

(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
20. Januar 2022 (20.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/012923 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/48 (2006.01) G01S 13/931 (2020.01)
G01S 17/86 (2020.01) G01S 15/931 (2020.01)
G01S 17/931 (2020.01) G01S 13/89 (2006.01)
G01S 17/89 (2020.01) G01S 15/89 (2006.01)
G06T 7/73 (2017.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/067885

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Juni 2021 (29.06.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 118 629.0
15. Juli 2020 (15.07.2020) DE

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

(72) Erfinder: **MINNERUP, Pascal**; St. Benedikt-Str. 27,
85716 Unterschleißheim (DE). **ZEMAN, Martin**; Na
Suchých 381, 252 42 Vestec (CZ). **GRÜNWEDEL, Sebas-
tian**; Beim Wengenholz 6, 89081 Ulm (DE). **WINTER,
Maxi**; Felix-Fechenbach-Bogen 25, 80797 München (DE).
RÖSSLE, Barbara; Hauptstr. 24, 89177 Börslingen (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, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,

(54) Title: COMPUTER-IMPLEMENTED METHOD FOR DETERMINING THE VALIDITY OF AN ESTIMATED POSITION OF
A VEHICLE

(54) Bezeichnung: COMPUTERIMPLMENTIERTES VERFAHREN ZUM BESTIMMEN DER VALIDITÄT EINER
GESCHÄTZTEN POSITION EINES FAHRZEUGS

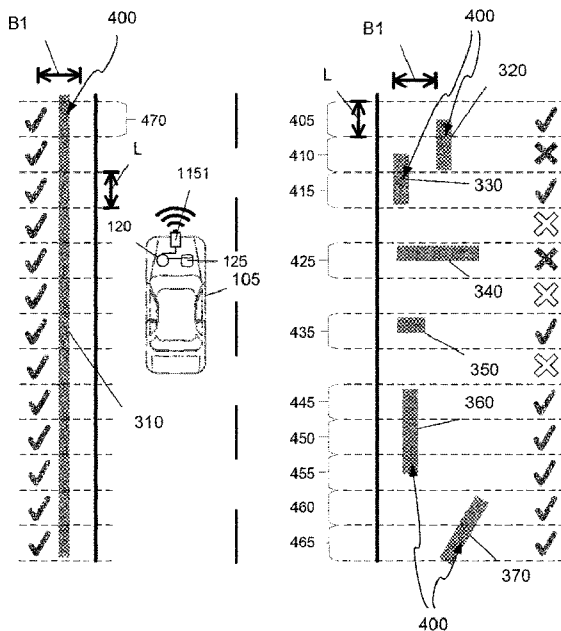


Fig. 1A

(57) Abstract: A method (200) for determining the validity of an estimated position of a vehicle (105) comprises: receiving (210) the estimated position as a position in a digital map or as a position which can be assigned to a position in the digital map; receiving (225) sensor information relating to a vehicle environment; detecting (215, 230) a number of first features (400) in the digital map and a number of second features (500) in the sensor information, wherein the features (400, 500) indicate at least one object (310-370) beside a road; grouping (220, 235) the first features (400) into a number of first feature groups (405-470) and grouping the second features (500) into a number of second feature groups (505-570) in such a manner that all first features (400) which are in a particular region beside the road, which region is defined with respect to the longitudinal extent thereof, belong to a first or second feature group (405-470, 505-570) assigned to the particular region; rejecting (240) first and/or second feature groups (410, 425, 510, 525), the maximum lateral extent of which exceeds a first and/or second predetermined value (B1, B2); assigning (245) at least some of the first feature groups (405, 415, 445-470) which have not been rejected to a particular second feature group (505, 515, 545-570) which has not been rejected; determining (250) the validity of the estimated position on the basis of a comparison of positions of a number of the first feature groups (405, 415, 445-470) which have not been rejected with positions of the respectively assigned second feature groups (505, 515, 545-570).

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren (200) zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs (105) umfasst: Empfangen (210) der geschätzten Position als Position in einer digitalen Karte ist oder als eine Position, die einer Position

MD, 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)

in der digitale Karte zuordenbar ist; Empfangen (225) von Sensorinformationen über ein Fahrzeugumfeld; Erkennen (215, 230) einer Anzahl von ersten Features (400) in der digitalen Karte und einer Anzahl von zweiten Features (500) in den Sensorinformationen, wobei die Features (400, 500) auf wenigstens ein neben einer Fahrbahn befindliches Objekt (310-370) hinweisen; Gruppieren (220, 235) der ersten Features (400) in eine Anzahl von ersten Feature-Gruppen (405-470) sowie der zweiten Features (500) in eine Anzahl von zweiten Feature-Gruppen (505-570) in der Weise, dass alle ersten Features (400), die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten ersten bzw. zweiten Feature-Gruppe (405-470, 505-570) angehören; Aussortieren (240) von ersten und/oder zweiten Feature-Gruppen (410, 425, 510, 525), deren maximale laterale Ausdehnung einen ersten bzw. zweiten vorbestimmten Wert (B1, B2) überschreitet; Zuordnen (245) wenigstens einiger der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470) zu einer jeweiligen nicht aussortierten zweiten Feature-Gruppe (505, 515, 545-570); Bestimmen (250) der Validität der geschätzten Position auf der Basis eines Vergleichs von Positionen einer Anzahl der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470) mit Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-Gruppen (505, 515, 545-570).

5

10

15

**Computerimplementiertes Verfahren zum Bestimmen der Validität einer geschätzten
Position eines Fahrzeugs**

20

Die Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs. Insbesondere betrifft die Erfindung die Absicherung der Bestimmung einer Fahrzeugposition gegen mögliche Fehler. In dieser Hinsicht wird auch auf die deutsche Patentanmeldung 10 2019 133 316.4 Bezug genommen, deren Inhalt hiermit in diese Anmeldung aufgenommen wird.

25

Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Verarbeitungseinrichtung und ein Computerprogramm zur Ausführung eines solchen Verfahrens sowie ein computerlesbares (Speicher)medium, das Befehle zum Ausführen eines solchen Verfahrens umfasst.

30

Ein Fahrzeug kann einen Fahrassistenten aufweisen, der dazu eingerichtet ist, eine Längs- oder Quersteuerung des Fahrzeugs zu beeinflussen. Beispielsweise kann ein Fahrspurassistent dazu eingerichtet sein, das Fahrzeug zwischen Fahrbahnmarkierungen zu halten. Die Markierungen können z.B. mittels einer Kamera abgetastet und automatisch erkannt werden.

35

Viele Fahrassistenten erfordern die Kenntnis einer genauen Position des Fahrzeugs. Die Position kann in Längs- und/oder Querrichtung bestimmt und bezüglich eines vorbestimmten Referenzpunkts ausgedrückt werden. Eine absolute geographische Position kann beispielsweise bezüglich eines vorbestimmten geodätischen Referenzsystems wie dem

WGS84 bestimmt werden. Eine relative Position des Fahrzeugs kann beispielsweise in Querrichtung bezüglich einer erkannten Fahrspurmarkierung angegeben werden.

Die Bestimmung der Position des Fahrzeugs unterliegt üblicherweise einer Reihe von Fehlern und Ungenauigkeiten. Sensoren stellen beispielsweise verrauschte und/oder verfälschte Informationen bereit oder können gelegentlich ganz ausfallen. Unterschiedliche Messbedingungen oder komplexe Verarbeitungsheuristiken führen zu unterschiedlich genauen oder verlässlichen Bestimmungen. Wird das Fahrzeug auf der Basis einer solchermaßen bestimmten Position gesteuert, kann die Sicherheit des Fahrzeugs oder eines Insassen gefährdet sein.

Um eine möglichst sichere Bestimmung der Position des Fahrzeugs zu ermöglichen, kann man z.B. auf Verfahren zurückgreifen, die einen Schritt der Lokalisierung und einen Schritt der Validierung umfassen.

Dabei wird im Rahmen der Lokalisierung eine Fahrzeugposition geschätzt. Beispielsweise kann das Schätzen der Fahrzeugposition mit Bezug auf eine digitale Karte unter Verwendung von Daten eines Satellitennavigationssystems (z.B. GPS oder DGPS) erfolgen.

Im Rahmen der Validierung wird die Validität der Positionsschätzung beurteilt, indem die geschätzte Fahrzeugposition mit sensorisch erfassten Daten über das Fahrzeugumfeld abgeglichen wird. Dabei kann z.B. mittels eines Vergleichs von erfassten Daten eines LiDAR-Sensors mit Daten einer bereitgestellten Karte, die erwarteten Features anzeigt, welche durch den LiDAR-Sensor prinzipiell erfassbar sind, überprüft werden, ob die geschätzte Position plausibel ist. Falls durch den LiDAR-Sensor erfasste Features eine hinreichende Übereinstimmung mit den erwarteten Features aufweisen, wird die geschätzte Fahrzeugposition durch die Validierung bestätigt (d.h. positiv validiert). Hingegen kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position ausdrücklich nicht bestätigt wird, wenn sich aus dem Vergleich von erfassten Features und erwarteten Features eine Abweichung von der geschätzten Position, die einen vorbestimmten Wert (z.B. 2 Meter) überschreitet.

Das Validieren kann z.B. mittels einer elektronischen Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden. Beispielsweise kann dabei dem oben erwähnten LiDAR-Sensor als einer Informationsquelle für die Validierung auf einer logischen bzw. datentechnischen Verarbeitungsebene eine als (LiDAR-)„Validator“ (Englisch: validator) bezeichnete Softwarekomponenten zugeordnet sein.

Um insgesamt eine zuverlässige Positionsbestimmung zu gewährleisten, ist es wünschenswert, statistische Unsicherheiten, mit denen die Validierung an sich behaftet ist, möglichst gering zu halten.

