoreinheit auf. Die Recheneinheit ist dazu ausgeführt, ein erstes Modell für einen Fahrbahnverlauf bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt bereitzu-

stellen. Die Recheneinheit ist ferner dazu ausgeführt, ein zweites Modell für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt basierend auf dem ersten Modell für den Fahrbahnverlauf und einer Positionsänderung des Fahrzeugs zwischen dem ersten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt zu bestimmen. Die Sensoreinheit ist dazu ausgeführt, Messdaten bezüglich eines Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs zu ermitteln. Die Recheneinheit ist dazu ausgeführt, die Messdaten zum Fahrbahnverlauf des zweiten Modells zuzuordnen. Die Recheneinheit ist ferner dazu ausgeführt, einen Modellierungsfehler des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten zu minimieren, um somit ein optimiertes Modell für den Fahrbahnverlauf zum zweiten Zeitpunkt zu erhalten.

[0042] Die Recheneinheit und die Sensoreinheit können beispielsweise in dem Fahrzeug angeordnet sein. Die Sensoreinheit umfasst beispielsweise ein Kamerasystem, insbesondere ein Stereokamerasystem. Jedoch kann die Sensoreinheit neben der optischen Ermittlung der Messdaten auch andere Verfahren verwenden. Beispielsweise ist es möglich Informationen eines Radarsystems, einer Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation sowie Informationen aus Kartenmaterial oder eines Lidar(Light detection and ranging)-Systems zu verwenden.

[0043] Die Messdaten weisen beispielsweise Informationen über die Position und/oder Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs auf. Sie können aber auch Informationen über Fahrstreifen der sich in der Umgebung des Fahrzeugs befindenden Fahrbahn aufweisen. Die Fahrstreifen können beispielsweise durch sogenannte Feature-Punkte beschrieben werden. Solche Feature-Punkte sind zum Beispiel Positionsdaten x , y , z in einem Referenzkoordinatensystem eine Fahrtrichtung sowie weitere Attribute.

[0044] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Fahrzeug mit dem oben beschriebenen Fahrerassistenzsystem angegeben.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0045] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm für ein Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn in einer Umgebung eines Fahrzeugs gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0046] Fig. 2 zeigt ein Fahrzeug mit einem Fahrerassistenzsystem gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0047] Fig. 3A zeigt Informationen zu detektierten Fahrstreifenmarkierungen in der Umgebung eines

Fahrzeugs gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0048] Fig. 3B zeigt ein Bild einer Frontkamera eines Fahrerassistenzsystems gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0049] Fig. 3C zeigt eine schematische Darstellung eines Straßenmodells gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0050] Fig. 3D zeigt ein optimiertes Modell für einen Fahrbahnverlauf gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen

[0051] Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich.

[0052] Werden in der folgenden Figurenbeschreibung in verschiedenen Figuren die gleichen Bezugszeichen verwendet, so bezeichnen diese gleiche oder ähnliche Elemente. Gleiche oder ähnliche Elemente können aber auch durch unterschiedliche Bezugszeichen bezeichnet sein.

[0053] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm für ein Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs einer Fahrbahn in einer Umgebung eines Fahrzeugs. In einem Schritt S1 erfolgt ein Bereitstellen eines ersten Modells **21** für den Fahrbahnverlauf bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt t_1 . In einem weiteren Schritt S2 des Verfahrens erfolgt ein Bestimmen eines zweiten Modells **22** für den Fahrbahnverlauf bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 basierend auf dem ersten Modell **21** für den Fahrbahnverlauf und Informationen über eine Positionsänderung S1a des Fahrzeugs zwischen dem ersten Zeitpunkt t_1 und dem zweiten Zeitpunkt t_2 . Die Bestimmung des zweiten Modells **22** aus dem ersten Modell **21** erfolgt also durch eine Vorhersage, insbesondere einer Transformation des ersten Modells **21** in das zweite Modell **22**. Die Transformation kann dabei eine Rotation und eine Translation des ersten Modells **21** in das zweite Modell **22** umfassen. Ferner ist es möglich, das zweite Modell **22** unter Verwendung eines Initialmodells **24**, welches beispielsweise in einem Datenspeicher hinterlegt ist, zu generieren.

