

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. November 2020 (19.11.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/229002 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G06K 9/00 (2006.01) G06K 9/46 (2006.01)
B60W 40/072 (2012.01) G06K 9/62 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/054290

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Februar 2020 (19.02.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 112 413.1
13. Mai 2019 (13.05.2019) DE

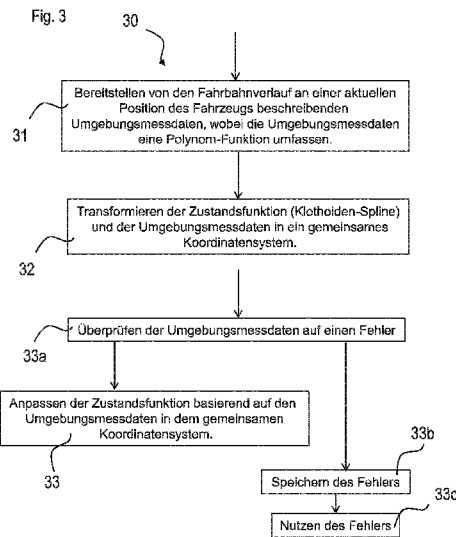
(71) Anmelder: **BAYERISCHE MOTOREN WERKE AK-
TIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Petuelring 130, 80809
München (DE).

(72) Erfinder: **BROWN, Sean**; Ettalstr. 40, 81377 München
(DE). **KEIDEL, Frank**; Petunienweg 7, 85586 Poing (DE).
RAUCH, Sebastian; Brucker-Str. 14, 85232 Guending
(DE). **BORN, Alexander**; Ottobrunner Straße 15 b, 81737
München (DE). **JANSEN, Axel**; Siegmundstraße 1, 85716
Unterschleißheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MULTI-SENSOR DATA FUSION FOR AUTOMATED AND AUTONOMOUS VEHICLES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MULTI-SENSOR-DATENFUSION FÜR AUTOMATISIERTE UND AUTONOME FAHRZEUGE



- 31 Providing surroundings measurement data which describes the course of the road at a current position of the vehicle and comprises at least one polynomial function
32 Transforming the state function (clothoid spline) and the surroundings measurement data in to a shared coordinate system
33a Checking the measurement data for an error
33 Adapting the state function on the basis of the surroundings measurement data in the shared coordinate system
33b Storing the error
33c Using the error

(57) Abstract: Embodiments of the present invention provide a computer-implemented method (30) for estimating the course of a road in the surroundings of a vehicle (11) on the basis of a state function describing the course of the road. The state function comprises a clothoid spline (20). The computer-implemented method (30) further includes the step of providing (31) surroundings measurement data which describes the course of the road at a current position of the vehicle (11) and comprises at least one polynomial function. The computer-implemented method (30) also comprises the steps of transforming (32) the state function and the surroundings measurement data into a shared coordinate system, checking (33a) the measurement data for an error, and if no error is detected, adapting (33) the state function on the basis of the surroundings measurement data in the shared coordinate system. If an error is detected, the error is stored (33b).

(57) Zusammenfassung: Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein computerimplementiertes Verfahren (30) zur Schätzung eines Fahrbahnverlaufs in einer Umgebung eines Fahrzeugs (11) basierend auf einer den Fahrbahnverlauf beschreibenden Zustandsfunktion. Die Zustandsfunktion umfasst dabei einen Klothoiden-Spline (20). Ferner umfasst das computerimplementierte Verfahren (30) ein Bereitstellen (31) von Umgebungsmessdaten, welche den Fahrbahnverlauf an einer aktuellen Position des Fahrzeugs (11) beschreiben. Die Umgebungsmessdaten umfassen dabei zumindest eine Polynomfunktion. Das computerimplementierte Verfahren (30) umfasst des Weiteren ein Transformieren (32) der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten in ein gemeinsames

ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MULTI-SENSOR-DATENFUSION FÜR AUTOMATISIERTE UND AUTONOME FAHRZEUGE

Beschreibung

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf ein computerimplementiertes Verfahren, ein Fahrzeug, ein Computerprogramm und eine Vorrichtung zur Schätzung eines Fahrbahnverlaufs. Der Fahrbahnverlauf wird hierbei durch eine Zustandsfunktion beschrieben, die einen Klothoiden-Spline umfasst.

Bei einer Steuerung mancher automatisierter oder autonom fahrender Fahrzeuge kommen Verfahren zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs zum Einsatz, auf deren Basis die Steuerung eines solchen Fahrzeugs Fahrentscheidungen trifft.

Dabei kann der Fahrbahnverlauf durch Bestimmen eines der Zustandsfunktion entsprechenden Fahrbahnmodells näherungsweise beschrieben werden. Dadurch kann der Fahrbahnverlauf insbesondere relativ zu einer Position und/oder einer Orientierung des Fahrzeugs ermittelt werden. Eigenschaften des Fahrbahnverlaufs können beispielsweise Breite, Richtung, Krümmung oder Anzahl der nebeneinanderliegenden Fahrspuren oder die Position des Fahrzeugs bezüglich der Fahrspuren (zum Beispiel das Fahrzeug befindet sich auf der rechten, der mittleren oder der linken von drei Fahrspuren) sein.

Das Fahrzeug kann dann so gesteuert werden, dass es zum Beispiel dem Fahrbahnverlauf folgt, Hindernissen ausweicht oder die Spur wechseln kann. Für einen hochverfügbaren, sicheren und komfortablen Betrieb des Fahrzeugs können bei einer Ermittlung des Fahrbahnverlaufs oder Fahrbahnmodells Umgebungsmessdaten mehrerer Datenquellen kombiniert (fusioniert) werden. Ein Kombinieren von Datenquellen, auch als Datenfusion bezeichnet, meint dabei ein Kombinieren von Daten mehrerer Datenquellen. Typische Datenquellen können beispielsweise sensorische Datenquellen wie eine Kamera oder Wegpunkte einer digitalen Karte sein. Eine solche digitale Karte kann insbesondere eine niedrig auflösende (SD) Karte oder eine hochauflösende (HD) Karte sein. Es gibt verschiedene Möglichkeiten für eine solche Datenfusion.

Das Dokument WO2018/019454 beschreibt ein Verfahren zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells. Hierbei wird mittels unterschiedlicher Parametrierungen von Kartendaten und Beobachtungsdaten eine Mehrzahl von Hypothesen für ein Fahrbahnmodell erzeugt. Auf Basis von Konfidenzwerten der

Hypothesen wird eine Hypothese für ein Fahrbahnmodell ausgewählt. Ein Verfahren zur Datenfusion der Beobachtungsdaten und Kameradaten, welches ein hochverfügbares Bestimmen des Fahrbahnverlaufs gewährleistet, wird hierin nicht berücksichtigt.

Weitere konventionelle Steuerungen verwenden typischerweise ausschließlich Daten einer einzelnen Datenquelle (Kamera, digitale Karte), um ein Fahrbahnmodell zu erstellen. Hierbei kann kein hochverfügbares Bestimmen des Fahrbahnverlaufs gewährleistet werden, da bei auftretender Funktionsuntüchtigkeit der Datenquelle ein Bestimmen des Fahrbahnverlaufs nicht mehr möglich ist. Des Weiteren können einzelne Datenquellen verrauschte oder teils fehlerbehaftete Umgebungsmessdaten erzeugen, wodurch eine Schätzung des Fahrbahnverlaufs ungenau sein kann. Es besteht daher ein Bedarf darin, ein computerimplementiertes Verfahren zum Schätzen des Fahrbahnverlaufs schaffen, welches das hochverfügbare und ein präzises Bestimmen des Fahrbahnverlaufs gewährleistet. Diesem Bedarf tragen das computerimplementierte Verfahren, die Vorrichtung, das Computerprogramm sowie das Fahrzeug nach den unabhängigen Ansprüchen Rechnung. Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein computerimplementiertes Verfahren, ein Fahrzeug, ein Computerprogramm und eine Vorrichtung, welche dem Schätzen eines Fahrbahnverlaufs in einer Umgebung des Fahrzeugs dienen. Mittels Datenfusion von Umgebungsmessdaten mehrerer Datenquellen mit einer den Fahrbahnverlauf beschreibenden Zustandsfunktion (Fahrbahnmodell) kann eine Hochverfügbarkeit und eine hohe Präzision des Schätzens gewährleistet werden.

Die Umgebungsmessdaten der jeweiligen Datenquellen sind dabei Ausgangsgrößen von Messungen des Fahrbahnverlaufs und umfassen zumindest eine Polynomfunktion. Die Zustandsfunktion umfasst einen Klothoiden-Spline. Die Datenfusion der Umgebungsdaten mit der Zustandsfunktion meint dabei das Anpassen der Zustandsfunktion, beziehungsweise des Klothoiden-Splines, an die Umgebungsmessdaten durch einen Echtzeitfilter. Für die Schätzung des Fahrbahnverlaufs hat sich beispielsweise ein Kalman-Filter als vorteilhafter Echtzeitfilter erwiesen.

Das Anpassen der Zustandsfunktion mit dem Kalman-Filter erfordert üblicherweise das Transformieren der Zustandsfunktion von einem Zustandsraum in einen Messraum. In Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung kann es sich hierbei um ein Transformieren der Zustandsfunktion zwischen verschiedenen Koordinatensystemen handeln. In dem Messraum kann eine aus einer Prädiktion des Kalman-Filters hervorgehende Zustandsfunktion mit Umgebungsmessdaten mehrerer Datenquellen oder Sensoren korrigiert werden. Im Zusammenhang mit dem Kalman-Filter wird dies üblicherweise als Innovation bezeichnet. Die durch die Anpassung

oder Innovation aktualisierte Zustandsfunktion entspricht einer näherungsweisen Schätzung des Fahrbahnverlaufs. Durch zeitlich wiederholendes Anpassen der Zustandsfunktion an Umgebungsmessdaten wird die Schätzung fortlaufend aktualisiert, so dass beispielsweise ein Fahrbahnverlauf einer Straße präzise und sicher geschätzt werden kann. Ein Anpassen der Zustandsfunktion an Umgebungsmessdaten mehrerer Datenquellen gewährleistet eine Hochverfügbarkeit und eine hohe Genauigkeit bei dem Schätzen des Fahrbahnverlaufs. Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zur Schätzung eines Fahrbahnverlaufs in einer Umgebung eines Fahrzeugs basierend auf einer den Fahrbahnverlauf beschreibenden Zustandsfunktion. Die Zustandsfunktion umfasst dabei einen Klothoiden-Spline.

Ferner umfasst das computerimplementierte Verfahren ein Bereitstellen von Umgebungsmessdaten, welche den Fahrbahnverlauf in einer bestimmten Umgebung der aktuellen Position des Fahrzeugs beschreiben. Die Umgebungsmessdaten umfassen dabei zumindest eine Polynomfunktion. Die Polynomfunktion kann beispielsweise ausgehend von einer Polylinie mit Hilfe eines Kurvenregressionsverfahrens erzeugt werden. Eine solche Polylinie bezeichnet hierbei eine Folge zusammenhängender Liniensegmente. Das computerimplementierte Verfahren umfasst des Weiteren ein Transformieren der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten in ein gemeinsames Koordinatensystem und ein Anpassen der Zustandsfunktion basierend auf den Umgebungsmessdaten in dem gemeinsamen Koordinatensystem.

Beispielsweise beruht das computerimplementierte Verfahren auf einem rekursiven Verfahren, wie zum Beispiel dem Kalman-Filter, welches aufeinanderfolgende Rekursionsschritte aufweisen kann. Jeder Rekursionsschritt kann dabei dem Schätzen des Fahrbahnverlaufs dienen, welcher durch die Zustandsfunktion beschrieben wird. Da im Verkehrswegebau bei einer Berechnung des Fahrbahnverlaufs häufig Klothoiden eingesetzt werden, kann der Fahrbahnverlauf wiederum präzise durch aufeinanderfolgende Klothoiden-Segmente geschätzt oder näherungsweise rekonstruiert werden. Daher kann es vorteilhaft sein beim Schätzen des Fahrbahnverlaufs für die Zustandsfunktion den Klothoiden-Spline anzunehmen. Der Klothoiden-Spline kann dabei vollständig durch Parameter wie Krümmung, Krümmungsänderung, Winkel und y-Achsenabschnitt bestimmt sein.

Eingangsgrößen zum Schätzen des Fahrbahnverlaufs sind die Umgebungsmessdaten. Die Umgebungsmessdaten können in Form von Polynomfunktionen oder Polynom-Splines vorliegen, die sich aus Messdaten fahrzeugfremder und/oder fahrzeuginterner Sensoren ergeben können. Die Umgebungsmessdaten bilden beispielsweise den beobachteten Fahrbahnverlauf in der Umgebung des Fahrzeugs näherungsweise ab.

Die Umgebungsmessdaten können dann mit der Zustandsfunktion verglichen werden. Dazu ist es vorteilhaft, dass die Zustandsfunktion und die Umgebungsmessdaten in dem gemeinsamen Messraum vorliegen. Häufig ist dafür ein Transformieren der Zustandsfunktion in ein anderes Koordinatensystem geeignet. Beispielsweise kann der Klothoiden-Spline in einem Koordinatensystem mit Krümmungswerten und Bogenlängen dargestellt sein, wohingegen die Umgebungsmessdaten in einem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten vorliegen. Aus diesem Grund wird beispielsweise ein Messmodell auf die Zustandsfunktion angewandt, um die Zustandsfunktion zumindest näherungsweise in dem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten darzustellen. Der Klothoiden-Spline, welcher typischerweise als Funktion einer Bogenlänge dargestellt wird, kann beispielsweise durch ein oder mehrere Polynome dritten Grades oder in einer Parameterdarstellung in Ortskoordinaten näherungsweise dargestellt werden. Daraufhin kann die bei der Prädiktion erfasste Zustandsfunktion mit den Umgebungsmessdaten in dem Kalman-Filter aktualisiert werden.