- 5 Um die Unsicherheit eines einzelnen Validators zu ermitteln, kann ein statistischer Test durchgeführt werden. Dabei wird z.B. anhand verfügbarer Sensordaten, die während einer physischen Fahrzeugfahrt zu einem Zeitpunkt erfasst wurden, geprüft, ob der Validator, dem eine Anzahl (absichtlich) falscher Positionsschätzungen zur Verfügung gestellt werden, diese auf der Grundlage der Sensordaten ablehnt. Durch Verwendung von Sensordaten, die zu
10 mehreren unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst worden sind, kann eine aussagekräftige Statistik erstellt werden.

- Es ist insbesondere erstrebenswert, dass die Anzahl von falschen Positivmeldungen (Englisch: „false positives“) eines Validators, d.h. von positiven Bestätigungen einer
15 tatsächlich falschen Position durch den Validator, gering ist. Mit anderen Worten soll es sehr unwahrscheinlich sein, dass der Validator, wenn er aufgefordert wird, die Validität einer falschen Positionsschätzung zu beurteilen, diese Positionsschätzung bestätigt.

- Eine Herausforderung, die sich im Zusammenhang mit der Unsicherheit der Validierung
20 stellt, besteht darin, dass ein Umfeldsensor, wie z.B. ein LiDAR-Sensor, im Allgemeinen nur einen Teil der gemäß einer digitalen Karte „erwarteten“ Features im Fahrzeugumfeld wahrnehmen wird. Zudem kann es vorkommen, dass die (ggf. wenigen) erfassten Features, die demnach für den Abgleich zur Verfügung stehen, zu mehreren unterschiedlichen Features in der Karte passen. Es kann also mitunter eine Ambiguität (d.h. Mehrdeutigkeit) in
25 der Zuordnung von erfassten und erwarteten Features vorliegen, die sich aus Sicht des Validators in eine Ambiguität der Fahrzeugposition übersetzt.

- Hiervon ausgehend besteht eine der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe darin, eine verbesserte Bestimmung der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs
30 vorzuschlagen. Die Erfindung löst die Aufgabe mittels der Gegenstände der unabhängigen Ansprüche. Unteransprüche geben bevorzugte Ausführungsformen wieder.

- Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

35

Es wird darauf hingewiesen, dass zusätzliche Merkmale eines von einem unabhängigen Patentanspruch abhängigen Patentanspruchs ohne die Merkmale des unabhängigen

Patentanspruchs oder nur in Kombination mit einer Teilmenge der Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs eine eigene und von der Kombination sämtlicher Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs unabhängige Erfindung bilden können, die zum Gegenstand eines unabhängigen Anspruchs, einer Teilungsanmeldung oder einer Nachanmeldung gemacht werden kann. Dies gilt in gleicher Weise für in der Beschreibung beschriebene technische Lehren, die eine von den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche unabhängige Erfindung bilden können.

Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs.

Ein Schritt des Verfahrens ist das Empfangen einer digitalen Karte.

Dabei kann die digitale Karte beispielsweise seitens einer digitalen Verarbeitungseinrichtung und/oder seitens eines logischen Softwaremoduls (welches z.B. als „Validator“ bezeichnet werden kann) empfangen werden. Bei der digitalen Karte kann es sich beispielsweise um eine hochgenaue digitale Karte handeln, welche insbesondere eine Fahrbahn samt Fahrspuren sowie Objekte im Fahrzeugumfeld, wie z.B. Hindernisse am Fahrbahnrand, darstellt.

Das Empfangen der digitalen Karte kann z.B. insbesondere das Laden eines relevanten Kartenausschnitts einer derartigen Karte umfassen, wobei der Kartenausschnitt Karteninformationen über das Fahrzeugumfeld enthält.

Die digitale Karte kann beispielsweise von einem Kartenspeicher bereitgestellt werden, welcher in dem Fahrzeug angeordnet sein kann. Alternativ kann die digitale Karte auch von außerhalb des Fahrzeugs, beispielsweise von einem Server, an das Fahrzeug übermittelt werden, wobei die Übermittlung vorzugsweise über eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle erfolgt.

Die digitale Karte kann z.B. wenigstens teilweise auf sensorisch erfassten Daten beruhen, welche bei einer oder mehreren Erkundungsfahrten eines Erkundungsfahrzeugs aufgezeichnet wurden. Eine dabei eingesetzte Umfeldsensorik kann beispielsweise einen Empfänger eines globalen Satellitennavigationssystems (z.B. GPS oder DGPS), eine oder mehrere optische Kameras, einen oder mehrere RADAR-Sensoren und/oder einen oder mehrere LiDAR-Sensoren umfassen.

Dementsprechend kann die digitale Karte mehrere Schichten enthalten, wobei z.B. eine Schicht auf Daten eines globalen Satellitennavigationssystems beruht, eine weitere Schicht auf optischen Kameradaten beruht und eine weitere Schicht auf LiDAR-Daten beruht. Die verschiedenen Schichten können Features enthalten, die
5 mittels der jeweiligen Sensorik erkannt werden können.

Die digitale Karte kann insbesondere zweidimensionale Informationen enthalten. Das bedeutet, dass der digitalen Karte z.B. insbesondere Informationen über einen Verlauf einer Fahrbahn mitsamt Fahrspuren in einer Draufsicht entnommen werden können,
10 wodurch eine Lokalisierung des Fahrzeugs hinsichtlich einer aktuellen Fahrspur ermöglicht wird.

Optional kann die digitale Karte bei einigen Ausführungsformen auch dreidimensionale Informationen enthalten. Dementsprechend können auch Höheninformationen von
15 Objekten bereitgestellt werden. So kann die digitale Karte z.B. zusätzlich zu dem Verlauf einer Leitplanke in einer zweidimensionalen Draufsicht auch Daten über die Höhe der Leitplanke umfassen. Eine solche Karte mit einer 2D-Draufsicht und einigen zusätzlichen Höheninformationen wird oft als 2,5D bezeichnet. Alternativ kann die Karte auch voll 3D sein.

20 Ein weiterer Schritt des Verfahrens ist das Empfangen einer geschätzten Position des Fahrzeugs, wobei die geschätzte Position eine Position in der digitalen Karte ist oder einer Position in der digitalen Karte (vorzugsweise eindeutig) zuordenbar ist.

25 Gemäß einer Ausführungsform kann ein erweitertes Verfahren zusätzlich auch einen Schritt des Schätzens der Position des Fahrzeugs umfassen, wobei dieser Schritt mittels einer elektronischen Verarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden kann.

Unter dem Schätzen einer Position ist im Rahmen der vorliegenden Beschreibung ein
30 vorläufiges Bestimmen der Position zu verstehen. Dies kann, muss aber nicht notwendigerweise, eine statistische Schätzoperation im mathematischen Sinne, umfassen.

Die Positionsschätzung kann dabei noch mit einer Unsicherheit behaftet sein, die ggf. erst durch die anschließende Validierung auf ein (z.B. unter Sicherheitsaspekten) akzeptables
35 Maß verringert werden kann.

Das Schätzen der Fahrzeugposition kann beispielsweise in Bezug auf Karteninformationen erfolgen, d.h. es kann z.B. geschätzt werden, an welcher Kartenposition sich das Fahrzeug befindet.

5 Beispielsweise kann das Schätzen der Fahrzeugposition unter Verwendung von Daten eines Satellitennavigationssystems (z.B. GPS oder DGPS) erfolgen. Zusätzlich oder alternativ können dabei auch Sensordaten herangezogen werden, die z.B. von einer Umfeldsensorik des Fahrzeugs bereitgestellt werden. Die Umfeldsensorik kann z.B. einen oder mehrere RADAR- und/oder LiDAR-Sensoren und/oder eine oder mehrere Kameras umfassen.

10 Gemäß einer Ausführungsform wird die Fahrzeugposition unter Verwendung von Odometriedaten geschätzt. Die Odometriedaten können z.B. eine erfolgte Bewegung bezüglich einer früher eingenommenen Position ausdrücken und beispielsweise auf der Basis von Signalen bestimmt werden, die von Drehratensensoren an Rädern des
15 Fahrzeugs bereitgestellt werden.

Die Positionsschätzung kann insbesondere relativ zu einer oder mehreren Fahrspurbegrenzungen erfolgen und z.B. eine Aussage darüber treffen, auf welcher von mehreren Fahrspuren das Fahrzeug fährt.

20 Um beispielsweise beim autonomen oder hochautomatisierten Fahren eine hinreichende Sicherheit gewährleisten zu können, ist es nämlich erforderlich, dass die Fahrzeugposition relativ zu den umgebenden Fahrspuren zuverlässig bestimmt wird. Es ist also im Rahmen eines Gesamtsicherheitskonzepts erstrebenswert, mit einer sehr hohen statistischen
25 Zuverlässigkeit festzustellen, auf welcher Fahrspur sich das Fahrzeug befindet. Mit anderen Worten ist eine hohe Lokalisierungssicherheit, insbesondere bezüglich der Fahrspur, wünschenswert.

30 Um die Integrität der Fahrzeugpositionsschätzung zu gewährleisten, wird diese validiert. Mit anderen Worten wird die Validität (d.h. die Gültigkeit) der geschätzten Position des Fahrzeugs bestimmt. In diesem Zusammenhang sind die weiteren Verfahrensschritte, die nachfolgend beschrieben werden, zu verstehen.

35 Im Einklang mit den Schritten, die weiter unten genauer beschrieben werden, erfolgt das Validieren der geschätzten Fahrzeugposition verfahrensgemäß unter Verwendung Informationen, die in der digitalen Karte enthalten sind, sowie von Informationen, die von einer Umfeldsensorik des Fahrzeugs zur Verfügung gestellt werden. Die Umfeldsensorik

umfasst bevorzugt mehrere verschiedenartige und/oder statistisch unabhängige Sensoren, wie z.B. einen oder mehrere LiDAR-Sensoren und/oder einen oder mehrere RADAR-Sensoren und/oder einen oder mehrere optische Kameras.