[0054] In einem weiteren Schritt S3 des Verfahrens erfolgt ein Ermitteln von Messdaten bezüglich eines Objektes in der Umgebung des Fahrzeugs durch eine Sensoreinheit des Fahrzeugs. Ferner erfolgt in einem weiteren Schritt S4 des Verfahrens ein Zuordnen der Messdaten zum zweiten Modell **22** für den Fahrbahnverlauf. Die Zuordnung kann dabei beispielsweise mithilfe eines sogenannten „Nearest Neigh-

bour“-Verfahrens erfolgen. Dies kann beispielsweise eine quadratische Minimierung sein. In einem weiteren Schritt S5 des Verfahrens erfolgt ein Minimieren eines Modellierungsfehlers des zweiten Modells **22** für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells **22** für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten, um somit ein optimiertes Modell **23** für den Fahrbahnverlauf zum zweiten Zeitpunkt t_2 zu erhalten.

[0055] Die in der Fig. 1 dargestellten Pfeile kennzeichnen, dass nach dem Minimieren des Modellierungsfehlers, beispielsweise mithilfe eines Gauß-Newton-Verfahrens, das optimierte Modell entweder erneut als ein zu optimierendes Modell verwendet wird oder bereits das für das Fahrerassistenzsystem zu verwendende optimierte Modell **23** darstellt. Sofern nach der Minimierung des Modellierungsfehlers im Schritt S5 die Genauigkeit des erhaltenen Modells noch nicht ausreichend ist, können mit diesem erhaltenen Modell dieselben Schritte wie anfangs mit dem zweiten Modell durchgeführt werden. Das bedeutet, dass dieses erhaltene Modell erneut als ein Modell verwendet wird, welchem wiederum Messdaten in einem weiteren Schritt S7 zugeordnet werden, um anschließend in einem weiteren Schritt S8 erneut ein Minimieren des Modellierungsfehlers dieses Modells für den Fahrbahnverlauf basierend auf einer Abweichung dieses Modells für den Fahrbahnverlauf von den zugeordneten Messdaten durchführen zu können. Mit anderen Worten können die Zuordnung der Messdaten sowie die Minimierung des Modellierungsfehlers beliebig oft wiederholt werden.

[0056] Sofern das erhaltene Modell eine ausreichende Genauigkeit aufweist, wird dieses Modell als optimiertes Modell **23** in einem weiteren Schritt S6 für ein Fahrerassistenzsystem bereitgestellt. Ein solches Fahrerassistenzsystem kann beispielsweise ein Spurwechselassistent oder ein Spurhalteassistent sein.

[0057] Fig. 2 zeigt ein Fahrzeug **13** mit einem Fahrerassistenzsystem **32**, wobei das Fahrerassistenzsystem **32** eine Sensoreinheit **30**, eine Recheneinheit **34** sowie einen Datenspeicher **33** aufweist. Die Recheneinheit **34** kann mit der Sensoreinheit **30** sowie mit dem Datenspeicher **33** über Signalleitungen **35** verbunden sein. Jedoch ist es auch möglich, eine kabellose Verbindung zwischen diesen Komponenten bereitzustellen.

[0058] Die Sensoreinheit **30** weist beispielsweise ein Kamerasystem **31** auf. Das Kamerasystem **31** weist beispielsweise eine Stereokamera mit einer ersten Kamera **31a** und einer zweiten Kamera **31b** auf. Jedenfalls ist die Sensoreinheit **30** dazu ausgeführt, Messdaten bezüglich eines Objektes **14** in der Umgebung des Fahrzeugs **13** zu erfassen bzw. zu ermitteln. Solche Messdaten des Objektes **14** in der

Umgebung **12** des Fahrzeugs **13** weisen beispielsweise Informationen über eine Position und/oder eine Form einer Fahrbahnmarkierung **15** auf. Ferner können solche Messdaten auch Informationen über eine Fahrbahnrandmarkierung **15a** aufweisen. Es ist jedoch auch möglich, dass die Messdaten Informationen über andere Verkehrsteilnehmer, insbesondere andere Fahrzeuge, aufweisen. Andere Verkehrsteilnehmer sind in **Fig. 2** nicht dargestellt.