Als Ausgangsgröße eines Rekursionsschritts erhält man üblicherweise die aktualisierte Zustandsfunktion. Für ein hochverfügbares und präzises computerimplementiertes Verfahren zum Bestimmen des Fahrbahnverlaufs kann es dabei vorteilhaft sein für die Datenfusion des Rekursionsschritts Umgebungsdaten mehrerer, gegebenenfalls verschiedenartiger Datenquellen oder Sensoren heranzuziehen. Eine solche Datenfusion wird als Multi-Sensor-Datenfusion bezeichnet.

In jedem Rekursionsschritt kann zusätzlich eine Überprüfung stattfinden, ob in den zugrundeliegenden Umgebungsdaten ein Fehler ist. Ein derartiger Fehler kann beispielsweise sein, falls durch eine Baustelle Spurmarkierungen verändert wurden. In so einem Fall unterscheiden sich die Umgebungsdaten einer Karte und einer Kamera. Weiterhin kann auch die Qualität der Spurmarkierungen schlecht sein, oder die Kamera eine Fehlmessung durchführen.

Die Überprüfung kann erfolgen, indem eine Abweichung zwischen einem in einem Prädiktionsschritt eines Kalman-Filters ermittelten Wertes der Zustandsfunktion und den aktuellen Umgebungsdaten ermittelt wird und diese mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen wird. Ist die ermittelte Abweichung größer als ein vorgegebener (oberer) Schwellenwert oder kleiner als ein vorgegebener (unterer) Schwellenwert, so liegt ein Fehler vor.

Dieser Fehler kann anschließend gespeichert werden und die aktuellen Umgebungsdaten werden nicht weiter für die Aktualisierung der Zustandsfunktion verwendet. Das Speichern kann auch ein Markieren einer zu dem Fehler korrespondierenden fehlerhaften Spurmarkierung umfassen.

Weiterhin kann der Fehler und korrespondierende Daten, wie die markierte fehlerhafte Spurmarkierung, anschließend an eine extern des Fahrzeugs angeordnete Empfangseinheit gesendet werden. Je nach Fehler können die übertragenen Daten einfach genutzt werden, beispielsweise für eine Straßenbehörde zur Verbesserung der fehlerhaften Spurmarkierung auf einer Straße und/oder an für einen Fahrzeughersteller zur Verbesserung einer Kamera/LIDAR Spurmarkierungserkennungsfunktion, insbesondere für ein manuelles Labeln zur Verbesserung von Lernalgorithmen. Weiterhin können die übertragenen Daten dazu genutzt werden, zu entscheiden, ob ein autonomer Fahrbetrieb an dieser fehlerhaften Spurmarkierung deaktiviert werden soll. Somit können diese Daten dazu genutzt werden, die Zuverlässigkeit und Sicherheit von autonomen Fahrfunktionen zu erhöhen. Weiterhin können die gesendeten Daten überprüft werden, um zu erkennen, ob der Fehler aufgrund von fehlerhaften Daten einer Kamera oder aufgrund von fehlerhaften Daten einer digitalen Karte entstanden ist.

Das Versenden kann beispielsweise automatisch nach der Erkennung des Fehlers erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann das Versenden gebündelt, z.B. immer nachts oder immer nach abstellen des Fahrzeuges oder ähnliches erfolgen. Weiterhin kann das Versenden auch an andere Fahrzeuge erfolgen.

In manchen Ausführungsbeispielen können die Umgebungsmessdaten von zumindest einer Kamera erfasst werden. Beispielsweise kann eine Kamera als einer von mehreren Sensoren oder mehrere Kameras zur Multi-Sensor-Datenfusion verwendet werden. Von der zumindest einen Kamera aufgenommene Aufnahmen einer Fahrbahn können dabei herangezogen werden, um mittels einer geeigneten Bildverarbeitungsanwendung den Fahrbahnverlauf zu detektieren. Aus den Aufnahmen kann beispielsweise ein Verlauf von Fahrbahnmarkierungen oder Fahrbahnbegrenzungen ermittelt werden und durch zumindest eine Polynomfunktion näherungsweise dargestellt werden. Die zumindest eine Polynomfunktion entspricht den Umgebungsmessdaten. Für eine genauere Schätzung kann der Fahrbahnverlauf auch durch eine Mehrzahl von zusammenhängenden Polynomfunktionen genähert werden.

Ein Erfassen des Fahrbahnverlaufs mithilfe einer Mehrzahl von Kameras kann ebenfalls zu einer genaueren Schätzung des Fahrbahnverlaufs beitragen.

Zusätzlich oder alternativ können Umgebungsmessdaten von einer Karte bereitgestellt werden. Die Karte liegt beispielsweise als digitale Karte mit einer bestimmten Ortsauflösung vor. Hochauflösende

Karten (HD Karten) beispielsweise haben eine Ortsauflösung von 10 bis 25 cm, was bedeutet, dass Strukturen oder Objekte, deren Abmessung zumindest in einer Dimension der jeweiligen Ortsauflösung entspricht mit einer Genauigkeit der Ortsauflösung dargestellt werden können. Beispielsweise können so die Fahrbahn, Fahrbahnbegrenzungen oder Fahrbahnmarkierungen detektiert werden. Der Karte können Wegpunkte entnommen werden, welche den Fahrbahnverlauf kennzeichnen. Mittels Interpolation der Wegpunkte können ein Polynom oder, wie üblich, ein Polynom-Spline mehrerer Polynome ermittelt werden, welche den Fahrbahnverlauf anhand der Wegpunkte der Karte näherungsweise bestimmen. Das Polynom oder der Polynom-Spline wird als Kartendaten bezeichnet. In manchen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können erste Umgebungsmessdaten von zumindest einer Kamera erfasst werden und zweite Umgebungsmessdaten von einer Karte bereitgestellt werden. Anhand der von der Kamera erfassten beziehungsweise aus der Karte ermittelten Umgebungsmessdaten kann jeweils ein Polynom oder ein Polynom-Spline ermittelt werden, welcher jeweils näherungsweise den Fahrbahnverlauf in der Umgebung des Fahrzeugs beschreibt. Die Zustandsfunktion kann dabei an die ersten Umgebungsmessdaten und zusätzlich an die zweiten Umgebungsmessdaten angepasst werden. Durch Anpassen der Zustandsfunktion an Umgebungsmessdaten mehrerer verschiedenartiger Sensoren oder Datenquellen (Kamera und Karte) können sich eine Hochverfügbarkeit und eine erhöhte Präzision des Bestimmens des Fahrbahnverlaufs ergeben. Hochverfügbarkeit meint dabei, dass auch bei Ausfällen einer Datenquelle der Fahrbahnverlauf weiterhin zuverlässig geschätzt werden kann, so dass in diesem Fall das Fahrzeug beispielsweise noch in eine sichere Parkposition oder in eine Werkstatt gesteuert werden kann.

In weiteren Ausführungsbeispielen kann das computerimplementierte Verfahren das Transformieren der Zustandsfunktion und der Umgebungsdaten in ein gemeinsames Koordinatensystem mit Ortskoordinaten aufweisen. Die Innovation des Kalman-Filters erfordert typischerweise ein Transformieren der Zustandsfunktion in den Messraum, um die Zustandsfunktion mit den Umgebungsmessdaten zu aktualisieren. Typischerweise liegen die Umgebungsmessdaten der Kamera bereits in einem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten vor. Damit meint das Transformieren der Zustandsfunktion ein Umwandeln mithilfe eines Messmodells, so dass die Zustandsfunktion in dem Messraum, dem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten, dargestellt werden kann. Dabei wird der Klothoiden-Spline beispielsweise durch ein oder mehrere Polynome dritten Grades oder in der Parameterdarstellung durch Fresnel-Integrale beschrieben. Für ein Reduzieren der numerischen Komplexität bei der Datenfusion können die Fresnel-Integrale jeweils durch eine Taylorreihe approximiert werden. Vorteilhaft an der Datenfusion in dem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten ist, dass eine Orientierung und absolute Position des Fahrzeugs auf der Fahrbahn bestimmt werden

kann. Beispielsweise kann so bestimmt werden, auf welcher Fahrspur einer mehrspurigen Fahrbahn sich das Fahrzeug befindet und/oder, ob es sich entlang der Fahrbahn oder quer zu der Fahrbahn bewegt.

Weitere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung umfassen des Weiteren ein Sampling-Verfahren zum Bestimmen von Samplepunkten für das Anpassen der Zustandsfunktion. Bei jeweils mehreren Samplepunkten kann es vorteilhaft sein, wenn eine konstante Kurvenlänge zwischen benachbarten Samplepunkten liegt. Die Samplepunkte können beispielsweise durch ein geeignetes mathematisches Verfahren ermittelt werden. Die konstante Kurvenlänge kann als Eingangsgröße für das mathematische Verfahren dienen und beispielsweise vorgegeben sein oder abhängig von einer Eigenschaft des Fahrbahnverlaufs, wie zum Beispiel einer Fahrbahnkrümmung, ermittelt werden.

Für das Anpassen durch den Kalman-Filter kann es vorteilhaft sein, wenn die Zustandsfunktion und/oder die Umgebungsmessdaten in einem Punktraum des Messraums vorliegen. Das bedeutet, dass beispielsweise zu einem Vorteil für das Anpassen sowohl die Zustandsfunktion als auch die Umgebungsmessdaten durch jeweils eine Mehrzahl von Samplepunkten dargestellt werden. Anhand der Samplepunkte kann der Kalman-Filter die Zustandsfunktion auf die Umgebungsmessdaten anpassen. Typischerweise liegen die Samplepunkte in einem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten vor.

Optional können ausschließlich für die Zustandsfunktion die Samplepunkte bestimmt werden. Die Samplepunkte werden dann beispielsweise durch ein Polynom der gleichen Ordnung des Polynoms der Umgebungsmessdaten interpoliert. Der Kalman-Filter kann dann so ausgelegt sein, dass in jedem Rekursionsschritt Polynomparameter der transformierten Zustandsfunktion an weitere Polynomparameter der Umgebungsmessdaten angenähert werden. Über ein Messmodell können aus den Polynomparametern Parameter der Zustandsfunktion ermittelt werden, so dass die Zustandsfunktion mit den Parametern näherungsweise den Umgebungsmessdaten entspricht.

Bei einer Mehrzahl von Samplepunkten der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten können die Samplepunkte abhängig von einem Sampling-Verfahren so gewählt werden, so dass es für das Anpassen der Zustandsfunktion an die Umgebungsmessdaten vorteilhaft ist. Dabei werden zu vergleichende Samplepunkte so gewählt, dass diese bei einer gleichen Bogenlänge der Zustandsfunktion beziehungsweise der Umgebungsmessdaten liegen. Des Weiteren können bei jeweils einer Mehrzahl von Samplepunkten diese so gewählt werden, dass zwischen benachbarten

Samplepunkten einer Kurve (Zustandsfunktion, Umgebungsmessdaten) jeweils eine konstante Bogenlänge der Kurve liegt.

Damit kann eine Zustandsfunktion, welche starke Krümmungen aufweist, an die Umgebungsmessdaten der Kamera präzise angepasst werden. So kann in manchen Ausführungsbeispielen das zuverlässige Schätzen eines gegebenenfalls stark gekrümmten Fahrbahnverlaufs gewährleistet werden.

In weiteren Ausführungsbeispielen kann das computerimplementierte Verfahren ein Transformieren der Zustandsfunktion und der Umgebungsdaten in ein gemeinsames Koordinatensystem mit Krümmungswerten aufweisen. Der Messraum umfasst hierbei ein zweidimensionales Koordinatensystem, welche durch Krümmungswerte und Bogenlängen bestimmt sind. Üblicherweise liegt der Klothoiden-Spline in diesem Messraum vor. Die Kartendaten liegen typischerweise als Polynom-Spline in einem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten vor, welcher sich aus einer Interpolation der Wegpunkte ergeben kann. Der Polynom-Spline kann so transformiert werden, so dass die Krümmungswerte des Polynom-Splines abhängig von der Bogenlänge des Polynom-Splines ermittelt werden können. Damit können die Zustandsfunktion und der Polynom-Spline in dem Messraum dargestellt werden, welcher das Koordinatensystem mit den Krümmungswerten und den Bogenlängen umfasst. Die Krümmungswerte der Zustandsfunktion sind so für den Kalman-Filter mit den Krümmungswerten des Polynom-Splines vergleichbar.

In manchen Ausführungen der vorliegenden Erfindung kann das Anpassen der Zustandsfunktion an die Umgebungsmessdaten ein Anpassen von zumindest einem Krümmungswert der Zustandsfunktion an zumindest einen weiteren Krümmungswert der Umgebungsmessdaten vorsehen. Bei der Innovation des Kalman-Filters können beispielsweise die Krümmungswerte der Zustandsfunktion und des Polynom-Splines als Eingangsgrößen herangezogen werden. Die Datenfusion der Kartendaten mit dem Kalman-Filter meint dabei das Anpassen der Krümmungswerte eines Punktes oder mehrerer Punkte der Zustandsfunktion an die Krümmungswerte einer Transformierten der Kartendaten.