- 5 Das Validieren kann mittels einer Verarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden. Dem oder den jeweiligen für die Validierung verwendeten Umfeldsensoren können dabei auf einer logischen bzw. datentechnischen Verarbeitungsebene z.B. ein oder mehrere als „Validatoren“ (Englisch: validator) bezeichnete Softwarekomponenten zugeordnet sein.
- 10 Eine zuverlässige laterale Lokalisierung, einschließlich einer Bestimmung, auf welcher Fahrspur das Fahrzeug fährt, ist im Allgemeinen besonders wichtig. Dies kann z.B. mittels eines oder mehrerer Validatoren überprüft werden. Ein Validator, der eine laterale Lokalisierung validiert, kann z.B. außerdem auch eine longitudinale Lokalisierung überprüfen (ggf. mit niedrigerer Genauigkeitsanforderung im Vergleich zu der lateralen Lokalisierung).
- 15 Es können z.B. auch ein oder mehrere Validatoren vorgesehen sein, welche prüfen, dass das Fahrzeug überhaupt auf der richtigen Straße ist.

- Allgemein ist bevorzugt, dass mehrere unterschiedliche Validatoren überprüfen, ob jeweils zugeordnete Sensordaten eine geschätzte Position bestätigen oder nicht. Beispielsweise
- 20 kann ein erster Validator basierend auf LiDAR-Daten eine Aussage darüber treffen, ob das Fahrzeug sich entsprechend der geschätzten Position in einer bestimmten Fahrspur befindet. Zusätzlich kann ein zweiter Validator, z.B. auf Basis einer Kameraspurerkennung, eine entsprechende Bewertung der Positionsschätzung abgeben. Falls beide Validatoren die Positionsschätzung bestätigen, ist im Allgemeinen eine höhere Sicherheit gegeben, dass die
- 25 Positionsschätzung richtig ist, im Vergleich zu einer Situation, in der nur die Bestätigung durch einen Validator vorliegt oder im Vergleich zu einer Situation, in welcher einer oder gar beide Validatoren die Positionsschätzung ausdrücklich nicht bestätigen.

- Eine Nicht-Bestätigung der Positionsschätzung durch einen Validator kann z.B. in Fällen
- 30 eintreten, in denen die dem Validator zur Verfügung stehenden Daten nicht ausreichen, um die Position verlässlich zu bestätigen und/oder wenn eine tatsächliche Abweichung hinsichtlich der Position festgestellt wird.

- Das Validierungskonzept beruht demnach bei vorteilhaften Ausführungsformen auf einer
- 35 Reihe vorzugsweise statistisch unabhängiger Validatoren, die eine Positionsschätzung bestätigen können. Wenn genügend Validatoren eine Schätzung bestätigen, gilt die Positionsschätzung als sicher.

Durch ein solches Validierungskonzept kann die bestimmte Position des Fahrzeugs prinzipiell beliebig sicher in einem vorbestimmten Fehlerbereich liegen. Wird die Position des Fahrzeugs etwa auf der Basis dreier Validatoren validiert, und sind Wahrscheinlichkeiten für eine fehlerhafte Validierung durch die einzelnen Validatoren derart bestimmt, dass jeweils in nur einem von 1000 Fällen eine fehlerhafte Validierung durch einen Validator erfolgt, so kann eine mit positivem Ergebnis validierte Position des Fahrzeugs in nur einem von $1000 * 1000 * 1000 = 1\,000\,000\,000$ Fällen dennoch falsch sein. Für diese Bestimmung wurde angenommen, dass die Validatoren voneinander unabhängig sind. Insgesamt kann die Wahrscheinlichkeit für eine unbemerkte Fehlbestimmung der Fahrzeugposition so unwahrscheinlich gemacht werden, dass die Position mit einer Sicherheit bestimmt werden kann, die einer geforderten Gebrauchssicherheit genügt. Beispielsweise kann die Validierung auf diese Weise sicherstellen, dass die geschätzte Position mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht um mehr als 2 Meter von der tatsächlichen Position abweicht.

Entsprechend dem Vorstehenden ist es prinzipiell wünschenswert, dass die einzelnen Validatoren so selten wie möglich scheitern. Scheitern kann in diesem Zusammenhang insbesondere bedeuten, dass ein Validator eine Positionsschätzung bestätigt, die eigentlich falsch ist („false positive“). So könnte es z.B. zu einer sicherheitskritischen Situation führen, wenn beispielsweise ein LiDAR-basierter Validator, ggf. zusammen mit weiteren Validatoren, fälschlicherweise zu dem Ergebnis kommt, dass eine Positionsschätzung korrekt ist.

Die nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritte sollen eine Validierung der geschätzten Fahrzeugposition ermöglichen, bei welcher insbesondere die Gefahr von solchen falschen Positivmeldungen gering ist.

Dabei ist ein weiterer Schritt das Erkennen einer Anzahl von ersten Features in der digitalen Karte, wobei die ersten Features auf wenigstens ein neben einer Fahrbahn befindliches Objekt hinweisen.

Bei dem Objekt bzw. den Objekten kann es sich z.B. um eine Leitplanke, eine Graskante, eine Straßenlaterne, einen Baum oder ein Gebäude handeln. Grundsätzlich kommen alle Arten von Objekten infrage, die zumindest prinzipiell auch mittels der Umfeldsensorik des Fahrzeugs erfasst werden können. Im Rahmen der Validierung der Fahrzeugposition können solche Objekte als Orientierungspunkte (Landmarken) dienen.

Die ersten Features, die auf ein oder mehrere solcher Objekte hinweisen, können beispielsweise in Form von Datenpunkten einer Datenpunktwolke vorliegen, wobei jeder Datenpunkt einer Position in der digitalen Karte entspricht. Dabei ist auch denkbar, dass die digitale Karte das Objekt bzw. die Objekte zunächst in Form von kontinuierlichen Strukturen, wie z.B. Flächen oder Linien, darstellt, wobei diese Strukturen für die weitere Verarbeitung durch Sampling in eine Punktwolke überführt werden.

In einem weiteren Schritt werden die ersten Features in eine Anzahl von ersten Feature-Gruppen gruppiert. Dies geschieht in der Weise, dass alle ersten Features, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten ersten Feature-Gruppe angehören.

Beispielsweise können mehrere zusammenhängende Bereiche definiert werden, die sich jeweils über eine vorbestimmte Länge (z.B. 1 Meter) entlang der Fahrbahn erstrecken. Sämtliche erste Features, die sich in einem solchen Bereich befinden können dann derselben ersten Feature-Gruppe zugeordnet werden. Im Ergebnis entstehen so mehrere erste Feature-Gruppen, die jeweils erste Features enthalten, welche sich in den jeweils zugeordneten Bereichen befinden.

Ein weiterer Schritt ist das Empfangen von Sensorinformationen über ein Umfeld des Fahrzeugs.

Die Sensorinformationen können z.B. mittels eines ersten Sensors erfasst worden sein, der Teil einer Umfeldsensorik des Fahrzeugs ist.

Im Allgemeinen ist die Umfeldsensorik dazu eingerichtet, Informationen bezüglich des Umfelds des Fahrzeugs zu erfassen und bereitzustellen. Die Umfeldsensorik kann insbesondere eine Kamera, eine Tiefenkamera, einen Radarsensor, einen LiDAR-Sensor oder einen ähnlichen Sensor umfassen. Ein derartiger Sensor arbeitet bevorzugt berührungslos, beispielsweise mittels Detektion von elektromagnetischen Wellen oder Ultraschallwellen, und kann bildgebend sein.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Sensorinformationen mittels eines LiDAR-Sensors erzeugt worden.

Ein weiterer Schritt ist das Erkennen einer Anzahl von zweiten Features in den Sensorinformationen, wobei die zweiten Features auf wenigstens ein neben einer Fahrbahn befindliches Objekt hinweisen.

Die zweiten Features, die auf ein oder mehrere solcher Objekte hinweisen, können beispielsweise in Form von Datenpunkten einer Datenpunktwolke vorliegen, wobei jeder einzelne Datenpunkt z.B. einen sensorisch erfassten Messpunkt mitsamt seiner Position in Bezug auf das Fahrzeug anzeigt. Beispielsweise kann eine derartige Datenpunktwolke von einem LiDAR-Scanner bereitgestellt werden.

Ein weiterer Schritt ist das Gruppieren der zweiten Features in eine Anzahl von zweiten Feature-Gruppen in der Weise, dass alle zweiten Features, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten zweiten Feature-Gruppe angehören.

Beispielsweise können, wie vorstehend bereits mit Bezug auf das Gruppieren der ersten Features beschrieben, mehrere zusammenhängende Bereiche definiert werden, die sich jeweils über eine vorbestimmte Länge (z.B. 1 Meter) entlang der Fahrbahn erstrecken. Sämtliche zweite Features, die sich in einem solchen Bereich befinden, können dann derselben zweiten Feature-Gruppe zugeordnet werden. Im Ergebnis entstehen auf diese Weise mehrere zweite Feature-Gruppen, die jeweils zweite Features enthalten, welche sich in den jeweils zugeordneten Bereichen befinden.

Die Aufteilung in Bereiche, die jeweils eine definierte longitudinale Begrenzung haben, kann dabei dieselbe sein, die beim Gruppieren der ersten Features verwendet wird.

Im Folgenden werden die oben erwähnten Bereiche, die sich longitudinal über eine definierte Distanz entlang der Fahrbahn erstrecken, mitunter auch als „Buckets“ bezeichnet. Die Aufteilung der ersten und zweiten Features bei der Gruppierung in Feature-Gruppen anhand der Bereiche kann man sich nämlich bildlich auch so veranschaulichen, dass die Features in unterschiedliche Behälter geworfen werden.