[0059] Das Fahrerassistenzsystem **32** ist dazu ausgeführt, aufgrund der ermittelten Messdaten und in dem Datenspeicher **33** hinterlegten Straßenmodellen bzw. Ausgangsmodellen und aufgrund von Odometriedaten des Fahrzeugs **13** einen Fahrbahnverlauf **10** einer Fahrbahn **11**, auf der sich das Fahrzeug **13** befindet, zu bestimmen. Insbesondere ist das Fahrerassistenzsystem **32** dazu ausgeführt, den Fahrbahnverlauf **10** der Fahrbahn **11** in der Umgebung **12** des Fahrzeugs **13**, das heißt in einem bestimmten Umkreis um das Fahrzeug **13** herum, zu ermitteln. Dabei können auch Messdaten bezüglich anderer Verkehrsteilnehmer in der Umgebung **12** des Fahrzeugs **13** verwendet werden, um den Fahrbahnverlauf **10** der Fahrbahn **11** vorherzusagen.

[0060] **Fig. 3A** zeigt aus Messdaten **16** extrahierte Informationen über den Fahrstreifenverlauf **41**, welche anhand eines Bewegungsverlaufs anderer, in **Fig. 3A** nicht dargestellter Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs **13** gewonnen werden. Die Trajektorien **40** der nicht dargestellten Verkehrsteilnehmer stellen damit die Grundlage für die Ermittlung des Fahrstreifenverlaufs **41** dar. Dabei werden sogenannte Feature-Punkte **42** zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgezeichnet. Die Messdaten **16** werden beispielsweise von der Sensoreinheit **30**, insbesondere von einem Kamerasystem, gewonnen. Beispielsweise basieren die in der **Fig. 3A** dargestellten Feature-Punkte **42** auf Kamerabildern zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

[0061] Die aus den Messdaten **16** gewonnenen Trajektorien **40** anderer Verkehrsteilnehmer weisen Informationen über das Objekt **14** in der Umgebung **12** des Fahrzeugs **13** auf. Es kann ein beliebiger Umkreis um das Fahrzeug **13** erfasst werden, so dass die Feature-Punkte **42** in einem bestimmten Umkreis um das Fahrzeug **13** bezüglich eines Referenzkoordinatensystems ermittelt werden können. Diese Messdaten **16** können anschließend zum zweiten Modell **22** zugeordnet werden. Die dargestellten Vektoren in **Fig. 3A** repräsentieren also die ausgehend von den Kamerabildern und den Trajektorien **40** anderer Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs **13** erzeugten Feature-Punkte **42**, welche als Eingangsdaten für die Modellierung verwendet werden. Das Rechteck symbolisiert die Position und die Fahrtrichtung des eigenen Fahrzeugs **13**.

[0062] **Fig. 3B** zeigt ein Bild **50** einer Frontkamera des Kamerasystems **31** des Fahrzeugs **13**, wobei auf dem Bild **50** das Sichtfeld bezogen auf das in **Fig. 3B** nicht dargestellte Kamerasystem **31** des Fahrzeugs **13** dargestellt ist. **Fig. 3B** zeigt den durch das Fahrerassistenzsystem **32** vorherzusagenden Fahrbahnverlauf **10** der Fahrbahn **11**, auf der sich das Fahrzeug **13** befindet. Auf dem Bild **50** ist ferner ein anderer Verkehrsteilnehmer dargestellt, dessen Trajektorie **40**, die in **Fig. 3A** dargestellt ist, aus einer Abfolge mehrerer Kamerabilder **50** zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt werden kann. Es können sowohl Trajektorien **40** anderer Verkehrsteilnehmer als auch weitere Messdaten von Feature-Punkten aus der Umgebung des Fahrzeugs **13** verwendet werden, um den Fahrbahnverlauf **10** der Fahrbahn **11** zu bestimmen.