Das hierin beschriebene computerimplementierte Verfahren kann dabei insbesondere dazu ausgelegt sein den Fahrbahnverlauf gewöhnlicher Straßen oder Fahrbahnen zu bestimmen. Für gewöhnlich sind die Fahrbahnen vor allem auf Autobahnen, autobahnähnlichen Straßen und in einem urbanen Bereich mit Fahrbahnmarkierungen versehen, um den Fahrbahnverlauf

beispielsweise für einen Fahrzeugführer kenntlich zu machen. Die Fahrbahnmarkierungen können beispielsweise zu der Schätzung des Fahrbahnverlaufs herangezogen werden.

Gemäß weiterer Ausführungsbeispiele kann die Zustandsfunktion einen Verlauf der Fahrbahnmarkierung der Fahrbahn kennzeichnen. Dazu können von der zumindest einen Kamera Aufnahmen der Fahrbahnmarkierungen gemacht werden. Eine Erfassung des Fahrbahnverlaufs mittels der zumindest einen Kamera erfolgt üblicherweise über eine Bildverarbeitungsanwendung, welche einen Verlauf von Fahrbahnmarkierungen oder Fahrbahnbegrenzungen aus Aufnahmen der zumindest einen Kamera ermitteln kann. Damit können Umgebungsmessdaten der zumindest einen Kamera den Verlauf der Fahrbahnmarkierungen oder der Fahrbahnbegrenzungen kennzeichnen. Diese Schätzung kann bei der Steuerung des Fahrzeugs vorteilhaft sein, um beispielsweise eine Fahrbahnbreite oder einen Abstand des Fahrzeugs zur Fahrbahnbegrenzung zu ermitteln.

Bei weiteren Ausführungsbeispielen kann ein Ermitteln eines Verlaufs einer Fahrspurmitte durch Transformieren der Zustandsfunktion vorteilhaft sein. In manchen Fällen ist für die Steuerung des Fahrzeugs der Verlauf der Fahrspurmitte erforderlich. Umgebungsmessdaten der zumindest einen Kamera beispielsweise, beschreiben den Verlauf von Fahrbahnbegrenzungen oder Fahrbahnmarkierungen, welche sich seitlich der Fahrbahn befinden. Bei der Datenfusion dieser Umgebungsmessdaten kann daher der Verlauf der Fahrbahnmarkierungen oder Fahrbahnbegrenzungen geschätzt werden.

Bei bekannter Fahrbahnbreite kann anhand dieser Schätzung die Zustandsfunktion ermittelt werden, die den Verlauf der Fahrspurmitte beschreibt. Durch Translation und Ändern von Krümmungswerten kann von dem Verlauf der Fahrbahnmarkierungen und der Fahrbahnbegrenzungen auf die Zustandsfunktion geschlossen werden, welche den Verlauf der Fahrspurmitte beschreibt.

Optional kann das computerimplementierte Verfahren in weiteren Ausführungsbeispielen ferner ein Bereitstellen von Validierungsmessdaten und ein Validieren der Schätzung des Fahrbahnverlaufs mit Hilfe der Validierungsdaten umfassen. Weitere Sensoren, wie zum Beispiel Lidar-, Radar- und/oder Ultraschallsensoren können die Validierungsmessdaten bereitstellen, welche beispielsweise anhand von Ortskoordinaten Position und/oder einen Verlauf von Randbebauungen der Fahrbahn kennzeichnen. Randbebauungen können beispielsweise Leitplanken, Lärmschutzwände oder Leitpfosten sein.

Die Validierungsmessdaten kennzeichnen damit für das Fahrzeug befahrbare Bereiche. Beim Validieren der Schätzung des Fahrbahnverlaufs kann ermittelt werden, ob die Zustandsfunktion innerhalb des befahrbaren Bereichs liegt, und damit eine Aussage darüber getroffen werden, ob der geschätzte Fahrbahnverlauf realistisch sein kann. Die Validierung erhöht die Robustheit des computerimplementierten Verfahrens gegenüber Fehlern bei der Schätzung des Fahrbahnverlaufs. Zum Beispiel kann eine fehlerhafte Schätzung, also eine Zustandsfunktion, die nicht innerhalb des befahrbaren Bereichs liegt, bei der Steuerung des Fahrzeugs unberücksichtigt bleiben. Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs. Die Vorrichtung umfasst eine oder mehrere Schnittstellen, um Umgebungsmessdaten zu erfassen. Ferner umfasst die Vorrichtung eine Verarbeitungseinheit, welche ausgebildet ist, um das computerimplementierte Verfahren zum Schätzen des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs auszuführen.

Die Umgebungsmessdaten können dabei beispielsweise Kartendaten oder Umgebungsmessdaten der Kamera sein. Eine Schnittstelle der Vorrichtung ist dementsprechend beispielsweise eine Verbindung zu einem Speichermedium, auf welchem die Kartendaten gespeichert sind und von dort abgerufen werden oder übermittelt werden können. Weitere Schnittstellen könnten Verbindungen zu einer oder mehreren Kameras sein, welche die Umgebungsmessdaten bereitstellen.

Die Verarbeitungseinheit kann beispielsweise ein Computer, ein Mikrocontroller, ein Prozessor oder eine programmierbare Hardwarekomponente sein, welche konfiguriert ist, das computerimplementierte Verfahren auszuführen. Die von den Schnittstellen erfassten Umgebungsmessdaten werden dabei von den Schnittstellen an die Verarbeitungseinheit übermittelt, so dass die Umgebungsmessdaten als Eingangsgröße zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs dienen.

Ein dritter Aspekt betrifft ein Fahrzeug mit der Vorrichtung zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs. Das Fahrzeug kann jedwedes bodengebundene Fahrzeug sein, insbesondere Personenkraftwagen, Lastkraftwagen, Kraftrad oder Landmaschine.

Ausführungsbeispiele werden nachfolgend beziehungsweise auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer mehrspurigen Straße mit einem darauf befindlichen Fahrzeug.

Fig. 2 ein Beispiel für einen Klothoiden-Spline mit n Klothoiden-Segmenten.

Fig. 3 eine schematisches Ablaufdiagramm des computerimplementierten Verfahrens zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs.

Fig. 4 ein Ablaufdiagramm einer Multi-Sensor-Datenfusion.

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Sampling-Verfahrens des Klothoiden-Splines und der Umgebungsmessdaten.

Fig. 6 ein grafischer Vergleich zweier Näherungsverfahren zur Näherung des Klothoiden-Splines.

Fig. 7 ein grafischer Vergleich zweier Sampling-Verfahren.

Fig. 8 eine schematische Abbildung einer durch Fahrbahnmarkierungen markierte Fahrbahn.

Fig. 9 eine Darstellung der Kartendaten und dem auf der Fahrbahn befindlichen Fahrzeug.

Fig. 10 eine schematische Abbildung des Fahrzeugs mit einer Vorrichtung zum Schätzen des Fahrbahnverlaufs.

Verschiedene Ausführungsbeispiele werden nun ausführlicher unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen einige Ausführungsbeispiele dargestellt sind. In den Figuren können die Dickenabmessungen von Linien, Schichten und/oder Regionen um der Deutlichkeit Willen übertrieben dargestellt sein.

Im Bereich von Konzepten zum autonomen Fahren kann es von großer Bedeutung für die Steuerung von beispielsweise autonom fahrenden Fahrzeugen sein, die Umgebung und den Fahrbahnverlauf zu schätzen. So kann beispielsweise das Fahrzeug derart angesteuert werden, so dass es autonom, ohne Zutun eines Fahrers Lenkung, Beschleunigung, Geschwindigkeit und weitere Fahrzeug- oder Fahrparameter so regelt, so dass das Fahrzeug beispielsweise sicher dem geschätzten Fahrbahnverlauf folgt und/oder Hindernissen ausweichen kann.

In Fig. 1 ist beispielhaft ein schematischer Fahrbahnverlauf der Fahrbahn 14 gezeigt, auf der sich das Fahrzeug 11 befindet und/oder bewegt. Ausführungsbeispiele der hierin beschriebenen Erfindung können dazu ausgelegt sein, um den Fahrbahnverlauf in zwei translatorischen Richtungen, sprich in zwei Dimensionen, zu schätzen. Fig. 1 zeigt die Fahrbahn aus einer Draufsicht in den zwei Dimensionen. Das Fahrzeug 11 befindet sich dabei auf einer mittleren von drei Fahrspuren der Fahrbahn 14, welche zum Beispiel in eine oder in beide Richtungen befahren werden dürfen. In vorteilhaften Ausführungsbeispielen der hierin beschriebenen Erfindung kann beispielsweise ein Verlauf der Fahrbahn 14 oder der Fahrspur geschätzt werden. In einem weiteren Sinne kann in der vorliegenden Offenbarung unter dem Fahrbahnverlauf sowohl der Verlauf der Fahrbahn als auch der Verlauf der Fahrspur gemeint sein.

Eine Fahrspurmitte der Fahrspur und/oder ein Verlauf der Fahrspurmitte, können durch eine Mittellinie 12 gekennzeichnet sein. Üblicherweise haben Straßen allerdings keine Mittellinie 12, so dass die Fahrspurmitte nicht "sichtbar" ist. Die einzelnen Fahrspuren sind typischerweise jeweils durch Fahrbahnmarkierungen, wie einer Begrenzungslinie 13, begrenzt.

Gewöhnliche Verfahren aus dem Stand der Technik bestimmen beispielsweise den Fahrbahnverlauf anhand eines Fahrbahnmodells basierend auf Polynomen oder Polynom-Splines, welche sich beispielsweise unmittelbar aus Aufnahmen der Kamera oder aus der digitalen Karte ergeben können.

Jedoch wird die Fahrbahn 14 bei einer Bauplanung typischerweise aufgrund von Fahrkomfort und aus Sicherheitsgründen nach einem Spline (Klothoiden-Spline) zusammenhängender Klothoiden-Segmente konstruiert. Vorteil einer solchen Konstruktion der Fahrbahn 14 ist eine lineare Änderung einer Fahrbahnkrümmung, so dass Kurven mit hohem Fahrkomfort durchfahren werden können und für den Fahrer nicht autonom fahrender Fahrzeuge gut eingeschätzt werden können. Aufgrund einer auf dem Klothoiden-Spline basierende Bauweise kann es sich als vorteilhaft erweisen, bei der Schätzung des Fahrbahnverlaufs ein auf einem Klothoiden-Spline basierendes Fahrbahnmodell anzunehmen. Zum Beispiel können somit Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Schätzung erhöht werden.

Das Fahrbahnmodell der Fahrbahn 14, welches auf einem Klothoiden-Spline 20 beruht, ist beispielhaft in Fig. 2 gezeigt. Der Klothoiden-Spline 20 umfasst die Klothoiden-Segmente 21 und die Übergangsstellen 22 zwischen zwei Klothoiden-Segmenten 21. Die Klothoiden-Segmente 21 entsprechen Teilen von Klothoiden-Funktionen.

Die Klothoiden-Funktionen, beziehungsweise Krümmungswerte $c(s)$ der Klothoiden-Funktionen können abhängig von der Bogenlänge s abgebildet werden gemäß:

$$c(s) = c_0 + c_{1,m} * s \quad (1)$$

Dabei steht c_0 für eine Anfangskrümmung und $c_{1,m}$ für eine konstante Krümmungsänderung des m -ten Klothoiden-Segments 41 mit der Bogenlänge s . Anhand von (1) kann man erkennen, dass sich der Krümmungswert $c(s)$ der Klothoiden-Funktion linear mit $c_{1,m}$ ändert.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Klothoiden-Spline 20 kann zusätzlich eine Orientierung θ_0 und ein y-Achsenabschnitt y_0 eines Klothoiden-Segments 21 angegeben werden. Allgemein kann also jedes der Klothoiden-Segmente 21 des Klothoiden-Splines 20 durch die Parameter c_0 , c_1 , θ_0 und y_0 vollständig

charakterisiert werden. Für den Klothoiden-Spline 20 mit n ($n \in \mathbb{N}$) Klothoiden-Segmenten 21 würde das bedeuten, dass der Klothoiden-Spline 20 durch $4 \cdot n$ Parameter beschrieben werden kann.

Der in Fig. 2 gezeigte Klothoiden-Spline 20 erfüllt Anschlussbedingungen zwischen den Klothoiden-Segmenten 21, welche eine Anzahl der zur Beschreibung des Klothoiden-Splines 20 notwendigen Parameter reduzieren können, so dass sich ein Berechnungsaufwand zum Bestimmen des Klothoiden-Splines 20 reduziert. Der Klothoiden-Spline 20 ist beispielsweise an den Übergangsstellen 22 stetig, differenzierbar und die Krümmungswerte zweier aufeinanderfolgender Klothoiden-Segmente 21 sind an den Übergangsstellen 22 gleichwertig. Unter den genannten Anschlussbedingungen lässt sich die Anzahl der zur Beschreibung des Klothoiden-Splines 20 notwendigen Parameter auf $n + 3$ reduzieren. Daher kann der Klothoiden-Spline 20 durch einen reduzierten Parametersatz (c) vollständig charakterisiert werden.

Der Klothoiden-Spline 20 kann den Fahrbahnverlauf der Fahrbahn 14 beispielsweise sowohl vor als auch hinter dem Fahrzeug 11 in guter Näherung abbilden. Für ein Bestimmen des Klothoiden-Splines 20 werden Umgebungsmessdaten mehrerer, gegebenenfalls verschiedenartiger Datenquellen oder Sensoren herangezogen. Insbesondere bei einer Verwendung verschiedenartiger Sensoren kann es ein Bedarf sein, den Klothoiden-Spline 20 derart zu bestimmen, so dass die Umgebungsmessdaten der verschiedenartigen Sensoren in das Bestimmen des Klothoiden-Splines 20 mit eingehen. Diesem Bedarf kann beispielsweise durch Ausführungsbeispiele des in Fig. 3 dargestellten computerimplementierten Verfahrens 30 zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs nachgekommen werden.