Ein weiterer Schritt ist das Aussortieren von ersten Feature-Gruppen, deren maximale laterale Ausdehnung (d.h. z.B. ein Abstand zwischen einem am weitesten links befindlichen Feature zu einem am weitesten rechts befindlichen Feature) einen ersten vorbestimmten Wert (z.B. 1 Meter) überschreitet und/oder das Aussortieren von zweiten Feature-Gruppen, deren maximale laterale Ausdehnung einen zweiten vorbestimmten Wert, welcher identisch

mit dem ersten Wert sein kann, überschreitet. Insbesondere können alle ersten bzw. zweiten Feature-Gruppen, deren laterale Ausdehnung den ersten bzw. zweiten vorbestimmten Wert überschreitet, aussortiert werden.

- 5 Ein weiterer Schritt ist das Zuordnen wenigstens einiger der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen zu einer jeweiligen nicht aussortierten zweiten Feature-Gruppe.

Dabei können insbesondere solche ersten und zweiten Feature-Gruppen einander zugeordnet werden, welche einander in dem Sinne entsprechen, dass angenommen werden
10 kann, dass sie dasselbe Objekt oder dieselben Teile eines Objekts in der digitalen Karte bzw. im Fahrzeugumfeld beschreiben. Wenn beim Gruppieren der ersten bzw. zweiten Features dieselbe Aufteilung der digitalen Karte bzw. eines entsprechenden Ausschnitts des sensorisch erfassten Fahrzeugumfelds in longitudinal abgegrenzte Bereiche verwendet worden ist, können die einander zugeordneten Feature-Gruppen einander insbesondere in
15 dem Sinne entsprechen, dass sie einander entsprechenden Bereichen zugeordnet sind.

Ein weiterer Schritt ist das Bestimmen der Validität der geschätzten Position des Fahrzeugs auf der Basis eines Vergleichs von Positionen einer Anzahl der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen mit Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-Gruppen. Dabei
20 werden die Positionen der ersten und zweiten Feature-Gruppen bevorzugt in einem gemeinsamen Koordinatensystem verglichen, welches in einer festen Beziehung zu der digitalen Karte steht. Das Bestimmen der Gültigkeit der geschätzten Position erfolgt somit durch einen Abgleich von ersten Features, die aufgrund der Karteninformationen erwartet werden und zweiten Features, die mittels der Umfeldsensorik erfasst werden.

25 In Übereinstimmung mit dem Vorstehenden kann die Validität der geschätzten Position z.B. in der Weise bestimmt wird, dass ausgehend von der (hypothetischen) Annahme, dass die geschätzte Position korrekt wäre, die Positionen der Anzahl der ersten Feature-Gruppen mit den Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-
30 Gruppen in einem gemeinsamen Koordinatensystem verglichen werden.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die geschätzte Position bestätigt (d.h. positiv validiert) wird, wenn die Positionen aller einander zugeordneten Feature-Gruppen sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz (wie z.B. 50 cm oder 1 m) unterscheiden.

35 Gemäß einer Ausführungsvariante können als Kriterien für die Bewertung von Positionsabweichungen in longitudinaler bzw. lateraler Richtung auch unterschiedliche

vorbestimmte Distanzen vorgesehen sein. So kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position bestätigt wird, wenn ein lateraler Abstand zwischen den einander zugeordneten Feature-Gruppen nicht größer als 50 cm ist und wenn ein longitudinaler Abstand zwischen den einander zugeordneten Feature-Gruppen nicht größer als 1
5 Meter ist.

Mit der Angabe, dass es sich um eine oder mehrere vorbestimmte Distanzen handelt, soll nicht etwa ausgedrückt werden, dass diese nicht manuell oder automatisch entsprechend einem Algorithmus veränderbar wäre. Vielmehr soll ausgesagt werden,
10 dass der Positionsabgleich zwischen den einander zugeordneten Feature-Gruppen im Rahmen der Validierung jeweils in Bezug auf eine in diesem konkreten Zusammenhang vorbestimmte Distanz erfolgt. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass der Wert der Distanz im Laufe der Zeit oder für bestimmte räumliche Bereiche oder in Abhängigkeit von anderen Parametern zweckmäßig angepasst werden kann.

15 Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Entscheidung, ob die Anordnung der einander zugeordneten Feature-Gruppen zu einer Positionsschätzung passt, auch anhand einer statistischen Betrachtung getroffen werden. So kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position bestätigt wird, wenn die Positionen wenigstens eines definierten Anteils
20 (wie z.B. mindestens 90%) der einander zugeordneten Feature-Gruppen sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz (ggf. unterschieden nach lateraler und longitudinaler Richtung, wie oben beschrieben) unterscheiden.

Eine optionale Weiterbildung sieht ferner vor, dass die statistische Betrachtung auch eine
25 Abstandsverteilung berücksichtigt. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass als Voraussetzung für eine Bestätigung der geschätzten Position wenigstens 60% der betrachteten Paare von einander zugeordneten ersten und zweiten Feature-Gruppen nicht weiter als 30 cm voneinander entfernt sein dürfen und dass zugleich wenigstens 90% der Paare nicht weiter als 60 cm voneinander entfernt sein dürfen.

30 Es wird ferner darauf hingewiesen, dass im Rahmen der Validierung der (ggf. statistische) Abgleich der Positionen der einander zugeordneten Feature-Gruppen jeweils mit Bezug auf eine bestimmte Gesamtheit von Feature-Gruppen erfolgen kann, welche z.B. einem momentan betrachteten Kartenausschnitt entsprechen kann. So kann z.B. ein
35 Kartenausschnitt betrachtet werden, der sich über eine Länge von 20-40 Meter (longitudinal) entlang der Fahrbahn erstreckt. Dies würde bei einer definierten Länge der einzelnen Bereiche von 1 Meter dazu führen, dass dem Abgleich eine Gesamtheit von maximal 20-40

Feature-Gruppen zu Grunde gelegt wird. Wenn z.B. 90% dieser Feature-Gruppen übereinstimmen (d.h. nicht weiter als um eine vorbestimmte Distanz auseinanderliegen), wird die geschätzte Position validiert, wie bereits weiter oben beispielhaft ausgeführt wurde.

- 5 Es liegt auch im Rahmen der Erfindung, dass in einem optionalen weiteren Schritt zunächst überprüft werden kann, ob nach dem Aussortieren einiger erster und/oder zweiter Feature-Gruppen noch eine ausreichende Anzahl von Feature-Gruppen, die einander zugeordnet werden können, verbleibt. So kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position nicht bestätigt wird, wenn lediglich eine Anzahl von einander zuordenbaren Feature-Gruppen
10 verbleibt, die auf der Karte einer Länge von weniger als 10 Meter (oder eine andere vorbestimmte Distanz) entsprechen. Es kann z.B. als eine notwendige Voraussetzung für eine Bestätigung der Position vorgesehen sein, dass die einander zuordenbaren Features eine Fahrbahnlänge von wenigstens 10 Meter (oder eine andere vorbestimmte Distanz) abdecken müssen.

15

- Die Erfindung geht von dem Gedanken aus, dass die Zuverlässigkeit der Validierung einer geschätzten Fahrzeugposition verbessert und insbesondere die Wahrscheinlichkeit von falschen Bestätigungen verringert werden kann, indem gezielt verhindert wird, dass solche Features aus einer digitalen Karte und/oder aus Umfeldsensordaten für die Bestimmung der
20 Validität der Positionsschätzung verwendet werden, die bei einem Abgleich von digitaler Karte und Umfeldsensordaten zu Ambiguitäten (d.h. Mehrdeutigkeiten) führen könnten.

- Erfindungsgemäß ist deshalb vorgesehen, dass erste und/oder zweite Feature-Gruppen, deren jeweilige maximale laterale Ausdehnung einen vorbestimmten Wert überschreitet
25 aussortiert werden, sodass sie bei der Bestimmung der Validität nicht herangezogen werden und das Ergebnis nicht verfälschen können.

- Dies kann beispielsweise lateral sehr weit ausgedehnte Objekte am Fahrbahnrand betreffen. Ferner können mehrere lateral voneinander beabstandete Objekte betroffen sein, die sich in
30 der Weise überlappen, dass sie einen gemeinsamen longitudinalen Erstreckungsbereich haben. Durch die Eibeziehung solcher Objekte bei der Validierung insbesondere einer geschätzten lateralen Position könnte nämlich eine unerwünschte Mehrdeutigkeit entstehen. Verfahrensgemäß können Features, die solchen Objekten entsprechen, aussortiert werden, sodass die potenzielle Ambiguität bei der Bestimmung der Validität der geschätzten Position
35 nicht zum Tragen kommen kann.

Mit anderen Worten sieht das Verfahren also vor, eine Teilmenge der in den Kartendaten und in den Umfeldsensordaten vorliegenden Objektinformationen zu bestimmen, welche für eine Bestimmung der Validität der geschätzten Position nicht herangezogen werden soll. Das Validieren der geschätzten Position erfolgt sodann nur anhand der übrigen

5 Objektinformationen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Verfahren für Features, die auf Objekte auf unterschiedlichen Fahrbahnseiten hindeuten, separat ausgeführt wird. Mit anderen Worten können sämtliche Verfahrensschritte einerseits für Features, die auf
10 Objekte am linken Fahrbahnrand hinweisen, ausgeführt werden und unabhängig davon für Features, die auf Objekte am rechten Fahrbahnrand hinweisen. Dementsprechend können auf der Softwareebene separate Validatoren implementiert sein, wobei ein Validator nur Objektinformationen vom linken Fahrbahnrand und ein separater Validator nur Objektinformationen vom rechten Fahrbahnrand zu Grunde legt.