[0063] **Fig. 3C** zeigt eine schematische Darstellung des zweiten Modells **22**, das heißt des erhaltenen Straßenmodells, wobei die horizontalen Linien die Fahrbahnmarkierungen **15** darstellen und das Kreuz die Position des eigenen Fahrzeugs **13** darstellt. Die eingezeichneten vertikalen Verbindungen **25** repräsentieren die in der Modellierung verwendeten Nebenbedingungen, insbesondere Parallelitätsbedingungen, zwischen den einzelnen Fahrbahnmarkierungen **15**. Als zusätzliche Nebenbedingungen können eine zeitliche Filterung sowie eine Krümmungsobergrenze verwendet werden. In der **Fig. 3C** sind die Stützstellen des zweiten Modells **22** als Quadrate **24** gekennzeichnet.

[0064] **Fig. 3D** zeigt das aus der Modellierung resultierende Modell für den Fahrbahnverlauf **10** der Fahrbahn **11**. Jeder Fahrbahnmarkierung **15** liegt dabei als Modell eine Spline-Funktion zugrunde, wobei die Stützstellen als Quadrate **24** gekennzeichnet sind. Die Stützstellen **24** sind durch diese Spline-Funktionen miteinander verbunden, wobei der Berechnung der Spline-Funktion ein iteratives Näherungsverfahren, wie beispielsweise das Gauß-Newton-Verfahren, zugrunde liegt. **Fig. 3D** zeigt daher ein optimiertes Modell **23**, welches aufgrund der Minimierung eines Modellierungsfehlers des zweiten Modells **22** für den Fahrbahnverlauf **10** basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells **22** für den Fahrbahnverlauf **10** von den zugeordneten Messdaten **16** erhalten wurde.

[0065] Das optimierte Modell **23** kann beispielsweise als Umfeldmodell zur Modellierung von Fahrbahnberandungen, beispielsweise Bordsteinen, Leitplanken, Grasnarben oder Bakengassen, verwendet werden. Dieses optimierte Modell **23** kann wiederum im Rahmen einer Fahrerassistenz für die optimierte Trajektorienplanung des Fahrzeugs **13** verwendet werden. Der Algorithmus, mit dem das optimierte Modell **23** berechnet wird, kann beispielsweise dazu ausgeführt sein, die optimalen Parameter ei-

ner Kurve zwischen zwei Zuständen im Hinblick auf Position, Ausrichtung und Krümmung zu erhalten. Der Startzustand kann dabei als Gleichheitsbedingung formuliert werden. Weitere Nebenbedingungen werden basierend auf dem gewünschten Ergebnis abgelegt. Dies sind zum Beispiel Ruckminimierung, Querbeschleunigungsobergrenze, Vermeidung von unnötigen Spurwechseln, Vermeidung von Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, Beschleunigungs- und Verzögerungsgrenzen sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen und eine möglichst geringe Abweichung von der Spurmitte. Diese Nebenbedingungen können verwendet werden, um das optimierte Modell **23** für den Fahrbahnverlauf **10** zu erzeugen, um somit durch das optimierte Modell **23** einen zuverlässigen Ausgangspunkt für ein entsprechendes Fahrerassistenzsystem des Fahrzeugs **13** bereitzustellen.