Das computerimplementierte Verfahren 30 zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs basiert auf einem Bestimmen der den Fahrbahnverlauf beschreibenden Zustandsfunktion. Die Zustandsfunktion umfasst dabei den Klothoiden-Spline 20.

Das computerimplementierte Verfahren 30 umfasst das Bereitstellen 31 von Umgebungsmessdaten, welche den Fahrbahnverlauf an einer aktuellen Position des Fahrzeugs 11 beschreiben. Die Umgebungsmessdaten umfassen dabei die zumindest eine Polynomfunktion. Das computerimplementierte Verfahren 30 umfasst des Weiteren das Transformieren 32 der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten in das gemeinsame Koordinatensystem und das Anpassen 33 der Zustandsfunktion basierend auf den Umgebungsmessdaten in dem gemeinsamen Koordinatensystem.

Die Umgebungsmessdaten fahrzeugeigener Sensorik, wie der Kamera oder mehrerer Kameras, können wie in einem vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Verlauf der Begrenzungslinien 13 oder den Verlauf der Fahrspurmitte 12 der Fahrbahn anhand einer Polynomfunktion oder eines Polynom-Splines beschreiben.

Zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs kann außerdem die HD Karte eines Kartenherstellers herangezogen werden. Auf Grundlage von Wegpunkten der Fahrbahn, die der HD Karte entnommen werden können, können Umgebungsmessdaten ermittelt werden. Die Wegpunkte können beispielsweise die Fahrspurmitte kennzeichnen. Die sich daraus ergebenden Kartendaten beschreiben den Fahrbahnverlauf üblicherweise anhand eines weiteren Polynom-Splines.

Echtzeitfiltern, wie einem Kalman-Filter, kann es beispielsweise möglich sein, die Zustandsfunktion, beziehungsweise den Klothoiden-Spline 20, mit den Umgebungsmessdaten zu aktualisieren, sofern sich die Zustandsfunktion und die Umgebungsmessdaten in dem gemeinsamen Koordinatensystem befinden. Beispielsweise liegt die Zustandsfunktion wie in der Darstellung (1) in einem Zustandsraum vor, welcher Krümmungswerte umfasst. Die Umgebungsmessdaten liegen beispielsweise in einem Messraum mit Ortskoordinaten vor. Die Zustandsfunktion kann durch Transformieren 32 beispielsweise in dem gemeinsamen Koordinatensystem abgebildet werden, welches Krümmungswerte oder Ortskoordinaten umfassen kann.

In dem gemeinsamen Koordinatensystem kann beispielsweise der Kalman-Filter die Umgebungsmessdaten dazu heranziehen, um ein Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die Umgebungsmessdaten vorzunehmen.

Das computerimplementierte Verfahren 30 kann beispielsweise einen einzelnen Rekursionsschritt des rekursiven Verfahrens beschreiben. Das rekursive Verfahren umfasst beispielsweise mehrere aufeinanderfolgende Rekursionsschritte, die jeweils der Schätzung des Fahrbahnverlaufs dienen. Das rekursive Verfahren kann beispielsweise durch den Kalman-Filter oder durch weitere Echtzeitfilter realisiert werden. In einigen Ausführungsbeispielen hat sich der Kalman-Filter als vorteilhaft erwiesen.

Eingangsgrößen der einzelnen Rekursionsschritte sind die Zustandsfunktion aus einem der vorhergehenden Rekursionsschritte und die Umgebungsmessdaten, welche durch das Bereitstellen 31 von den Umgebungsmessdaten mittels der zumindest einen Kamera und der HD Karte erfasst werden können.

Ein Erfassen und das Transformieren 32 der Zustandsfunktion eines vorhergehenden Rekursionsschritts kennzeichnen eine erste Phase des Kalman-Filters. Diese Phase wird als Prädiktion bezeichnet.

Bei der Prädiktion des Kalman-Filters kann eine Schätzung für einen aktuellen Zustand des Klothoiden-Splines 20 ermittelt werden. Hierfür kann der Klothoiden-Spline einer Zustandsdynamik unterworfen werden. Die Zustandsdynamik ist beispielsweise durch eine Bewegung des Fahrzeugs 11 bestimmt. Der Klothoiden-Spline 20 kann beispielsweise, falls sich das Fahrzeug 11 entlang der Fahrbahn 14 bewegt, vor dem Fahrzeug 11 erweitert werden und hinter dem Fahrzeug 11 verkürzt werden.

Da sich der Klothoiden-Spline 20 üblicherweise aus einzelnen Segmenten 21 zusammensetzt, kann der Klothoiden-Spline 20 beispielsweise nicht kontinuierlich bei jedem Rekursionsschritt erweitert oder verkürzt werden, sondern nur für den Fall, dass das Fahrzeug 11 eine der Übergangsstellen 22 überfährt.

In jedem Rekursionsschritt kann zusätzlich eine Überprüfung stattfinden, ob in den zugrundeliegenden Umgebungsdaten ein Fehler ist 33a. Die Überprüfung kann erfolgen, indem eine Abweichung zwischen einem in einem Prädiktionsschritt eines Kalman-Filters ermittelten Wertes der Zustandsfunktion und den aktuellen Umgebungsdaten ermittelt wird und diese mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen wird. Ist die ermittelte Abweichung größer als ein vorgegebener (oberer) Schwellenwert oder kleiner als ein vorgegebener (unterer) Schwellenwert, so liegt ein Fehler vor. Dieser Fehler kann anschließend gespeichert werden 33b und nicht weiter für die Zustandsfunktion verwendet werden, also nicht in einer als Innovation bezeichneten Phase. Das Speichern kann auch ein Markieren einer zu dem Fehler korrespondierenden fehlerhaften Spurmarkierung umfassen. Weiterhin kann der Fehler und korrespondierende Daten, wie die markierte fehlerhafte Spurmarkierung, anschließend an eine extern des Fahrzeugs angeordnete Empfangseinheit gesendet werden. Je nach Fehler können die übertragenen Daten einfach genutzt werden, beispielsweise für eine Straßenbehörde zur Verbesserung der fehlerhaften Spurmarkierung auf einer Straße und/oder an für einen Fahrzeughersteller zur Verbesserung einer Kamera/LIDAR Spurmarkierungserkennungsfunktion, insbesondere für ein manuelles Labeln zur Verbesserung von Lernalgorithmen. Weiterhin können die übertragenen Daten dazu genutzt werden, zu entscheiden, ob ein autonomer Fahrbetrieb an dieser fehlerhaften Spurmarkierung deaktiviert werden soll. Somit können diese Daten dazu genutzt werden, die Zuverlässigkeit und Sicherheit von autonomen

Fahrfunktionen zu erhöhen. Weiterhin können die gesendeten Daten überprüft werden, um zu erkennen, ob der Fehler aufgrund von fehlerhaften Daten einer Kamera oder aufgrund von fehlerhaften Daten einer digitalen Karte entstanden ist.

Falls kein Fehler vorliegt erfolgt der folgende beschriebene Prozess.

Die Zustandsfunktion des vorhergehenden Rekursionsschritts wird durch Anpassen 33 an die Umgebungsmessdaten in jedem Rekursionsschritt aktualisiert. Das Anpassen 33 entspricht einer zweiten, als Innovation bezeichneten Phase des Kalman-Filters. Für das Anpassen 33 wird beispielsweise die Zustandsfunktion mit den Umgebungsmessdaten verglichen. Beispielsweise werden hierfür einzelne Werte der Zustandsfunktion mit weiteren Werten der Umgebungsmessdaten verglichen. Diese Werte können je nach Messraum beispielsweise Ortskoordinaten oder Krümmungswerte der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten sein. Üblicherweise haben die Werte der Zustandsfunktion eine Unschärfe, beziehungsweise die Werte der Umgebungsmessdaten eine Messunsicherheit, die jeweils durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, wie zum Beispiel einer Gauß-Verteilung dargestellt werden kann. In der zweiten Phase des Kalman-Filters kann mit der Zustandsfunktion und den Umgebungsmessdaten als Eingangsgrößen das Anpassen 33 der Zustandsfunktion erfolgen. Eine Gewichtung der Eingangsgrößen beim Anpassen 33 der Zustandsfunktion kann dabei abhängig von der Messunsicherheiten, beziehungsweise der Unschärfe sein. Je geringer die Messunsicherheit der Umgebungsmessdaten ist, desto stärker kann beispielsweise die bei der Prädiktion ermittelte Zustandsfunktion an die Umgebungsmessdaten angenähert werden. Je größer die Messunsicherheit der Umgebungsmessdaten 14 ist, desto geringer kann die Gewichtung der Umgebungsmessdaten beim Anpassen 33 sein. Die Unschärfe der als Eingangsgröße vorliegenden Zustandsfunktion basiert beispielsweise auf Mittelwerten und Angaben zur Streuung (zum Beispiel Kovarianzen) der Parameter des Klothoiden-Splines 20. Die Mittelwerte und Kovarianzen können aus den Parametern vorhergehender Rekursionsschritte ermittelt werden. Die Unschärfe der Zustandsfunktion kann beispielsweise durch die Kovarianzen bestimmt sein. Bei hoher Kovarianz kann die bei der Prädiktion erfasste Zustandsfunktion gering gewichtet sein.

Bei einer geringen Kovarianz wird die Zustandsfunktion dagegen stark gewichtet. Demnach ergibt sich je nach Unschärfe und Messunsicherheit aus den Umgebungsmessdaten und der als Eingangsgröße dienenden Zustandsfunktion eine aktualisierte Zustandsfunktion oder Klothoiden-Spline 20. In einem darauffolgenden Rekursionsschritt kann die zuletzt aktualisierte Zustandsfunktion wiederum für die Prädiktion herangezogen werden.

Die Umgebungsdaten einzelner Sensoren (Sensorik des Kartenherstellers und fahrzeugeigene Sensorik) können den Fahrbahnverlauf nicht exakt bestimmen. Die Umgebungsmessdaten der Sensorik können zum Beispiel teilweise verrauscht oder fehlerhaft sein. Die Datenfusion der Umgebungsdaten mehrerer verschiedenartiger Sensoren (Datenquellen) kann hingegen eine robuste, hochverfügbare und wenig fehlerbehaftete Schätzung des Fahrbahnverlaufs gewährleisten. Dieses Konzept der MultiSensor-Datenfusion wird in Fig. 3 veranschaulicht.

Bei der Multi-Sensor-Datenfusion können Daten, insbesondere Umgebungsmessdaten, einer Mehrzahl von Sensoren zu dem Fahrbahnmodell fusioniert werden. In dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel können die Umgebungsmessdaten mittels der Kamera 41 und der HD Karte 43 bereitgestellt werden.

Die Kamera 41 kann beispielsweise am Fahrzeug befestigt und in Fahrtrichtung gerichtet sein. Wie schon erwähnt, können aus den Aufnahmen der Kamera 41 mittels einer Bildverarbeitungsanwendung die Fahrbahnmarkierungen, die Fahrbahnbegrenzungen und deren Verlauf in Form einer oder mehrerer aufeinanderfolgender Polynomfunktionen näherungsweise dargestellt werden. Typischerweise ist eine Reichweite oder ein Messradius der Kamera 41 begrenzt durch Hindernisse oder eine optische Reichweite der Kamera 41.

Die HD Karte 43 basiert typischerweise auf Ausgangsgrößen einer Sensorik eines Kartenherstellers 42. Durch Interpolation der Wegpunkte, die der HD Karte entnommen werden können, können eine oder mehrere zusammenhängende Polynomfunktionen bestimmt werden, um den Fahrbahnverlauf näherungsweise zu beschreiben. Die HD Karte 43 oder entsprechende Kartendaten können beispielsweise auf einem Speichermedium vorliegen, welches an dem Fahrzeug 11 angebracht ist.

Alternativ oder zusätzlich könnten die HD Karte 43 oder die Kartendaten von einem Sender an ein Empfangsmodul des Fahrzeugs 11 oder einer Vorrichtung zum Schätzen des Fahrbahnverlaufs übermittelt werden.

Durch Anpassen 33 der Zustandsfunktion in der zweiten Phase des Kalman-Filters gehen beispielsweise gemäß der Multi-Sensor-Datenfusion 40 die Umgebungsmessdaten der HD Karte 43 und der Kamera 41 in das Schätzen des Fahrbahnverlaufs oder des Fahrbahnmodells 45 ein, welches durch die Zustandsfunktion oder den Klothoiden-Spline 20 dargestellt werden kann. Auch wenn das hier beschriebene Ausführungsbeispiel eine Verwendung einer einzelnen Kamera vorsieht, können

weitere Ausführungsbeispiele eine Mehrzahl von Kameras 41 umfassen, die gegebenenfalls in verschiedenen Richtungen ausgerichtet sein können.

Mit dem Kalman-Filter kann der Klothoiden-Spline 20 beispielsweise unter anderem auf Umgebungsdaten der Kamera 41 angepasst werden. Im Folgenden soll mithilfe der in Fig. 5 dargestellten Kurven 20 und 50 auf die Datenfusion 44 der Umgebungsmessdaten der Kamera 41 näher eingegangen werden.