15

Auf diese Weise kann verhindert werden, dass Ambiguitäten, die durch eine bestimmte Art oder Anordnung von Objekten auf einer Fahrbahnseite eingeführt werden, die Verwertung von Objektinformationen bezüglich der anderen Fahrbahnseite unnötigerweise beeinträchtigen. Es kann z.B. vorkommen, dass über eine gewisse
20 Fahrbahnlänge Objekte am rechten Fahrbahnrand für eine Positionsvalidierung ungeeignet sind. In einem solchen Fall kann es jedoch sinnvoll sein, die Objektinformationen, die sich auf den linken Fahrbahnrand für die Validierung dennoch heranzuziehen.

25 Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass das Ergebnis der Bestimmung der Validität der Positionsschätzung insgesamt positiv ausfällt, wenn ein erster Validator, der Objektinformationen vom rechten Fahrbahnrand verwendet, die Positionsschätzung bestätigt und wenn zugleich ein zweiter Validator, der Objektinformationen vom linken Fahrbahnrand verwendet, keine Aussage trifft, z.B. weil nicht genügend verwertbare
30 Features am rechten Fahrbahnrand erfasst werden.

Ferner kann z.B. vorgesehen sein, dass das Ergebnis der Bestimmung der Validität der geschätzten Fahrzeugposition neutral ist (d.h. es wird weder eine Bestätigung noch eine klare Falsifikation ausgegeben), falls der erste Validator die Positionsschätzung
35 bestätigt und der zweite Validator die Positionsschätzung ausdrücklich nicht bestätigt (d.h. die Positionsschätzung falsifiziert).

Es liegt auch im Rahmen der Erfindung, dass für den oben beschriebenen Schritt des Aussortierens die ersten Features und/oder die zweiten Features, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der

5 Gruppen betrachtet werden, die jeweiligen longitudinal benachbarten Bereichen zugeordnet sind. Mit anderen Worten werden bei dieser Ausführungsvariante die jeweiligen Features für den Schritt des Aussortierens jeweils auch in benachbarte „Buckets“ geworfen. Hierdurch werden die entsprechenden Objekte, auf die die Features hinweisen, sozusagen virtuell verlängert. Legt man beispielsweise Bereiche
10 (Buckets) mit einer jeweiligen Länge von 1 Meter zu Grunde, so resultiert eine virtuelle Verlängerung um 2 Meter. Auf diese Weise kann z.B. einer longitudinaler Messtoleranz Rechnung getragen werden.

Gemäß einer Ausführungsform stellen die digitale Karte und die Sensorinformationen
15 jeweils auch Höheninformationen über die (ersten bzw. zweiten) Features bereit. Dabei werden solche Features, deren Höhe sich wenigstens um eine vorbestimmte Höhendifferenz unterscheidet, nicht einer selben Feature-Gruppe zugeordnet.

Die Feature-Höhe kann demnach als ein mögliches Unterscheidungsmerkmal
20 verwendet werden, welches eine mögliche Ambiguität auflösen kann. Beispielsweise können eine Graskante und eine Leitplanke, die sich in ein und demselben Bereich parallel entlang des Fahrbahnrandes erstrecken, anhand der Höhe unterschieden werden, sodass sie keine Ambiguität einführen, die die Zuverlässigkeit der Validierung der geschätzten Position beeinträchtigen könnte.

Im Einklang mit dem Vorstehenden kann ein verwendeter Algorithmus also insbesondere auf
25 einer 2D-Darstellung oder auf einer 3D-Darstellung des Fahrzeugumfelds basieren. Eine 2D-Darstellung kann dabei den Vorteil haben, dass sie mit geringere Rechenressourcen auskommt. Bei einer 3D-Darstellung kann die Gruppierung der Features nicht nur für jede
30 Längsposition, sondern auch für jede Höhe erfolgen, sodass ggf. insgesamt mehr Features für die Validierung verwertet werden können.

Das Schätzen und/oder das Validieren der Position des Fahrzeugs kann z.B.
wenigstens teilweise mittels maschinellern Lernen ausgeführt werden. Beispielsweise
35 kann das Schätzen der Position und/oder das Validieren der Position mittels eines künstlichen neuronalen Netzwerks oder eines anderen maschinell lernfähigen Systems erfolgen.

Wenn maschinelles Lernen verwendet wird, ist für eine gute Absicherung eine ausreichende Datenbasis und eine geeignete „Ground Truth“ erforderlich. Als Datensatz können z.B. die Daten von Testfahrten mit Millionen von Kilometern benutzt werden. Diese Daten können zu Testzwecken z.B. absichtlich mit gefälschten Positionsschätzungen verknüpft werden, die der LiDAR-basierte Validator zurückweisen muss, sowie mit (z.B. von einem Referenz-DGPS-Sensor empfangenen) Ground-Truth-Positionen, die der Validator als richtig bestätigen muss.

Das Verfahren kann weiter verbessert werden, indem eine Pose des Fahrzeugs bestimmt, d.h. in der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Weise geschätzt und validiert, wird. Eine Pose umfasst zusätzlich zu der Position des Fahrzeugs eine Ausrichtung des Fahrzeugs (z.B. eine Ausrichtung relativ zu einer oder mehreren Fahrspurbegrenzungen). Die Position kann dabei beispielsweise in kartesischen Koordinaten entlang eines Rechtssystems zweier oder dreier Achsen angegeben werden und die Ausrichtung als Drehwinkel um diese Achsen.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird eine Verarbeitungseinrichtung vorgeschlagen, wobei die Verarbeitungseinrichtung zum Durchführen eines Verfahrens gemäß dem ersten Erfindungsaspekt ausgelegt ist. Merkmale oder Vorteile des Verfahrens können dementsprechend auf die Verarbeitungseinrichtung übertragen werden oder umgekehrt.

Die Verarbeitungseinrichtung kann z.B. Teil eines Steuerungssystems des Fahrzeugs sein, welches einen oder mehrere Prozessoren (wie z.B. CPUs und/oder GPUs) umfasst, auf welchen die nötigen Rechenoperationen zur Durchführung des Verfahrens ablaufen.

Es können auch unterschiedliche Verarbeitungseinrichtungen verwendet werden, etwa eine dedizierte Verarbeitungseinrichtung zum Schätzen einer der Position und eine weitere Verarbeitungseinrichtung zum Validieren der Position.

Beispielsweise kann das Fahrzeug, dessen Position validiert werden soll, eine Verarbeitungseinrichtung gemäß dem zweiten Aspekt aufweisen.

Das Fahrzeug umfasst dabei bevorzugt einen Antriebsmotor und ist ein Kraftfahrzeug, insbesondere ein straßengebundenes Kraftfahrzeug. Das Kraftfahrzeug kann in

Längsrichtung zum Beispiel durch Beeinflussen des Antriebsmotors oder einer Bremsenrichtung gesteuert werden.

5 Bevorzugt ist das Fahrzeug zum wenigstens teilweise automatisierten Fahren, bis hin zum hochautomatisierten oder sogar autonomen Fahren eingerichtet.

Beispielsweise kann eine Fahrfunktion des Fahrzeugs in Abhängigkeit der geschätzten und validierten Position gesteuert werden. Die Fahrfunktion kann insbesondere eine Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs bewirken, etwa in Form eines
10 Geschwindigkeitsassistenten oder eines Spurhalteassistenten. Die geschätzte und validierte Position kann dabei ein sicherheitsrelevanter Parameter des Fahrzeugs sein und sich z.B. in Längs- und/oder Querrichtung des Fahrzeugs bemessen.

Ein dritter Aspekt betrifft ein Computerprogramm, welches Befehle umfasst, die bei der
15 Ausführung des Computerprogramms durch eine Verarbeitungseinrichtung diese veranlassen, ein Verfahren gemäß dem zweiten Erfindungsaspekt auszuführen.

Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein computerlesbares (Speicher)medium, welches Befehle umfasst, die bei der Ausführung durch eine Verarbeitungseinrichtung
20 diese veranlassen, ein Verfahren gemäß dem ersten Aspekt auszuführen.

Es versteht sich dabei, dass die vorstehend im Zusammenhang mit dem dritten und vierten Erfindungsaspekt genannte Verarbeitungseinrichtung insbesondere eine Verarbeitungseinrichtung gemäß dem zweiten Erfindungsaspekt sein kann.
25

Beispielsweise kann die Verarbeitungseinrichtung einen programmierbaren Mikrocomputer oder Mikrocontroller umfassen und das Verfahren kann in Form eines Computerprogrammprodukts mit Programmcodemitteln vorliegen. Das Computerprogrammprodukt kann auch auf einem computerlesbaren Datenträger
30 abgespeichert sein.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei sind die in der Beschreibung genannten und/oder in den Zeichnungen alleine gezeigten Merkmale und
35 Merkmalskombinationen nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Fig. 1A zeigt schematisch und beispielhaft einen Ausschnitt einer digitalen Karte mit einer Anzahl von ersten Features, die auf Objekte im Umfeld eines Fahrzeugs hinweisen.

5

Fig. 1B zeigt schematisch und beispielhaft eine Anzahl sensorisch erfasster zweiter Features, die auf Objekte im Umfeld des Fahrzeugs hinweisen.

Fig. 2A zeigt den Kartenausschnitt aus Fig. 1A, wobei einer alternativen Gruppierung der ersten Features in Feature-Gruppen zugrunde gelegt ist.

10

Fig. 2B zeigt die sensorisch erfassten zweiten Features aus Fig. 1B, wobei einer alternativen Gruppierung der zweiten Features in Feature-Gruppen zugrunde gelegt ist.

15

Fig. 3 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines computerimplementierten Verfahrens zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Fahrzeugposition.

Die Figuren 1A-2B beziehen sich auf ein Beispielszenario, in welchem die Validität einer geschätzten Position eines Kraftfahrzeugs 105 anhand von Objekten 310-370, die sich neben einer Fahrbahn befinden, bestimmt wird.

20

Im Folgenden wird die Erfindung exemplarisch anhand dieses Beispielszenarios erläutert, wobei sogleich auch auf die Figur 3 Bezug genommen wird, die ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens 200 zeigt.