[0066] Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „umfassend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage eines Fahrbahnverlaufs (**10**) einer Fahrbahn (**11**) in einer Umgebung (**12**) eines Fahrzeugs (**13**), aufweisend die Schritte: Bereitstellen eines ersten Modells (**21**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt (t_1 ; S1); Bestimmen eines zweiten Modells (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2) basierend auf dem ersten Modell (**21**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) und einer Positionsänderung des Fahrzeugs (**13**) zwischen dem ersten Zeitpunkt (t_1) und dem zweiten Zeitpunkt (t_2 ; S2); Ermitteln von Messdaten (**16**) bezüglich eines Objektes (**14**) in der Umgebung (**12**) des Fahrzeugs (**13**) durch eine Sensoreinheit (**30**; S3); Zuordnen der Messdaten (**16**) zum zweiten Modell (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**; S4); und Minimieren eines Modellierungsfehlers des zweiten Modells (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) von den zugeordneten Messdaten (**16**), um somit ein optimiertes Modell (**23**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) zum zweiten Zeitpunkt (t_2) zu erhalten (S5).

2. Verfahren nach Anspruch 1, aufweisend den Schritt:

Verwenden des optimierten Modells (**23**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) in einem Fahrerassistenzsystem (**32**) des Fahrzeugs (**13**) zur Regelung eines Fahrzustandes des Fahrzeugs (**13**; S6).

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messdaten (**16**) bezüglich des Objektes (**14**) in der Umgebung (**12**) des Fahrzeugs (**13**) Informationen über eine Position und/oder eine Form einer Fahrbahnmarkierung (**15**) der Fahrbahn (**11**) aufweisen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Bestimmung einer Trajektorie (**40**) eines Verkehrsteilnehmers in der Umgebung (**12**) des Fahrzeugs (**13**) basierend auf den Messdaten (**16**) erfolgt, um somit Informationen bezüglich des Objektes (**14**) in der Umgebung (**12**) des Fahrzeugs (**13**) bereitzustellen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ermitteln der Messdaten (**16**) bezüglich des Objektes (**14**) in der Umgebung (**12**) des Fahrzeugs (**13**) basierend auf Kameradaten eines Kamerasystems (**31**) des Fahrzeugs (**13**) erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen des ersten Modells (**21**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zum ersten Zeitpunkt (t_1) unter Verwendung eines Initialmodells (**24**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) erfolgt; oder wobei das Bereitstellen des ersten Modells (**21**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zum ersten Zeitpunkt (t_1) unter Verwendung eines zeitlich vor dem zweiten Modell (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bestimmten Modells erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen des ersten Modells (**21**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zum ersten Zeitpunkt (t_1) basierend auf in einem Datenspeicher (**33**) hinterlegten Ausgangsmodellen für einen Fahrbahnverlauf (**10**) erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen eines zweiten Modells (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) basierend auf einer Richtungsänderung des Fahrzeugs (**13**) erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Optimieren des zweiten Modells (**22**) für den Fahrbahnverlauf (**10**) mittels eines iterativen Näherungsverfahrens erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Minimieren des Modellierungsfehlers des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) mittels des iterativen Näherungsverfahrens und zumindest einer weiteren Nebenbedingung (25) erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das optimierte Modell (23) ein Modell für eine Fahrbahnmarkierung (15) und/oder für eine Fahrbahnberandung (15a) der Fahrbahn (11) ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend die Schritte:
Erneutes Zuordnen der Messdaten (16) zum zweiten Modell (22) für den Fahrbahnverlauf (10; S7); und
Erneutes Minimieren eines Modellierungsfehlers des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) von den zugeordneten Messdaten (16; S8).

13. Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug, aufweisend:

eine Recheneinheit (34);

eine Sensoreinheit (30);

wobei die Recheneinheit (34) dazu ausgeführt ist, ein erstes Modell (21) für einen Fahrbahnverlauf (10) bezüglich eines Referenzkoordinatensystems zu einem ersten Zeitpunkt (t_1) bereitzustellen;

wobei die Recheneinheit (34) dazu ausgeführt ist, ein zweites Modell (22) für den Fahrbahnverlauf (10) bezüglich des Referenzkoordinatensystems zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2) basierend auf dem ersten Modell (21) für den Fahrbahnverlauf (10) und einer Positionsänderung des Fahrzeugs (13) zwischen dem ersten Zeitpunkt (t_1) und dem zweiten Zeitpunkt (t_2) zu bestimmen;