Für das Anpassen 33 der Zustandsfunktion 20 in der zweiten Phase des Kalman-Filters werden die Zustandsfunktion 20, sprich der Klothoiden-Spline 20, und die Umgebungsmessdaten 50 in einen Punktraum transformiert. Das bedeutet, dass sowohl die Umgebungsmessdaten 50, also auch der Klothoiden-Spline 20 jeweils durch eine Mehrzahl von Punkten des Punktraums beschrieben werden können. Die Punkte können durch ein Sampling-Verfahren aus dem Klothoiden-Spline 20 und den Umgebungsmessdaten 50 ermittelt werden. Daher werden die Punkte auch Samplepunkte 51 und 52 genannt.

Anhand der für den Klothoiden-Spline 20 üblichen Darstellung (1) ist es nicht möglich, Samplepunkte 51 oder Ortskoordinaten der Samplepunkte 51 zu ermitteln. Daher ist das Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20 notwendig. Für das Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20 kann ein Messmodell ermittelt werden, mithilfe dessen der Klothoiden-Spline 20 in den Messraum der Umgebungsmessdaten 50 transformiert werden kann, so dass der Klothoiden-Spline 20 durch Ortskoordinaten dargestellt werden kann.

Dabei gibt es mehrere Messmodelle für ein Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20, um diesen durch Ortskoordinaten statt wie in (1) durch Bogenlängen und Krümmungswerte darzustellen. Im Folgenden soll beispielhaft anhand der in Fig. 6 dargestellten Abbildungen 60-1 und 60-2 auf zwei Messmodelle eingegangen werden, die zum Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20 herangezogen werden können.

Ein erstes Messmodell für das Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20 sieht eine näherungsweise Darstellung des Klothoiden-Splines 20 vor, indem die Klothoiden-Segmente 21 durch Polynome dritten Grades 62 genähert werden. Diese Darstellung wird in der Abbildung 60-1 gezeigt. Das Polynom 62 dritten Grades kann dabei wie folgt dargestellt werden:

$$y(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2)$$

a , b , c , und d entsprechen Parametern, welche eine Form des Polynoms 62 bestimmen. Für die näherungsweise Darstellung des Klothoiden-Segments 21 können die Parameter a , b , c , und d durch die Parameter c_0 , $c_{1,m}$, θ_0 und y_0 des Klothoiden-Segments 21 in folgender Weise ersetzt werden:

$$a = c_{1,m}, \quad b = c_0, \quad c = \text{atan}(\theta_0), \quad d = y_0 \quad (3)$$

Durch Einsetzen der Parameter gemäß (3) erhält man beispielsweise das Polynom 62, welches näherungsweise einen Verlauf der Klothoide oder beispielsweise des Klothoiden-Segments 21 abbildet.

Somit entsprechen die Samplepunkten 61 näherungsweise den Samplepunkten 51. Durch die näherungsweise Darstellung des Klothoiden-Segments 21 mit (2) und (3) können daher jedem Samplepunkt 61 Ortskoordinaten zugeordnet werden. Über das hier beschriebene erste Messmodell kann der Klothoiden-Spline 20 im Kalman-Filter in dem Punktraum dargestellt werden. Mit den Samplepunkten 61 und den Samplepunkten 52 des Punktraums als Eingangsgrößen kann der Kalman-Filter ein Annähern des Polynoms 62 an die Umgebungsmessdaten 50 vornehmen. Hierbei können Werte für die Parameter c_0 , θ_0 , y_0 und $c_{1,1} \dots c_{1,n}$ des Klothoiden-Splines 20 ermittelt werden. Über Einsetzen der Werte kann die Schätzung des Fahrbahnverlaufs bestimmt werden, die sich aus dem Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die Umgebungsmessdaten 50 der Kamera 41 ergibt.

Die Klothoiden-Segmente 21 können bei geringen Krümmungen gut durch das beschriebene Messmodell gemäß (2) und (3) genähert werden. Bei starken Krümmungen kann eine Genauigkeit der näherungsweisen Darstellung des Klothoiden-Splines 20 gemäß (2) und (3) ungenügend sein, um eine hohe Genauigkeit für das Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die Umgebungsmessdaten 50 zu gewährleisten.

Für eine bessere Näherung bei starken Krümmungen kann ein zweites Messmodell statt dem ersten Messmodell auf den Klothoiden-Spline 20 angewandt werden. Beispielsweise kann das Klothoiden-Segment 21 durch die Parameterdarstellung der Klothoiden-Funktion dargestellt werden.

Dies ist in Abbildung 60-2 veranschaulicht. Bei der Parameterdarstellung beispielsweise des Klothoiden-Segments 21 wird jeder Samplepunkt 63 in einer Vektordarstellung dargestellt. Ein Vektor eines solchen Samplepunkts 63 umfasst beispielsweise zwei Komponenten, welche durch Fresnel-

Integrale ausgedrückt werden können. Um einen numerischen Berechnungsaufwand der Fresnel-Integrale zu reduzieren kann statt den Fresnel-Integralen beispielsweise eine Taylor-Entwicklung fünfter Ordnung der Fresnel-Integrale verwendet werden. Aus dieser Näherung des Klothoiden-Segments 21 kann sich beispielsweise eine Funktion 64 ergeben, wobei die Funktion 64 aufgrund der Taylor-Entwicklung fünfter Ordnung einem Taylor-Polynom 64 entspricht. Wie man in Fig. 6 erkennen kann, beschreibt dieses Polynom 64 relativ genau den Verlauf des Klothoiden-Segments 21. Die mithilfe des zweiten Messmodells bestimmten Samplepunkte 63 beschreiben auch bei starken Krümmungen das Klothoiden-Segment 21 und/oder den Klothoiden-Spline 20 in guter Näherung. Die durch das zweite Messmodell erzeugten Samplepunkte 63 können den Klothoiden-Spline 20 insbesondere bei großen Krümmungen näherungsweise besser darstellen als die durch das erste Messmodell erzeugten Samplepunkte 61. Daher kann der Fahrbahnverlauf mithilfe des zweiten Messmodells üblicherweise mit höherer Genauigkeit bestimmt werden als mit dem ersten Messmodell. Allgemein können beide Messmodelle für das Schätzen des Fahrbahnverlaufs angewendet werden.

Für ein Bestimmen der Samplepunkte 61 und 63 der jeweiligen Messmodelle und der Samplepunkte 52 der Umgebungsmessdaten 50 können unterschiedliche Sampling-Verfahren verwendet werden. In Fig. 7 sind zwei Möglichkeiten für das Sampling-Verfahren veranschaulicht. Bei einem ersten, gewöhnlichen Sampling-Verfahren (links in Fig. 7) können die Samplepunkte 61, 63 und 52 so gewählt werden, dass ein Abstand der Samplepunkte in x-Richtung konstant ist. Es hat sich gezeigt, dass dieses Sampling-Verfahren für einen stark gekrümmten Fahrbahnverlauf beim Anpassen 33 des KlothoidenSplines 20, beziehungsweise der Polynome 62 und 64, mit dem Kalman-Filter nicht optimal ist. Bei diesem Sampling-Verfahren können aufgrund systematischer Fehler basierend auf geometrischen Gegebenheiten bei starken Krümmungen des Fahrbahnverlaufs die Abstände zwischen den Samplepunkten 61 oder 63 und den Samplepunkten 52 relativ groß sein, obwohl das Polynom 62 oder 64 näherungsweise den Umgebungsmessdaten 50 entspricht. Daraufhin würde der Kalman-Filter den Klothoiden-Spline 20 bei der Innovation "zu stark" verschieben. Beispielsweise würde der Klothoiden-Spline 20 bei einem in dem linken Diagramm der Fig. 7 dargestellten Beispiel zu sehr nach unten verschoben werden, da der Abstand d der Samplepunkte 61 oder 63 zu den Samplepunkten 52 relativ groß ist.

Ein solcher systematischer Fehler kann reduziert werden, indem man ein zweites Sampling-Verfahren (rechts in Fig. 7) im Sinne von weiteren Ausführungsbeispielen wählt. Bei dem im rechten Diagramm der Fig. 7 veranschaulichten Sampling-Verfahren werden die Samplepunkte 61, 63 und 52 so gewählt, dass eine konstante Bogenlänge Δs zwischen benachbarten Samplepunkten 61, 63 und 52

der jeweiligen Polynome 62, 64 oder der Umgebungsmessdaten 50 liegt. Auf diese Weise liegen auch bei starken Krümmungen des Fahrbahnverlaufs die Samplepunkte 61, 63 und 52 so, dass der Abstand d zwischen den Samplepunkten 61 oder 63 und den Samplepunkten 52 dadurch beispielsweise geringer ist als im linken Diagramm der Fig. 7. Entsprechend wird der Klothoiden-Spline 20 durch den Kalman-Filter beispielsweise weniger stark nach unten verschoben. Das Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 mit dem Kalman-Filter unter Verwendung des zweiten Sampling-Verfahrens kann gegenüber des Anpassens 33 unter Verwendung des ersten Sampling-Verfahrens eine höhere Genauigkeit erzielen. Das zweite Sampling-Verfahren wirkt sich zudem stabilisierend auf eine Funktion des Kalman-Filters und damit auch stabilisierend auf ein seitliches Führungsverhalten beim Steuern des Fahrzeugs aus, da der Klothoiden-Spline 20 unter Verwendung des zweiten Sampling-Verfahrens beim Anpassen 33 geringfügig korrigiert wird. Damit kann es sein, dass die Zustandsfunktion in den einzelnen Rekursionsschritten weniger "stark" angepasst wird, und damit als "stabiler" bezeichnet werden.

In manchen Ausführungsbeispielen kann die Kamera 41 den Verlauf von Fahrbahnmarkierungen 12 oder 13 erfassen und die Bildverarbeitungsanwendung kann dazu ausgelegt sein solche Fahrbahnmarkierungen 12 oder 13 zu detektieren und durch ein Polynom oder einen Polynom-Spline näherungsweise zu beschreiben. Die Fahrbahnmarkierungen 13 kennzeichnen dabei Fahrbahnbegrenzungen der Fahrbahn. Die Fahrbahnmarkierung 12 kennzeichnet die Mittellinie der Fahrbahn, welche in manchen Fällen nicht sichtbar ist. Eine schematische Abbildung einer durch Fahrbahnmarkierungen 12 und 13 gekennzeichneten Fahrbahn ist in Fig. 8 abgebildet. Anhand des Verlaufs der Fahrbahnmarkierungen 12 und/oder 13 kann beispielsweise eine Fahrbahn- oder Fahrspurbreite mithilfe der geeigneten Bildverarbeitungsanwendung aus Aufnahmen der Kamera 41 ermittelt werden. In manchen Fällen kann die Schätzung des Fahrbahnverlaufs dem Verlauf der Fahrbahnmarkierungen 13 entsprechen. Dies kann vorteilhaft für die Steuerung des Fahrzeugs sein. Aus den Verläufen zweier Fahrbahnmarkierungen 13, welche die Fahrspur nach rechts und links begrenzen ist es beispielsweise möglich die Fahrspurbreite zu ermitteln oder davon den Verlauf der Mittellinie 12 abzuleiten.

Bei der Steuerung des Fahrzeugs kann es unter Umständen notwendig sein den Verlauf der Fahrspurmitte zu ermitteln. Bei fehlender Mittellinie 12 kann durch Datenfusion 44 der Umgebungsmessdaten 50 der Kamera kein Verlauf der Fahrspurmitte direkt ermittelt werden. In einem solchen Fall kann mittels Datenfusion 44 der Verlauf der Fahrbahnmarkierungen oder Fahrbahnbegrenzungen 13 ermittelt, und ausgehend davon unter Berücksichtigung der Fahrspurbreite der Verlauf der Fahrspurmitte oder der Mittellinie 12 abgeleitet werden. Die

Fahrspurbreite der zu bestimmenden Fahrbahn kann entweder einem dem Fahrzeug vorliegenden Datensatz entnommen werden oder anhand des Verlaufs der Fahrbahnmarkierungen 13 bestimmt werden. Für ein Bestimmen des Verlaufs der Mittellinie 12 kann der Klothoiden-Spline 20, der beispielsweise den Verlauf der Fahrbahnmitte beschreibt, so transformiert werden, dass ein transformierter Klothoiden-Spline den Verlauf einer der Fahrbahnmarkierungen 13, beschreibt, um ein Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die Umgebungsmessdaten der Kamera zu ermöglichen. Nach Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 kann durch Rücktransformieren der Klothoiden-Spline bestimmt werden, der wiederum den Verlauf der Fahrbahnmitte kennzeichnet. Aus geometrischen Gründen kann es für das Transformieren und Rücktransformieren nicht ausreichend sein den Klothoiden-Spline 20 translatorisch, also in x- und y-Richtung, zu verschieben.

Hierfür kann es beispielsweise notwendig sein mittels eines mathematischen Verfahrens außerdem die Parameter c_0 , $c_{1,m}$ so anzupassen, dass der transformierte Klothoiden-Spline dem Verlauf der Mittellinie 12 entspricht und damit parallel zu den Fahrbahnbegrenzungen 13 verläuft.

Alternativ können für das Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 die Umgebungsmessdaten der Kamera unter Berücksichtigung einer Fahrspurbreite so transformiert werden, so dass diese den Verlauf der Fahrbahnmitte näherungsweise kennzeichnen. Der Kalman-Filter kann daraufhin ein Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die transformierten Messdaten vornehmen. Für die in Fig. 4 schematisch illustrierte Multi-Sensor-Datenfusion werden üblicherweise Umgebungsmessdaten einer weiteren von der Kamera verschiedenen Datenquelle herangezogen. In dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel werden hierfür die Kartendaten der HD Karte 43 verwendet. Ein Beispiel für solche Kartendaten ist in Fig. 9 gezeigt. Die Sensorik des Kartenherstellers 42 liefert Wegpunkte 91, welche auf der Fahrbahn des Fahrzeugs 11 liegen. Die Wegpunkte können durch Interpolation unter Berücksichtigung von weiteren Anschlussbedingungen verbunden werden. Bei der Interpolation können die Wegpunkte beispielsweise durch Polynome 92 verbunden werden. So kann ein Polynom-Spline 90 aus mehreren Polynomfunktionen 92 erzeugt werden. Der Polynom-Spline 90 beispielsweise kann den Kartendaten entsprechen.