25

Das Fahrzeug 105 ist zum automatisierten Fahren eingerichtet. Hierfür muss es in der Lage sein, seine Position, insbesondere in Bezug auf Fahrspurbegrenzungen und Objekte im Fahrzeugumfeld, zu bestimmen. Eine Fahrfunktion des Fahrzeugs 105 kann dann in Abhängigkeit der bestimmten Position automatisch gesteuert werden. Die Fahrfunktion kann insbesondere eine automatische Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs 105 bewirken.

30

Das Fahrzeug 105 ist mit einer Umfeldsensorik ausgestattet, wobei in den Figuren 1A-2B exemplarisch jeweils nur ein Umfeldsensor in Form eines LiDAR-Sensors 1151 dargestellt ist. Darüber hinaus kann die Umfeldsensorik des Fahrzeugs 105 beispielsweise einen oder mehrere Kameras und einen oder mehrere RADAR-Sensoren umfassen. Ferner kann eine in

35

den Figuren nicht explizit dargestellte Empfangsvorrichtung für ein globales Satellitennavigationssystem und/oder ein Odometer zur Bereitstellung von Odometriedaten vorgesehen sein.

- 5 Weiterhin ist in dem Fahrzeug 105 eine Verarbeitungseinrichtung 120 angeordnet. Die Verarbeitungseinrichtung 120 kann z.B. Teil eines Steuerungssystems für die automatisierten Fahrfunktionen des Fahrzeugs 105 sein. Dabei umfasst die Verarbeitungseinrichtung 120 einen oder mehrere Prozessoren (wie z.B. CPUs und/oder GPUs), auf welchen die nötigen Rechenoperationen zur Durchführung eines
- 10 Verfahrens 200 zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs 105 ablaufen.

- Schritte des Verfahrens 200 sind in Fig. 3 schematisch veranschaulicht. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte 205-250 unter Bezugnahme auf die Fig. 1A-
- 15 2B beispielhaft erläutert.

- In einem Schritt 205 wird eine digitale Karte seitens der Verarbeitungseinrichtung 120 bzw. seitens eines Softwaremoduls, das von der Verarbeitungseinrichtung 120 ausgeführt wird, empfangen. Die digitale Karte wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel von einem
- 20 digitalen Kartenspeicher 125 bereitgestellt, welcher in dem Fahrzeug 105 angeordnet und kommunikativ mit der Verarbeitungseinrichtung 120 verbunden ist.

- Das Empfangen der digitalen Karte umfasst konkret das Laden eines relevanten Kartenausschnitts, der relevante Karteninformationen über das Fahrzeugumfeld enthält. Der
- 25 Kartenausschnitt kann beispielsweise eine Fahrbahnlänge von 40 Metern abdecken.

- Einige der empfangenen Karteninformationen sind in Fig. 1A bildlich dargestellt. Der geladene Kartenausschnitt zeigt demnach insbesondere eine Fahrbahn samt Fahrspurbegrenzungen sowie mehrere Objekte 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, die sich
- 30 gemäß den Karteninformationen links und rechts neben der Fahrbahn am Fahrbahnrand befinden.

- Beispielsweise kann unter den Objekten eine Leitplanke 310 sein, die sich longitudinal entlang der Fahrbahn erstreckt, wie auf der linken Seite in Fig. 1A gezeigt. Unter den
- 35 schematisch dargestellten Objekten 320-370, die sich rechts von der Fahrbahn befinden, können beispielsweise Abschnitte einer Leitplanke, einer Graskante, einer Lärmschutzwand

oder dergleichen sein. Auch Bäume, Büsche, Straßenlaternen Brückenpfeiler usw. können unter den Objekten 320-370 sein.

Die digitale Karte kann z.B. wenigstens teilweise auf sensorisch erfassten Daten beruhen, welche bei einer oder mehreren Erkundungsfahrten eines Erkundungsfahrzeugs eines Service-Providers der digitalen Karte aufgezeichnet wurden. Dabei kann die digitale Karte z.B. mehrere Schichten enthalten, wobei die verschiedenen Schichten Features enthalten, die mittels unterschiedlichen Umfeldsensoren des Fahrzeugs 105 erkannt werden können.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass unter den in der digitalen Karte gemäß Fig. 1A gezeigten Objekte 310-370 wenigstens einige Objekte sind, die im Fahrzeugumfeld prinzipiell mittels des LiDAR-Sensors 1151 erfasst werden können.

In einem weiteren Schritt 210 wird seitens der Verarbeitungseinrichtung bzw. des Softwaremoduls eine geschätzte Position des Fahrzeugs 105 empfangen. Die geschätzte Position ist eine Position in der digitalen Karte oder jedenfalls einer Position in der digitalen Karte zuordenbar ist. Bei dem vorliegenden Beispiel entspricht die geschätzte Fahrzeugposition der Position in der digitalen Karte, an welcher das Fahrzeug 105 in Fig. 1A eingezeichnet ist.

Das Fahrzeug 105 befindet sich entsprechend der Positionsschätzung auf der linken Fahrspur. Die Positionsschätzung kann jedoch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein und soll daher im Rahmen der weiteren Verfahrensschritte möglichst zuverlässig anhand von Informationen, die der LiDAR-Sensor 1151 bereitstellt, validiert werden.

Ein weiterer Schritt 215 ist das Erkennen einer Anzahl von ersten Features 400 in der digitalen Karte, welche auf die neben der Fahrbahn befindlichen Objekte 310-370 hinweisen. Die ersten Features liegen in Form von Datenpunkten vor, die insgesamt die Objekte 310-370 beschreiben. In Fig. 1A wird dies durch eine gepunktete Darstellung der Objekte 310-370 schematisch verdeutlicht.

Es ist dabei auch möglich, dass die digitale Karte die Objekte 310-370 zunächst in Form von kontinuierlichen Strukturen, wie z.B. Flächen oder Linien, enthält, und dass diese Strukturen für die weitere Verarbeitung durch Sampling in eine Gesamtheit von einzelnen Datenpunkten werden.

In einem weiteren Schritt 220 werden die ersten Features 400 in eine Anzahl von ersten Feature-Gruppen 405-470 gruppiert. Dies geschieht in der Weise, dass alle ersten Features 400, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten ersten Feature-Gruppe 405-470 angehören.

Konkret werden bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel mehrere zusammenhängende Bereiche definiert, die sich jeweils über eine vorbestimmte Länge L (z.B. 1 Meter) longitudinal entlang der Fahrbahn erstrecken. In Fig. 1A wird dies durch mehrere horizontale gestrichelte Linien verdeutlicht, die jeweils einen solchen streifenförmigen Bereich begrenzen.

Alle ersten Features 400, die sich in einem jeweiligen Bereich befinden, werden derselben ersten Feature-Gruppe 405-470 zugeordnet. In Fig. 1A beziehen sich die Bezugszeichen 405-470 also nicht auf die unterschiedlichen Bereiche an sich, sondern auf die entsprechenden Feature-Gruppen, die alle Features 400 enthalten, die sich in einem jeweiligen Bereich befinden.

Beispielsweise gehören sämtliche Features (Datenpunkte) 400, die das Objekt 340 beschreiben, derselben Feature-Gruppe 425 an, da sie sich alle in demselben streifenförmigen Bereich befinden. Im Gegensatz dazu sind z.B. die Features 400, die das Objekt 360 beschreiben, auf drei benachbarte Feature-Gruppen 445, 450, 455 aufgeteilt, da sie sich über drei benachbarte Bereiche erstrecken. Die Feature-Gruppe 410 enthält sowohl Features 400, die das Objekt 320 beschreiben als auch Features 400, die das Objekt 330 beschreiben. Auf der linken Seite der Fahrbahn erstreckt sich das Objekt 310 ebenfalls über mehrere Bereiche und damit Feature-Gruppen, wobei hier nur eine Feature-Gruppe 470 exemplarisch mit einem Bezugszeichen versehen ist.

Ein weiterer Schritt ist das Empfangen 225 von Sensorinformationen über das Fahrzeugumfeld. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die Sensorinformationen mittels des LiDAR-Sensors 1151 erzeugt und an die Verarbeitungseinrichtung 120 übermittelt.

In einem weiteren Schritt 230, der im Folgenden mit Bezug auf Fig. 1B erläutert werden soll, wird mittels der Verarbeitungseinrichtung 120 in den Sensorinformationen eine Anzahl von zweiten Features 500 erkannt. Die zweiten Features 500 weisen bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel auf einige Objekte 310, 320, 330, 340, 360, 370 aus der Gesamtheit

von Objekten 310-370 hin, welche auch in der digitalen Karte gemäß Fig. 1A verzeichnet sind. Das in der digitalen Karte verzeichnete Objekt 350 ist jedoch durch den LiDAR-Sensor 1151 vorliegend nicht erfasst worden. Ein Grund hierfür kann z.B. sein, dass das Objekt 350 seiner Beschaffenheit nach nicht oder nur schwer mittels LiDAR erkennbar ist oder dass das Objekt 350 tatsächlich nicht im Fahrzeugumfeld vorhanden ist, etwa weil die digitale Karte insoweit nicht mehr aktuell ist.

Ähnlich wie die ersten Features 400 liegen auch die zweiten Features 500 in Form von Datenpunkten vor. Dabei kann z.B. jeder einzelne Datenpunkt 500 einem durch den LiDAR-Sensor 1151 erfassten Messpunkt entsprechen. Jeder Datenpunkt 500 hat eine eindeutige Position in Bezug auf das Fahrzeug 105, wie in Fig. 1B veranschaulicht.

Ein weiterer Schritt 235 ist das Gruppieren der zweiten Features 500 in eine Anzahl von zweiten Feature-Gruppen 505-570 in der Weise, dass alle zweiten Features 500, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten zweiten Feature-Gruppe 505-570 angehören.