wobei die Sensoreinheit (30) dazu ausgeführt ist, Messdaten (16) bezüglich eines Objektes (14) in der Umgebung (12) des Fahrzeugs (13) zu ermitteln;

wobei die Recheneinheit (34) dazu ausgeführt ist, die Messdaten (16) zum Fahrbahnverlauf (10) des zweiten Modells (22) zuzuordnen; und

wobei die Recheneinheit (34) dazu ausgeführt ist, einen Modellierungsfehler des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) basierend auf einer Abweichung des zweiten Modells (22) für den Fahrbahnverlauf (10) von den zugeordneten Messdaten (16) zu minimieren, um somit ein optimiertes Modell (23) für den Fahrbahnverlauf (10) zum zweiten Zeitpunkt (t_2) zu erhalten.

14. Fahrzeug mit einem Fahrerassistenzsystem nach Anspruch 13.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

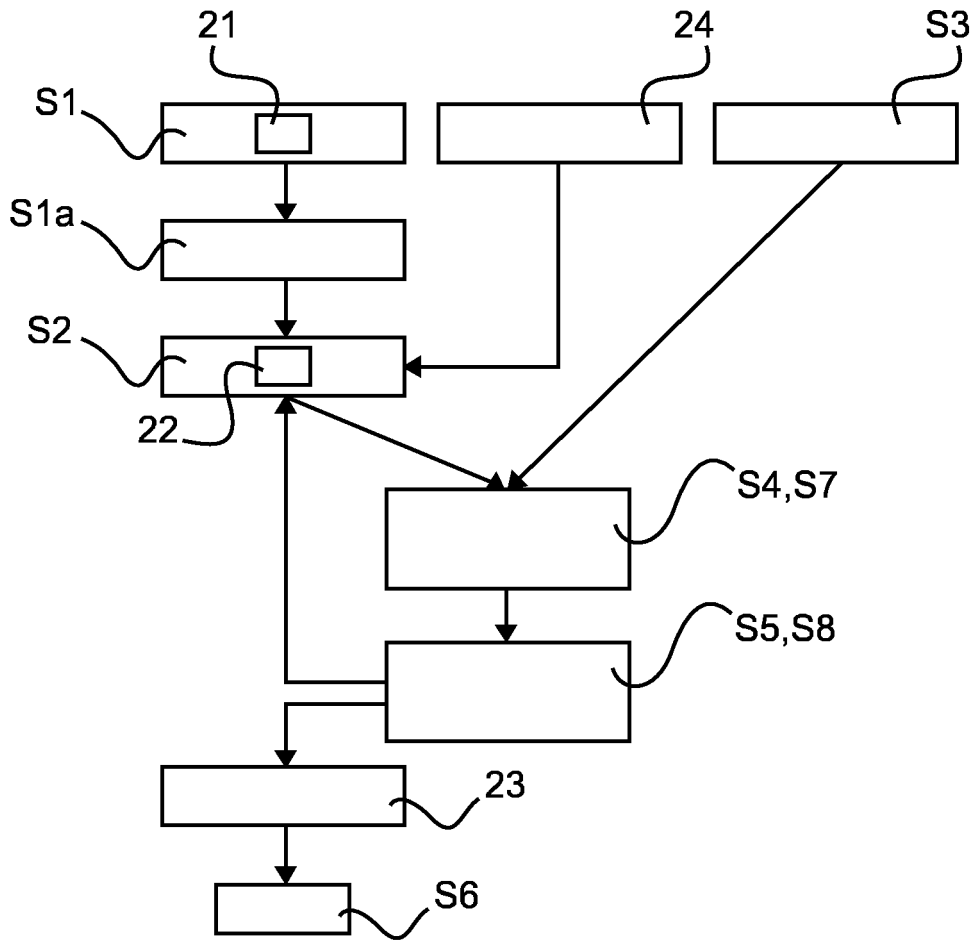


Fig. 1

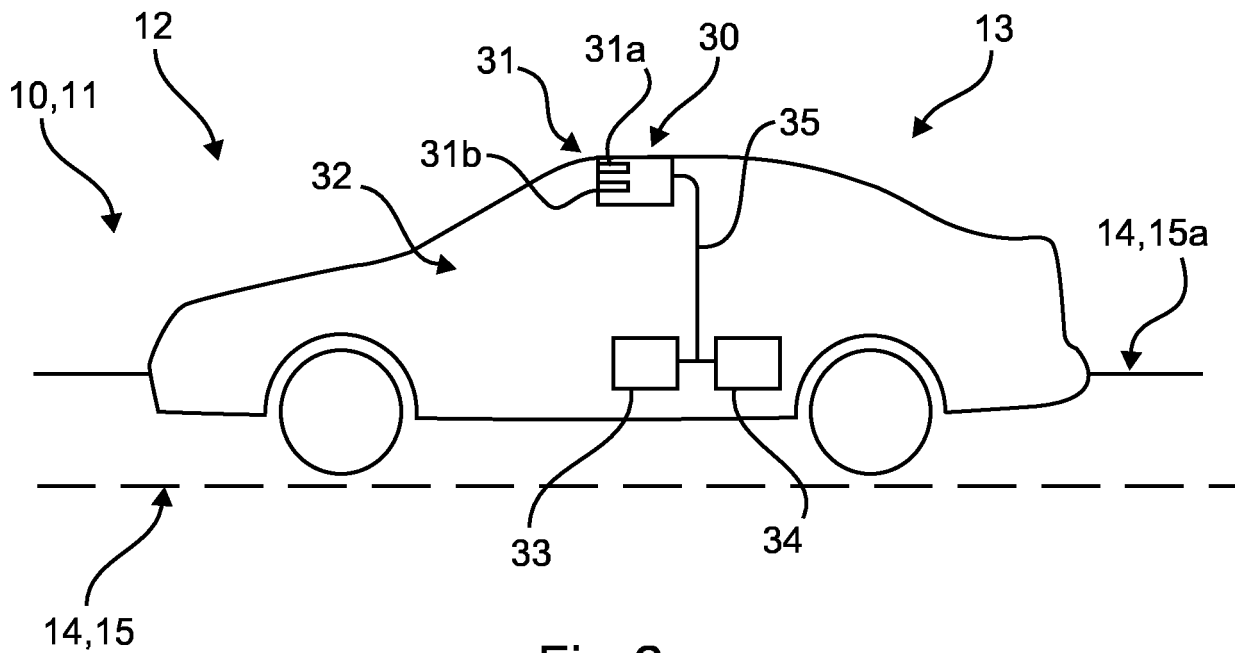


Fig. 2

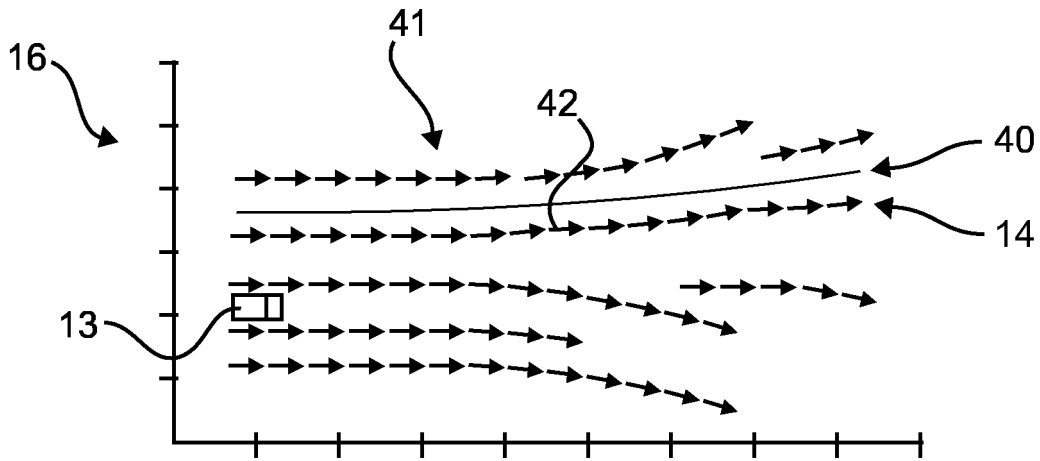


Fig. 3A

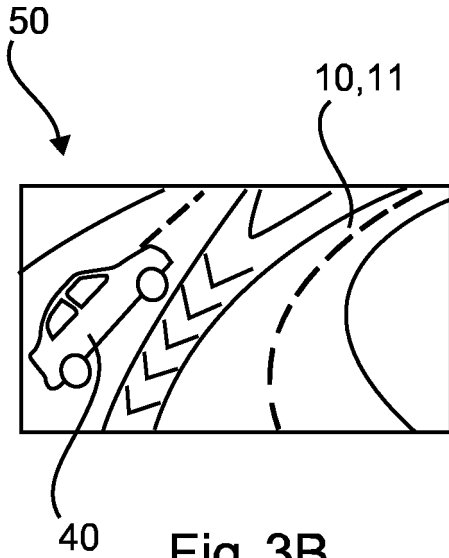


Fig. 3B

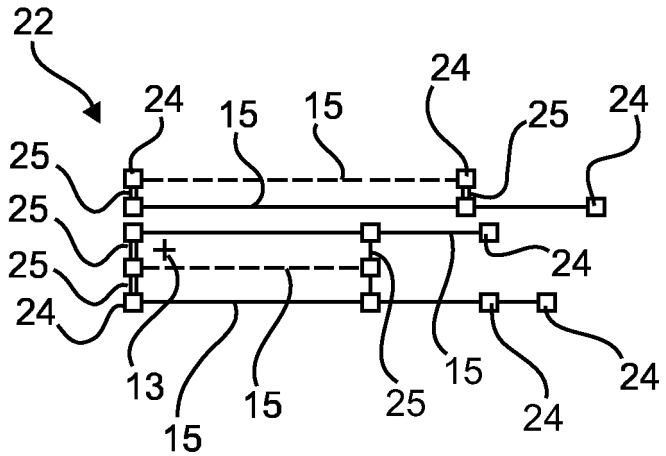


Fig. 3C

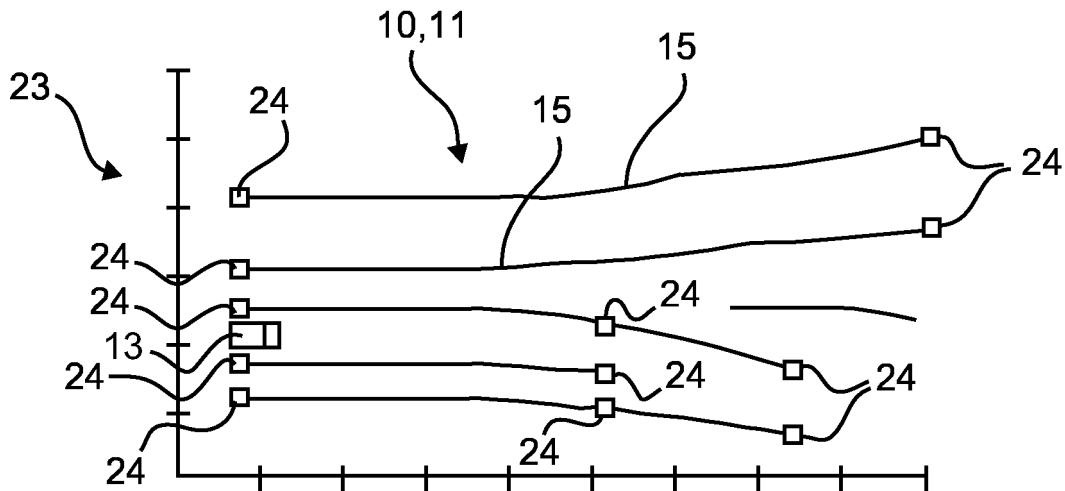


Fig. 3D