In manchen Ausführungsbeispielen der hierin beschriebenen Erfindung kann der Polynom-Spline 90 als Funktion in Ortskoordinaten dargestellt sein. Der Klothoiden-Spline 20, welcher bei der Datenfusion 44 durch den Kalman-Filter an den Polynom-Spline 90 angepasst werden kann, liegt auch hier üblicherweise als Parametersatz der Parameter y_0 , θ_0 , c_0 , und $c_{1,1} \dots c_{1,n}$ vor, die den Klothoiden-Spline 20 mithilfe der sich aus (1) ergebenden Krümmungswerte $c(s)$ abbilden können.

Gegenüber den Umgebungsmessdaten 50 der Kamera 41 können die Kartendaten schon ermittelt werden lange bevor die Kamera 41 die Fahrbahn erfassen kann. So kann beispielsweise der Fahrbahnverlauf der Fahrbahn 14 nach stark gekrümmten und/oder nicht einsehbaren Kurven geschätzt werden. So können die Kartendaten beispielsweise verwendet werden, um den Fahrbahnverlauf weit vor dem Fahrzeug 11 näherungsweise gut zu bestimmen.

Anhand der Kartendaten kann eine Orientierung des Fahrzeugs manchmal nicht oder nicht genau ermittelt werden. Die Orientierung des Fahrzeugs 11 gegenüber der Fahrbahn 14 kann von Positionsdaten des Fahrzeugs 11 und dem Polynom-Spline 90 typischerweise nicht bestimmt werden, da sich daraus kein Hinweis auf die Orientierung des Fahrzeugs 11 ergeben kann. Üblicherweise werden daher im Kalman-Filter nicht Ortskoordinaten der Kartendaten herangezogen, um den Klothoiden-Spline 20 an die Kartendaten anzupassen. Hierbei kann ein weiteres Messmodell angewandt werden, bei dem die Kartendaten in einem Messraum dargestellt werden, welcher ein Koordinatensystem mit Krümmungswerten umfasst.

Für die oben genannte Datenfusion 44 in dem Messraum mit dem Koordinatensystem mit Krümmungswerten ist es beispielsweise vorteilhaft den Klothoiden-Spline 20 gemäß (1) darzustellen. Somit kann der Zustandsraum des Klothoiden-Splines 20 bereits dem Messraum entsprechen.

Der von der HD Karte 43 bereitgestellte Polynom-Spline 90 liegt üblicherweise als Abbildung in einem Koordinatensystem mit Ortskoordinaten vor. In vorteilhaften Ausführungsformen der hier offenbarten Erfindung kann daher ein Transformieren 32 der Kartendaten in den Messraum mit dem Koordinatensystem mit Krümmungswerten notwendig sein. Eine geeignete Abbildung der Kartendaten kann beispielsweise eine Funktion der Bogenlänge s der Kartendaten sein, wobei sich abhängig von der Bogenlänge s ein Krümmungswert k der Kartendaten ergibt.

Für das Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an den Polynom-Spline 90 werden beispielsweise bei der Innovation des Kalman-Filters die Krümmungswerte des Klothoiden-Splines 20 an die Krümmungswerte k des Polynom-Splines 90 angenähert. Beispielsweise werden hierfür die Krümmungswerte k an den Wegpunkten der Kartendaten berücksichtigt. Das Anpassen 33 kann durch Anpassen der Parameter y_0 , θ_0 , c_0 , und $c_{1,1} \dots c_{1,n}$ erfolgen.

Ein Vorteil der beschriebenen Datenfusion 44 anhand der Krümmungswerte k ist, dass diese Datenfusion 44 robust gegenüber Winkel- und Offsetfehler ist. Unter der Annahme, dass eine

Lokalisierung eine Fahrspur ermittelt, auf der sich das Fahrzeug 11 tatsächlich befindet, kann beispielsweise anhand der Krümmungswerte k der Fahrbahnverlauf genau geschätzt werden, auch wenn das Fahrzeug 11 sich nicht genau in der Fahrspurmitte befindet oder nicht parallel zur Mittellinie 12 ausgerichtet ist.

In vorteilhaften Ausführungen der hier offenbarten Erfindung kann das computerimplementierte Verfahren die Multi-Sensor-Datenfusion 40 umfassen. Aus der Multi-Sensor-Datenfusion 40 von Umgebungsmessdaten 50 und Kartendaten können sich dabei Vorteile ergeben.

Bei der Datenfusion 44 der Umgebungsmessdaten können beispielsweise die Position und Orientierung des Fahrzeugs 11 gegenüber der Fahrbahn 14 ermittelt werden. Bei der Steuerung des Fahrzeugs 11 kann somit beispielsweise ein Abkommen des Fahrzeugs 11 von der Fahrbahn 14 verhindert werden.

Mithilfe der Datenfusion 44 der Kartendaten kann der Fahrbahnverlauf weit im Voraus bestimmt werden, so dass sich die Steuerung des Fahrzeugs 11 beispielsweise früh genug eine Geschwindigkeit des Fahrzeugs reduzieren kann, um eine nicht einsehbare stark gekrümmte Kurve sicher zu durchfahren.

Des Weiteren bietet die Datenfusion 44 eine Robustheit gegenüber Winkel- und Offsetfehler bei der Schätzung des Fahrbahnverlaufs, wodurch Messfehler der Schätzung reduziert werden können. Das computerimplementierte Verfahren 30 kann für die Steuerung jedweder bodengebundener Fahrzeuge 11 verwendet werden. Ein Beispiel für ein solches Fahrzeug 11 ist in Fig. 10 gezeigt. Das Fahrzeug 11 kann dabei mit einer Vorrichtung 100 ausgestattet sein, welche zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs dient. Die Vorrichtung 100 umfasst dabei eine Verarbeitungseinheit (hier nicht gezeigt) und mehrere Schnittstellen zur Erfassung von Umgebungsmessdaten. Solche eine Schnittstelle kann beispielsweise eine Verbindung der Verarbeitungseinheit zu einer oder mehreren Kameras 41 sein. Die Kameras 41 können zum Beispiel in Fahrtrichtung, gegen eine Fahrtrichtung oder zur Seite hin ausgerichtet sein und ein Bereitstellen 31 der Umgebungsmessdaten 50 ermöglichen. Weitere Schnittstellen können die Verarbeitungseinheit mit einem Speichermedium 103, wie zum Beispiel einem Festplattenlaufwerk oder einem optischen Speicher, und zusätzlich oder alternativ mit einer Empfangseinheit 102 verbinden. Das Bereitstellen 31 von Kartendaten 90 kann ermöglicht werden, indem die Kartendaten 90 auf dem Speichermedium 103 vorliegen oder von der Empfangseinheit 102 empfangen und der Verarbeitungseinheit bereitgestellt werden können. Beispielsweise können die Kartendaten von einem Sender 110 an die Empfangseinheit übertragen

werden. Mit den Umgebungsmessdaten 50 und den Kartendaten kann die Vorrichtung 100 durch Ausführen des computerimplementierten Verfahrens 10 eine Schätzung des Fahrbahnverlaufs bestimmen.

Die Verarbeitungseinheit ist hierfür dazu ausgelegt, um das Transformieren 32 des Klothoiden-Splines 20 und der Umgebungsmessdaten 50 und/oder der Kartendaten auszuführen. Des Weiteren ist die Verarbeitungseinheit für das Anpassen 33 des Klothoiden-Splines 20 an die Umgebungsmessdaten konfiguriert. Die Verarbeitungseinheit kann zum Beispiel ein Prozessor, ein Mikrocontroller, ein Field-Programmable Gate Array (FPGA), ein Computer oder eine programmierbare Hardwarekomponente sein.

Die Aspekte und Merkmale, die zusammen mit einem oder mehreren der vorher detaillierten Beispiele und Figuren beschrieben sind, können auch mit einem oder mehreren der anderen Beispiele kombiniert werden, um ein gleiches Merkmal des anderen Beispiels zu ersetzen oder um das Merkmal in das andere Beispiel zusätzlich einzuführen.

Beispiele können weiterhin ein Computerprogramm mit einem Programmcode zum Ausführen eines oder mehrerer der obigen Verfahren sein oder sich darauf beziehen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder Prozessor ausgeführt wird. Schritte, Operationen oder Prozesse von verschiedenen, oben beschriebenen Verfahren können durch programmierte Computer oder Prozessoren ausgeführt werden. Beispiele können auch Programmspeichervorrichtungen, z. B. Digitaldatenspeichermedien, abdecken, die maschinen-, prozessor- oder computerlesbar sind und maschinenausführbare, prozessorausführbare oder computerausführbare Programme von Anweisungen codieren. Die Anweisungen führen einige oder alle der Schritte der oben beschriebenen Verfahren aus oder verursachen deren Ausführung. Die Programmspeichervorrichtungen können z. B. Digitalspeicher, magnetische Speichermedien wie beispielsweise Magnetplatten und Magnetbänder, Festplattenlaufwerke oder optisch lesbare Digitaldatenspeichermedien umfassen oder sein. Weitere Beispiele können auch Computer, Prozessoren oder Steuereinheiten, die zum Ausführen der Schritte der oben beschriebenen Verfahren programmiert sind, oder (feld-)programmierbare Logik-Arrays ((F)PLAs = (Field) Programmable Logic Arrays) oder (feld-)programmierbare Gate-Arrays ((F)PGA = (Field) Programmable Gate Arrays), die zum Ausführen der Schritte der oben beschriebenen Verfahren programmiert sind, abdecken.

Durch die Beschreibung und Zeichnungen werden nur die Grundsätze der Offenbarung dargestellt. Weiterhin sollen alle hier aufgeführten Beispiele grundsätzlich ausdrücklich nur illustrativen Zwecken dienen, um den Leser beim Verständnis der Grundsätze der Offenbarung und der durch den (die) Erfinder beigetragenen Konzepte zur Weiterentwicklung der Technik zu unterstützen. Alle hiesigen Aussagen über Grundsätze, Aspekte und Beispiele der Offenbarung sowie konkrete Beispiele derselben umfassen deren Entsprechungen.

Ein als „Mittel zum...“ Ausführen einer bestimmten Funktion bezeichneter Funktionsblock kann sich auf eine Schaltung beziehen, die ausgebildet ist zum Ausführen einer bestimmten Funktion. Somit kann ein „Mittel für etwas“ als ein „Mittel ausgebildet für oder geeignet für etwas“ implementiert sein, z. B. ein Bauelement oder eine Schaltung ausgebildet für oder geeignet für die jeweilige Aufgabe. Funktionen verschiedener in den Figuren gezeigter Elemente einschließlich jeder als „Mittel“, „Mittel zum Bereitstellen eines Signals“, „Mittel zum Erzeugen eines Signals“, etc. bezeichneter Funktions- blöcke kann in Form dedizierter Hardware, z. B. „eines Signalanbieters“, „einer Signalverarbeitungseinheit“, „eines Prozessors“, „einer Steuerung“ etc. sowie als Hardware fähig zum Ausführen von Software in Verbindung mit zugehöriger Software implementiert sein. Bei Bereitstellung durch einen Prozessor können die Funktionen durch einen einzelnen dedizierten Prozessor, durch einen einzelnen gemeinschaftlich verwendeten Prozessor oder durch eine Mehrzahl von individuellen Prozessoren bereitgestellt sein, von denen einige oder von denen alle gemeinschaftlich verwendet werden können.

Allerdings ist der Begriff „Prozessor“ oder „Steuerung“ bei Weitem nicht auf ausschließlich zur Ausführung von Software fähige Hardware begrenzt, sondern kann Digitalsignalprozessor-Hardware (DSP-Hardware; DSP = Digital Signal Processor), Netzprozessor, anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC = Application Specific Integrated Circuit), feldprogrammierbare Logikanordnung (FPGA = Field Programmable Gate Array), Nurlesespeicher (ROM = Read Only Memory) zum Speichern von Software, Direktzugriffsspeicher (RAM = Random Access Memory) und nichtflüchtige Speichervorrichtung (storage) umfassen. Sonstige Hardware, herkömmliche und/oder kundenspezifische, kann auch eingeschlossen sein.

Ein Blockdiagramm kann zum Beispiel ein grobes Schaltdiagramm darstellen, das die Grundsätze der Offenbarung implementiert. Auf ähnliche Weise können ein Flussdiagramm, ein Ablaufdiagramm, ein Zustandsübergangsdiagramm, ein Pseudocode und dergleichen verschiedene Prozesse, Operationen oder Schritte repräsentieren, die zum Beispiel im Wesentlichen in computerlesbarem Medium dargestellt und so durch einen Computer oder Prozessor ausgeführt werden, ungeachtet dessen, ob

ein solcher Computer oder Prozessor explizit gezeigt ist. In der Beschreibung oder in den Patentansprüchen offenbarte Verfahren können durch ein Bauelement implementiert werden, das ein Mittel zum Ausführen eines jeden der jeweiligen Schritte dieser Verfahren aufweist.