Das Gruppieren 235 der zweiten Features 500 kann ganz analog zu dem Gruppieren 220 der ersten Features 400 ausgeführt werden. Beispielsweise können, wie vorstehend bereits mit Bezug auf das Gruppieren 220 der ersten Features 400 beschrieben, mehrere zusammenhängende streifenförmige Bereiche definiert werden, die sich jeweils über eine vorbestimmte Länge L (z.B. 1 Meter) entlang der Fahrbahn erstrecken. Sämtliche zweite Features 500, die sich in einem solchen Bereich befinden können dann einer selben zweiten Feature-Gruppe 505-570 zugeordnet werden. Im Ergebnis entstehen so mehrere zweite Feature-Gruppen 505-570, die jeweils zweite Features 500 enthalten, welche sich in den jeweils zugeordneten Bereichen befinden.

Die Aufteilung in Bereiche, die jeweils eine definierte longitudinale Begrenzung haben, ist bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel dieselbe, die bereits beim Gruppieren 220 der ersten Features 400 verwendet worden ist. Wie eingangs erwähnt, kann man sich die Aufteilung der ersten und zweiten Features 400, 500 bei der Gruppierung in entsprechende Feature-Gruppen 405-470, 505-507 bildlich in der Weise veranschaulichen, dass die Features 400, 500 in mehrere Buckets (entsprechend den unterschiedlichen Bereichen) geworfen werden.

In einem weiteren Schritt 240 werden einige erste und/oder zweite Feature-Gruppen 410, 425, 510, 525 aussortiert, sodass sie im Rahmen der nachfolgenden Verfahrensschritte für das Validieren der geschätzten Fahrzeugposition nicht herangezogen werden.

- 5 Konkret können z.B. alle ersten Feature-Gruppen 410, 425, deren maximale laterale Ausdehnung einen ersten vorbestimmten Wert B1 (z.B. 1 Meter) überschreitet, aussortiert werden.

10 In Fig. 1A sind die anhand dieses Kriteriums aussortierten Feature-Gruppen 410, 425 mit einem dunklen „X“ markiert. Nicht aussortierte Feature-Gruppen 405, 415, 435-470 sind mit einem dunklen Haken versehen. Ein helles „X“ markiert jeweils Bereiche, in denen gar keine ersten Features vorhanden sind, die für das Validieren der geschätzten Fahrzeugposition verwendet werden könnten.

- 15 Beispielsweise gehören die Features der aussortierten Feature-Gruppe 410 zu zwei unterschiedlichen länglichen Objekten 320, 330, die sich in dem der Feature-Gruppe 410 zugeordneten Bereich in der Weise überlappen, dass sie einen gemeinsamen longitudinalen Erstreckungsbereich haben. Ein maximaler lateraler (d.h. quer zu der Fahrbahn gemessener) Abstand von ersten Features 400 der beiden Objekte 320, 330 überschreitet dabei den
20 ersten vorbestimmten Wert B1, was zum Aussortieren der Feature-Gruppe 410 führt.

Die aussortierte Feature-Gruppe 425 gehört zu einem einzigen Objekt 340, dessen laterale Ausdehnung größer als der erste vorbestimmte Wert B1 ist.

- 25 Zusätzlich oder alternativ zum Aussortieren einiger erster Feature-Gruppen 410, 425 können in ganz analoger Weise auch alle zweite Feature-Gruppen 510, 525, deren maximale laterale Ausdehnung einen zweiten vorbestimmen Wert B2 überschreitet, aussortiert werden. Dies ist in Fig. 1B verdeutlicht, wo die aussortierten zweiten Feature-Gruppen 510, 525 wiederum mit einem dunklen „X“ gekennzeichnet sind. Der zweite Wert B2 kann dabei identisch mit dem
30 ersten Wert B1 sein.

Durch das Aussortieren 240 der genannten Feature-Gruppen 410, 425, 510, 525 kann verhindert werden, dass für Validierung insbesondere einer geschätzten lateralen Position eine unerwünschte Mehrdeutigkeit entsteht.

35

Die Fig. 2A und 2B veranschaulicht eine Ausführungsvariante des Aussortier-Schritts 240, wobei für die Zwecke des Aussortierens 240 die ersten Features 400 und/oder die

zweiten Features 500, die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, zusätzlich auch als Teil derjenigen ersten bzw. zweiten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 betrachtet werden, die jeweiligen longitudinal benachbarten Bereichen zugeordnet sind. Hiervon ausgehend werden sodann dieselben Kriterien hinsichtlich der lateralen Ausdehnung der Feature-Gruppen angewendet wie oben mit Bezug auf Fig. 1A und 1B beschrieben. Bei dieser Variante werden folglich z.B. auch die ersten Feature-Gruppen 405 und 415 sowie die entsprechenden zweiten Feature-Gruppen 505 und 515 aussortiert.

Bei dieser Ausführungsvariante werden die jeweiligen Features 400, 500 für den Schritt 240 des Aussortierens also bildlich gesprochen jeweils auch in benachbarte Buckets geworfen. Hierdurch werden die entsprechenden Objekte 320-370, auf die die Features 400, 500 hinweisen, sozusagen virtuell verlängert. Legt man beispielsweise Bereiche (Buckets) mit einer jeweiligen Länge von 1 Meter zu Grunde, so resultiert eine virtuelle longitudinale Verlängerung um 2 Meter. Auf diese Weise kann z.B. einer longitudinaler Messtoleranz Rechnung getragen werden.

Ein weiterer Schritt 245 ist das Zuordnen wenigstens einiger der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470 zu einer jeweiligen nicht aussortierten zweiten Feature-Gruppe 505, 515, 545-570. Dabei können insbesondere solche ersten und zweiten Feature-Gruppen einander zugeordnet werden, welche einander in dem Sinne entsprechen, dass angenommen werden kann, dass sie dasselbe Objekt oder dieselben Teile eines Objekts in der digitalen Karte bzw. im Fahrzeugumfeld beschreiben.

Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde beim Gruppieren 220, 235 der ersten bzw. zweiten Features 400, 500 dieselbe Aufteilung der digitalen Karte (vgl. Fig. 1A bzw. Fig. 2A) bzw. des Ausschnitts des sensorisch erfassten Fahrzeugumfelds (vgl. Fig. 1B bzw. Fig. 2B) in longitudinal abgegrenzte Bereiche verwendet, und die einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 entsprechen einander in dem Sinne, dass sie einander entsprechenden Bereichen zugeordnet sind. So wird z.B. die erste Feature-Gruppe 405 der zweiten Feature-Gruppe 505 zugeordnet, die erste Feature-Gruppe 410 wird der zweiten Feature-Gruppe 510 zugeordnet usw.

Ein weiterer Schritt 250 ist das Bestimmen der Validität der geschätzten Position des Fahrzeugs 105 auf der Basis eines Vergleichs von Positionen einer Anzahl der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470 mit Positionen der jeweils

zugeordneten zweiten Feature-Gruppen 505, 515, 545-570. Das Bestimmen der Gültigkeit der geschätzten Position erfolgt somit durch einen Abgleich der Positionen von ersten Features 400, die aufgrund der Karteninformationen (vgl. Fig. 1A bzw. Fig. 2A) erwartet werden und der Positionen von zweiten Features 500 (vgl. Fig. 1B bzw. Fig. 2B), die mittels der Umfeldsensorik 1151 erfasst werden.

Die Validität der geschätzten Position wird bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 1A-B in der Weise bestimmt, dass ausgehend von der Annahme, dass die geschätzte Position korrekt wäre, die Positionen der Anzahl der ersten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470 mit den Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-Gruppen 505, 515, 545-570 in einem gemeinsamen Koordinatensystem verglichen werden.

Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 2A-B werden demgegenüber – aufgrund des abgewandelten Gruppierens/Aussortierens – auf der rechten Seite nur die Feature-Gruppen 435, 445, 450 und 465 für den Positionsvergleich herangezogen.

Es kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Fahrzeugposition bestätigt wird, wenn die Positionen aller einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz (wie z.B. 50 cm oder 1 m) unterscheiden.

Für die Bewertung von Positionsabweichungen in longitudinaler bzw. lateraler Richtung können auch unterschiedliche vorbestimmte Distanzen vorgesehen sein. So kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position bestätigt wird, wenn ein lateraler Abstand zwischen den jeweiligen einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 nicht größer als 50 cm ist und wenn ein longitudinaler Abstand zwischen den jeweiligen einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 nicht größer als 1 Meter ist. Augenscheinlich ist dies beim Vergleich der Fig. 1A und 1B bzw. der Fig. 2A und 2B der Fall, sodass in dem vorliegenden Beispielszenario die geschätzten Fahrzeugposition durch den LiDAR-Validator bestätigt würde.

Die Entscheidung, ob die Anordnung der einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 zu einer Positionsschätzung passen, kann auch anhand einer statistischen Betrachtung getroffen werden. So kann z.B. vorgesehen sein, dass die geschätzte Position bestätigt wird, wenn die Positionen wenigstens eines definierten Anteils

(wie z.B. mindestens 90%) der einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz (ggf. unterschieden nach lateraler und longitudinaler Richtung, wie weiter oben beschrieben) unterscheiden.

- 5 Die statistische Betrachtung kann dabei auch eine statistische Abstandsverteilung berücksichtigen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass als Voraussetzung für eine Bestätigung der geschätzten Position wenigstens 60% der betrachteten Paare von einander zugeordneten ersten und zweiten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 nicht weiter als 30 cm voneinander entfernt sein dürfen und dass zugleich wenigstens 90%
10 der Paare nicht weiter als 60 cm voneinander entfernt sein dürfen.