Es versteht sich, dass die Offenbarung mehrerer, in der Beschreibung oder den Ansprüchen offener Schritte, Prozesse, Operationen oder Funktionen nicht als in der bestimmten Reihenfolge befindlich ausgelegt werden soll, sofern dies nicht explizit oder implizit anderweitig, z. B. aus technischen Gründen, angegeben ist. Daher werden diese durch die Offenbarung von mehreren Schritten oder Funktionen nicht auf eine bestimmte Reihenfolge begrenzt, es sei denn, dass diese Schritte oder Funktionen aus technischen Gründen nicht austauschbar sind. Ferner kann bei einigen Beispielen ein einzelner Schritt, Funktion, Prozess oder Operation mehrere Teilschritte, -funktionen, -prozesse oder -operationen einschließen und/oder in dieselben aufgebrochen werden. Solche Teilschritte können eingeschlossen sein und Teil der Offenbarung dieses Einzelschritts sein, sofern sie nicht explizit ausgeschlossen sind.

Weiterhin sind die folgenden Ansprüche hiermit in die detaillierte Beschreibung aufgenommen, wo jeder Anspruch als getrenntes Beispiel für sich stehen kann. Während jeder Anspruch als getrenntes Beispiel für sich stehen kann, ist zu beachten, dass – obwohl ein abhängiger Anspruch sich in den Ansprüchen auf eine bestimmte Kombination mit einem oder mehreren anderen Ansprüchen beziehen kann – andere Beispiele auch eine Kombination des abhängigen Anspruchs mit dem Gegenstand jedes anderen abhängigen oder unabhängigen Anspruchs umfassen können. Solche Kombinationen werden hier explizit vorgeschlagen, sofern nicht angegeben ist, dass eine bestimmte Kombination nicht beabsichtigt ist. Ferner sollen auch Merkmale eines Anspruchs für jeden anderen unabhängigen Anspruch eingeschlossen sein, selbst wenn dieser Anspruch nicht direkt abhängig von dem unabhängigen Anspruch gemacht ist.

Bezugszeichenliste

- 11 Fahrzeug
- 12 Mittellinie
- 13 Fahrbahnbegrenzung
- 14 Fahrbahn
- 20 Klothoiden-Spline
- 21 Klothoiden-Segment
- 22 Übergangsstelle
- 30 Computerimplementiertes Verfahren
- 31 Bereitstellen der Umgebungsmessdaten
- 32 Transformieren der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten
- 33 Anpassen der Zustandsfunktion
- 33a Überprüfen der Umgebungsmessdaten auf einen Fehler
- 33b Speichern des Fehlers
- 33c Nutzen des Fehlers
- 40 Multi-Sensor-Datenfusion
- 41 Kamera
- 42 Sensorik des Kartenherstellers
- 43 HD Karte
- 44 Datenfusion
- 45 Fahrbahnmodell
- 50 Umgebungsmessdaten der Kamera
- 51 Samplepunkte des Klothoiden-Splines
- 52 Samplepunkte der Umgebungsmessdaten der Kamera
- 60-1 Abbildung des ersten Sampling-Verfahrens
- 60-2 Abbildung des zweiten Sampling-Verfahrens
- 61 Samplepunkt des Polynoms
- 62 Polynom
- 63 Samplepunkt des Taylor-Polynoms
- 64 Taylorpolynom
- 90 Polynom-Spline
- 91 Wegpunkt
- 92 Polynomfunktion
- 100 Vorrichtung
- 102 Empfangseinheit

103 Speichermedium

110 Sender

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren (30) zur Schätzung eines Fahrbahnverlaufs in einer Umgebung eines Fahrzeugs (11) basierend auf einer den Fahrbahnverlauf beschreibenden Zustandsfunktion, wobei die Zustandsfunktion einen Klothoiden-Spline (20) umfasst, das Verfahren (30) umfassend:
Bereitstellen (31) von den Fahrbahnverlauf an einer aktuellen Position des Fahrzeugs (11) beschreibenden Umgebungsmessdaten, wobei die Umgebungsmessdaten zumindest eine Polynomfunktion umfassen;
Transformieren (32) der Zustandsfunktion und der Umgebungsmessdaten in ein gemeinsames Koordinatensystem; und
Überprüfen (33a) der Umgebungsmessdaten auf einen Fehler;
falls kein Fehler erkannt wurde, Anpassen (33) der Zustandsfunktion basierend auf den Umgebungsmessdaten in dem gemeinsamen Koordinatensystem,
falls ein Fehler erkannt wurde, Speichern (33b) des Fehlers.
2. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß Anspruch 1, wobei das Überprüfen die Ermittlung einer Abweichung zwischen einem in einem Prädiktionsschritt eines Kalman-Filters ermittelten Wertes und den Umgebungsdaten und den anschließenden Vergleich dieser Abweichung mit einem vorgegebenen Schwellenwert umfasst.
3. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der gespeicherte Wert an eine extern des Fahrzeugs (11) angeordnete Empfangseinheit gesendet wird.
4. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, wobei der gespeicherte Wert zur Verbesserung einer Fahrbahnmarkierung und/oder zur Verbesserung von Kartendaten und/oder, zur Verbesserung einer Spurmarkierungserkennungsfunktion und/oder zur Verbesserung einer autonomen Fahrfunktion genutzt wird (33c).
5. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Umgebungsmessdaten (50) von zumindest einer Kamera (41) erfasst werden.
6. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Umgebungsmessdaten von einer Karte (43) bereitgestellt werden.

7. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei erste Umgebungsmessdaten (50) von zumindest einer Kamera (41) erfasst werden und zweite Umgebungsmessdaten von einer Karte (43) bereitgestellt werden.
8. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das gemeinsame Koordinatensystem Ortskoordinaten umfasst.
9. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Anpassen (33) der Zustandsfunktion ein Sampling-Verfahren zum Bestimmen von Samplepunkten (51), (52), (61) und (63) umfasst, wobei bei jeweils mehreren Samplepunkten eine konstante Kurvenlänge zwischen benachbarten Samplepunkten liegt.
10. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das gemeinsame Koordinatensystem Krümmungswerte umfasst.
11. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Anpassen (33) der Zustandsfunktion an die Umgebungsmessdaten ein Anpassen von zumindest einem Krümmungswert der Zustandsfunktion an zumindest einen weiteren Krümmungswert der Umgebungsmessdaten vorsieht.
12. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zustandsfunktion einen Verlauf einer Fahrbahnmarkierung (12), (13) einer Fahrbahn kennzeichnet.
13. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß Anspruch 12, ferner umfassend, ein Ermitteln eines Verlaufs einer Fahrspurmitte (12) durch Transformieren der Zustandsfunktion.
14. Computerimplementiertes Verfahren (30) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das computerimplementierte Verfahren (30) ferner ein Bereitstellen von Validierungsmessdaten und ein Validieren der Schätzung des Fahrbahnverlaufs mit Hilfe der Validierungsdaten umfasst.
15. Eine Vorrichtung (100) zur Schätzung des Fahrbahnverlaufs in der Umgebung des Fahrzeugs (11), umfassend:
eine oder mehrere Schnittstellen, die ausgebildet sind, um Umgebungsmessdaten zu erfassen;

eine Verarbeitungseinheit, welche ausgebildet ist, um das computerimplementierte Verfahren gemäß der Ansprüche 1 bis 14 auszuführen.

16. Ein Fahrzeug (11) umfassend die Vorrichtung (100) gemäß Anspruch 15.

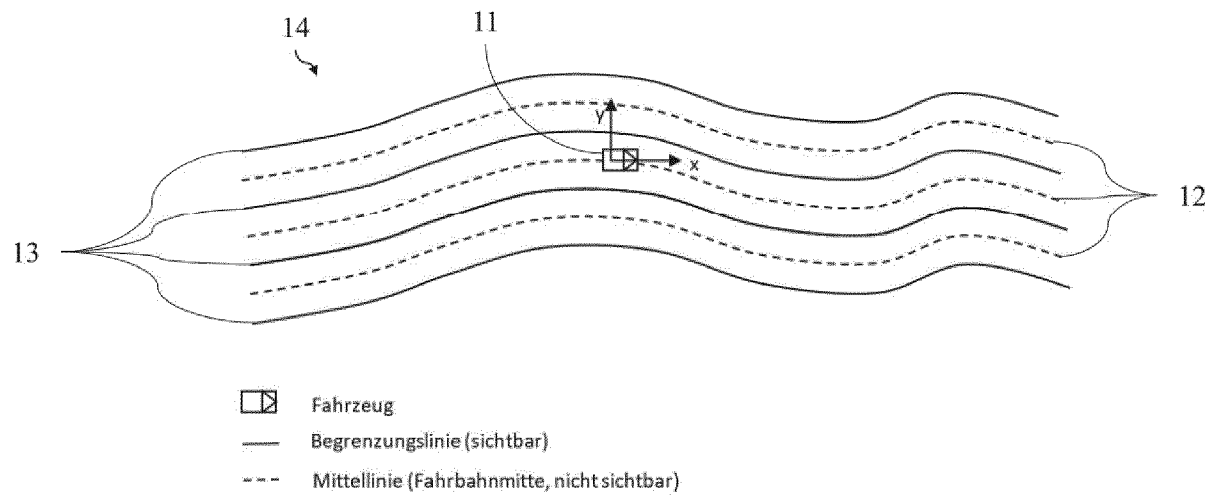


FIG. 1

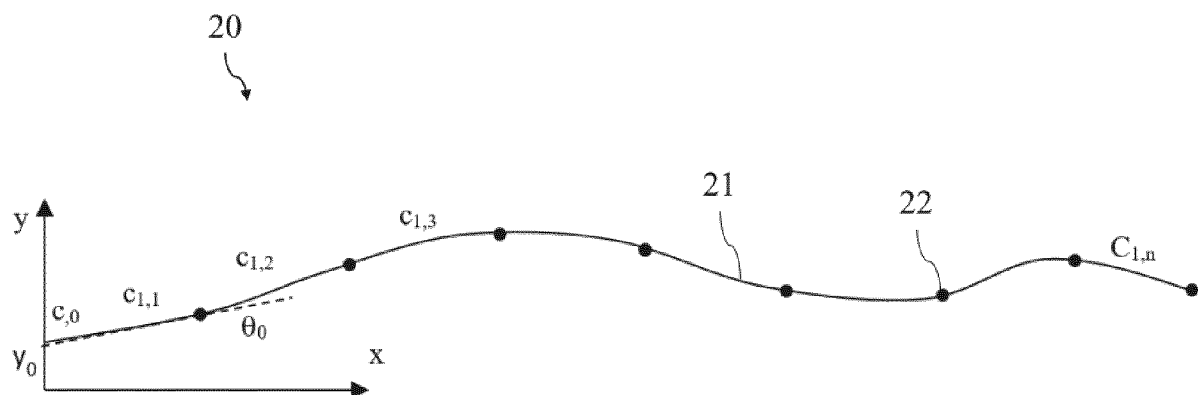


FIG. 2

Fig. 3

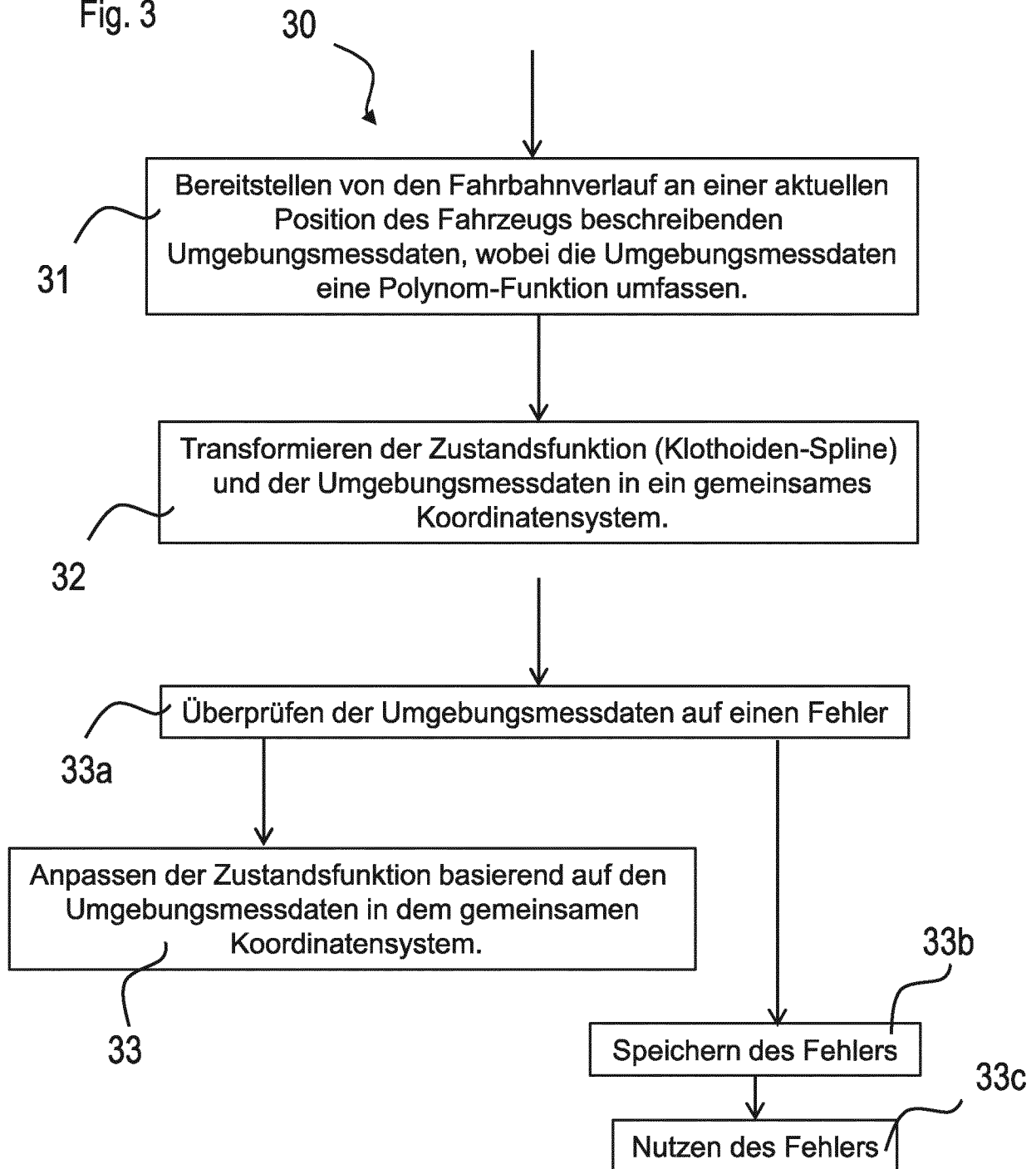
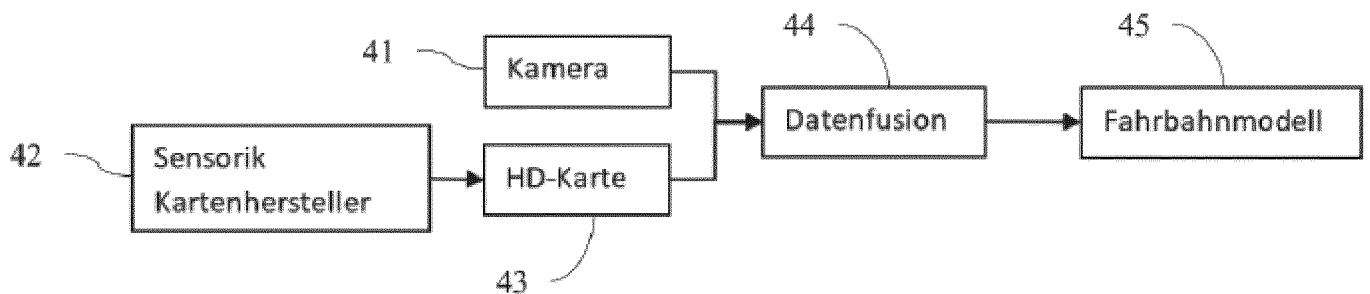


Fig. 4



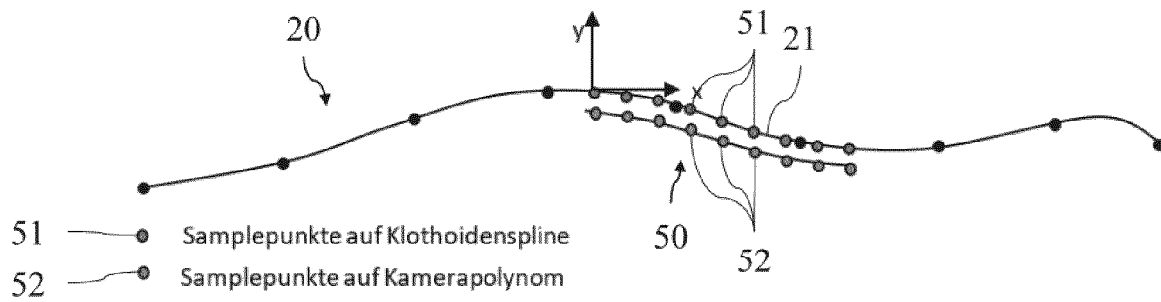


FIG. 5

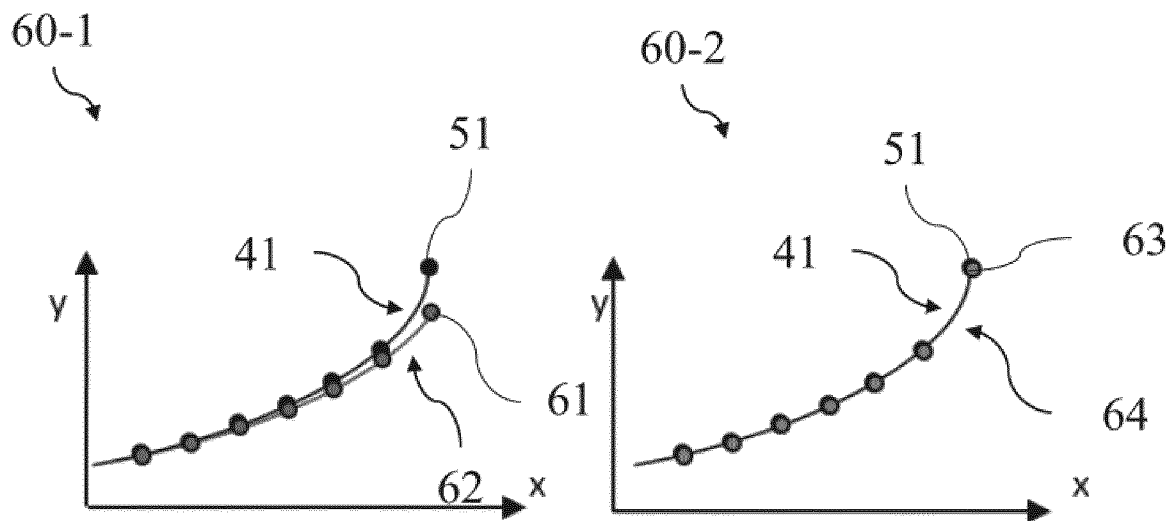


FIG. 6

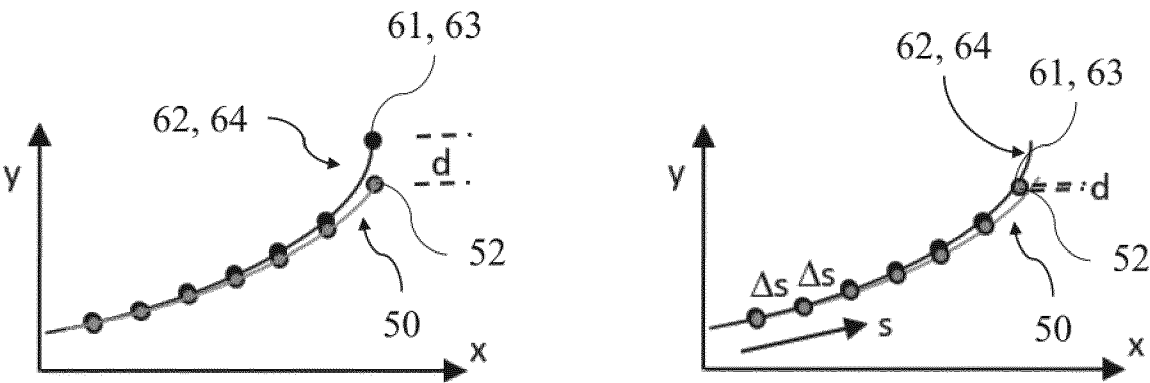


FIG. 7

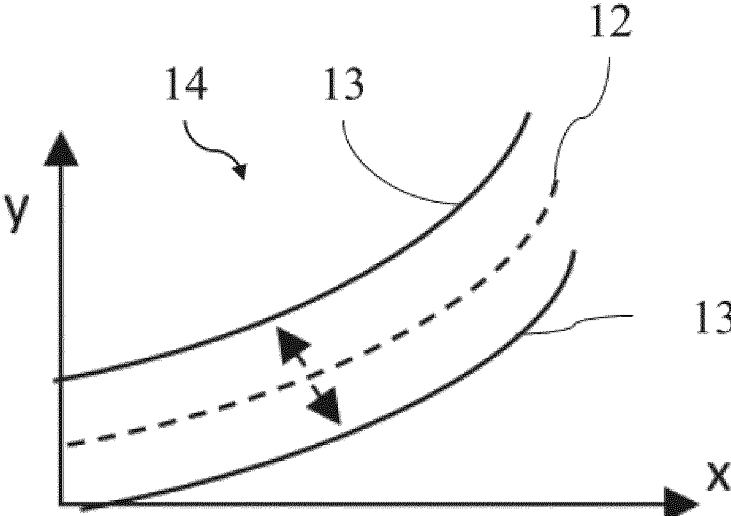


FIG. 8

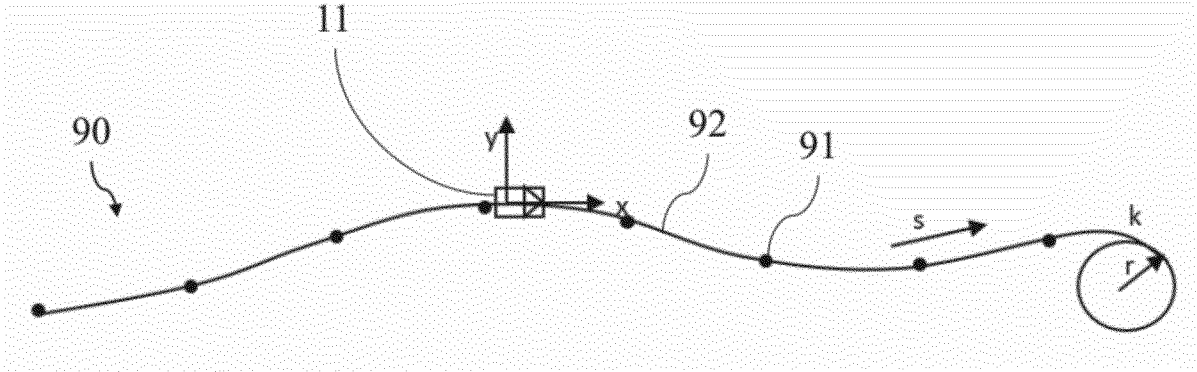


FIG. 9

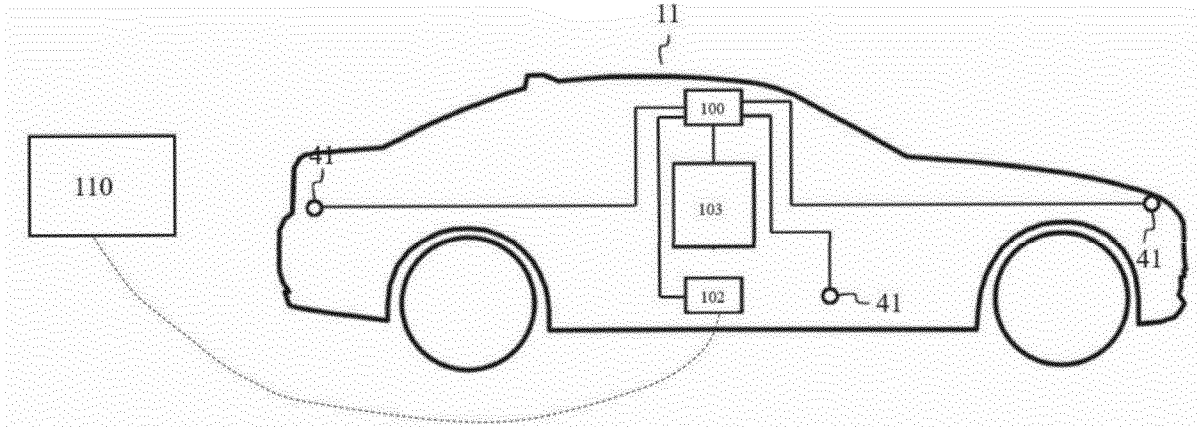


FIG. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/054290

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06K 9/00**(2006.01)i; **B60W 40/072**(2012.01)i; **G06K 9/46**(2006.01)i; **G06K 9/62**(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B60W; G06K

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	MANOLIS TSOOGAS ET AL. "Using digital maps to enhance lane keeping support systems" <i>INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2007 IEEE, IEEE, PI</i> , 01 June 2007 (2007-06-01), pages 148-153 ISBN: 978-1-4244-1067-5. XP031126936 page 148 - page 151	1-16
Y	DE 102015013085 A1 (DAIMLER AG [DE]) 31 March 2016 (2016-03-31) paragraph [0023] - paragraph [0034] paragraph [0043] - paragraph [0045]	1-16
A	GACKSTATTER C ET AL. "Fusion of clothoid segments for a more accurate and updated prediction of the road geometry" <i>INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 2010 13TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA</i> , 19 September 2010 (2010-09-19), pages 1691-1696 ISBN: 978-1-4244-7657-2. XP031792796 sections II, III	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 May 2020

Date of mailing of the international search report

05 June 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Wunderlich, Doreen

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/054290

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102015013085	A1	31 March 2016	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G06K9/00 B60W40/072 G06K9/46 G06K9/62 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B60W G06K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	MANOLIS TSOGAS ET AL: "Using digital maps to enhance lane keeping support systems", INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2007 IEEE, IEEE, PI, 1. Juni 2007 (2007-06-01), Seiten 148-153, XP031126936, ISBN: 978-1-4244-1067-5 Seite 148 - Seite 151 -----	1-16
Y	DE 10 2015 013085 A1 (DAIMLER AG [DE]) 31. März 2016 (2016-03-31) Absatz [0023] - Absatz [0034] Absatz [0043] - Absatz [0045] ----- -/-	1-16
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. Mai 2020		05/06/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Wunderlich, Doreen

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GACKSTATTER C ET AL: "Fusion of clothoid segments for a more accurate and updated prediction of the road geometry", INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 2010 13TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 19. September 2010 (2010-09-19), Seiten 1691-1696, XP031792796, ISBN: 978-1-4244-7657-2 section II, III -----	1-16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/054290

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der
Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

DE 102015013085 A1 31-03-2016 KEINE