- Der Abgleich der Positionen der einander zugeordneten Feature-Gruppen 405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570 kann jeweils mit Bezug auf eine bestimmte Gesamtheit von Feature-Gruppen erfolgen kann, welche z.B. einem momentan betrachteten Kartenausschnitt
15 entsprechen kann. So kann z.B. ein Abschnitt betrachtet werden, der sich über eine Länge von 20-40 Meter (longitudinal) entlang der Fahrbahn erstreckt. Dies würde bei einer definierten Länge der einzelnen Bereiche von 1 Meter dazu führen, dass dem Abgleich eine Gesamtheit von maximal 20-40 Feature-Gruppen zu Grunde gelegt wird. Wenn z.B. 90% dieser Feature-Gruppen übereinstimmen (d.h. nicht weiter als um eine vorbestimmte Distanz
20 auseinanderliegen), wird die geschätzte Position validiert.

- Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Verfahren 200 für Features 400, 500, die auf Objekte auf unterschiedlichen Fahrbahnseiten hindeuten, separat ausgeführt. Bezogen auf das vorliegende Ausführungsbeispiel können also sämtliche
25 Verfahrensschritte einerseits für die Features 400, 500, die das Objekt 310 am linken Fahrbahnrand hinweisen, ausgeführt werden und unabhängig davon für die Features 400, 500, die auf die Objekte 320-370 am rechten Fahrbahnrand hinweisen.

- Falls z.B. die am rechten Fahrbahnrand befindlichen Objekte 320-370 insgesamt für
30 eine Positionsvalidierung ungeeignet sind, weil zu viele Feature-Gruppen aussortiert werden (vgl. z.B. Fig. 2A-B), können bei dieser Ausführungsform die Informationen über das Objekt 310 am linken Fahrbahnrand, dennoch herangezogen werden, um die geschätzte Fahrzeugposition zu validieren.

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren (200) zum Bestimmen der Validität einer geschätzten Position eines Fahrzeugs (105), umfassend die Schritte:
- a. Empfangen (205) einer digitalen Karte;
 - b. Empfangen (210) einer geschätzten Position des Fahrzeugs (105), wobei die geschätzte Position eine Position in der digitalen Karte ist oder einer Position in der digitalen Karte zuordenbar ist;
 - c. Erkennen (215) einer Anzahl von ersten Features (400) in der digitalen Karte, wobei die ersten Features (400) auf wenigstens ein neben einer Fahrbahn befindliches Objekt (310-370) hinweisen;
 - d. Gruppieren (220) der ersten Features (400) in eine Anzahl von ersten Feature-Gruppen (405-470) in der Weise, dass alle ersten Features (400), die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zugeordneten ersten Feature-Gruppe (405-470) angehören;
 - e. Empfangen (225) von Sensorinformationen über ein Umfeld des Fahrzeugs (105);
 - f. Erkennen (230) einer Anzahl von zweiten Features (500) in den Sensorinformationen, wobei die zweiten Features (500) auf wenigstens ein neben einer Fahrbahn befindliches Objekt (310-370) hinweisen;
 - g. Gruppieren (235) der zweiten Features (500) in eine Anzahl von zweiten Feature-Gruppen (505-570) in der Weise, dass alle zweiten Features (500), die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, einer dem jeweiligen Bereich zweiten Feature-Gruppe (505-570) angehören;
 - h. Aussortieren (240) von ersten Feature-Gruppen (410, 425), deren maximale laterale Ausdehnung einen ersten vorbestimmten Wert (B1) überschreitet und/oder Aussortieren von zweiten Feature-Gruppen (510, 525), deren maximale laterale Ausdehnung einen zweiten vorbestimmten Wert (B2) überschreitet;
 - i. Zuordnen (245) wenigstens einiger der nicht aussortierten ersten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470) zu einer jeweiligen nicht aussortierten zweiten Feature-Gruppe (505, 515, 545-570);
 - j. Bestimmen (250) der Validität der geschätzten Position des Fahrzeugs (105) auf der Basis eines Vergleichs von Positionen einer Anzahl der nicht

aussortierten ersten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470) mit Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-Gruppen (505, 515, 545-570).

2. Verfahren (200) nach Anspruch 1, wobei die Validität der geschätzten
5 Position in der Weise bestimmt (250) wird, dass ausgehend von der Annahme, dass die geschätzte Position korrekt wäre, die Positionen der Anzahl der ersten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470) mit den Positionen der jeweils zugeordneten zweiten Feature-Gruppen (505, 515, 545-570) in einem gemeinsamen Koordinatensystem verglichen werden.
10
3. Verfahren (200) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die geschätzte Position bestätigt wird, wenn die Positionen aller einander zugeordneten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570) sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz unterscheiden.
15
4. Verfahren (200) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die geschätzte Position bestätigt wird, wenn die Positionen wenigstens eines definierten Anteils der einander zugeordneten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570) sich um weniger als eine vorbestimmte Distanz unterscheiden.
20
5. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sensorinformationen mittels eines LiDAR-Sensors (1151) erzeugt worden sind.
- 25 6. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren (200) für Features, die auf Objekte (310-370) auf unterschiedlichen Fahrbahnseiten hindeuten, separat ausgeführt wird.
7. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für das
30 Aussortieren (240) die ersten Features (400) und/oder die zweiten Features (500), die sich in einem jeweiligen hinsichtlich seiner longitudinalen Ausdehnung definierten Bereich neben der Fahrbahn befinden, zusätzlich auch als Teil derjenigen ersten bzw. zweiten Feature-Gruppen (405, 415, 445-470, 505, 515, 545-570) betrachtet werden, die jeweiligen longitudinal
35 benachbarten Bereichen zugeordnet sind.

8. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die digitale Karte und die Sensorinformationen jeweils auch Höheninformationen über die Features (400, 500) bereitstellen und wobei Features (400, 500), deren Höhe sich wenigstens um eine vorbestimmte Höhendifferenz unterscheidet, nicht einer selben Feature-Gruppe zugeordnet werden.

9. Verarbeitungseinrichtung (120), wobei die Verarbeitungseinrichtung (120) zum Durchführen eines Verfahrens (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgelegt ist.

10. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogramms durch eine Verarbeitungseinrichtung (120) diese veranlassen, ein Verfahren (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen.

11. Computerlesbares (Speicher)medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch eine Verarbeitungseinrichtung (120) diese veranlassen, ein Verfahren (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen.

1/5

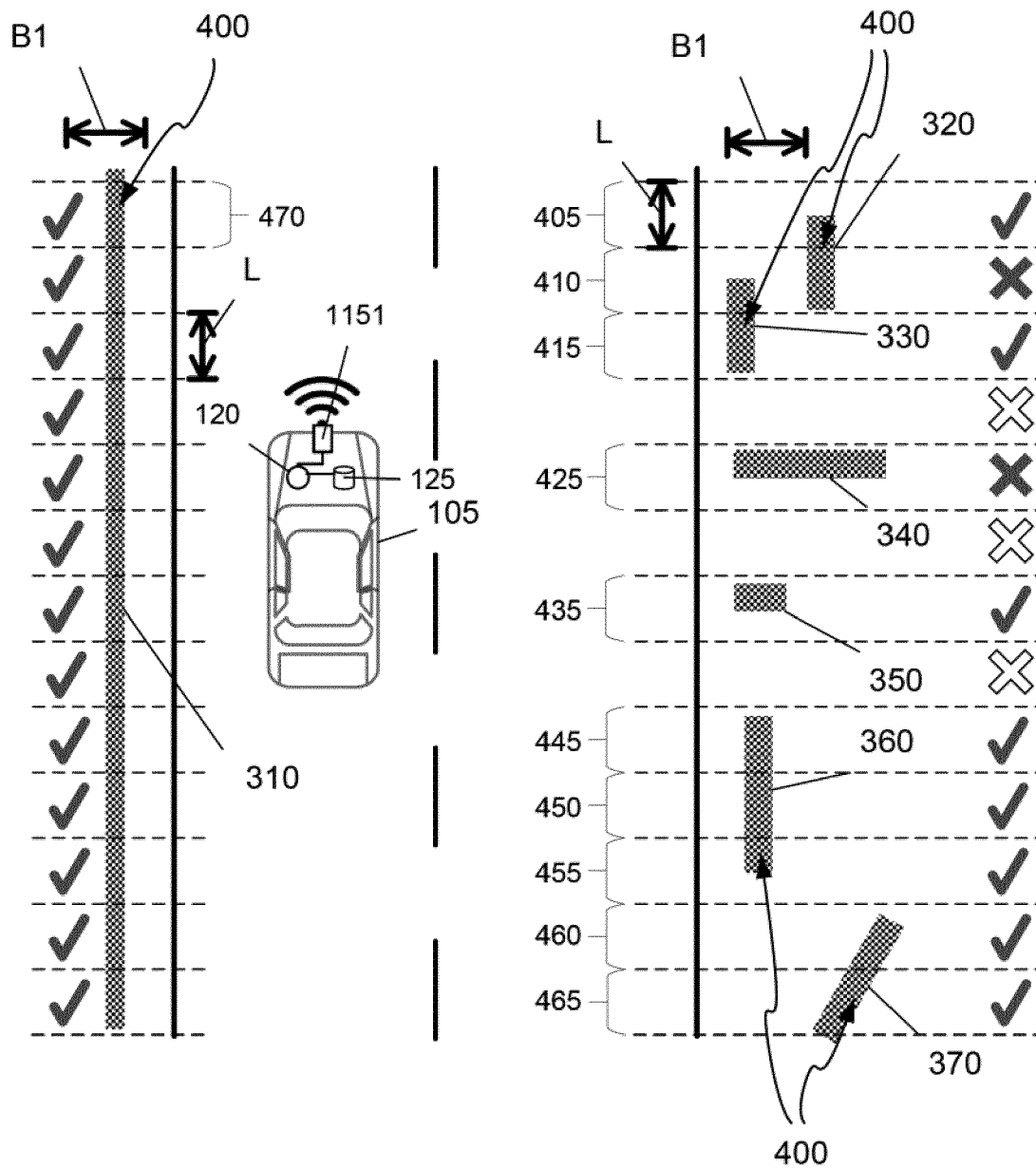


Fig. 1A

2/5

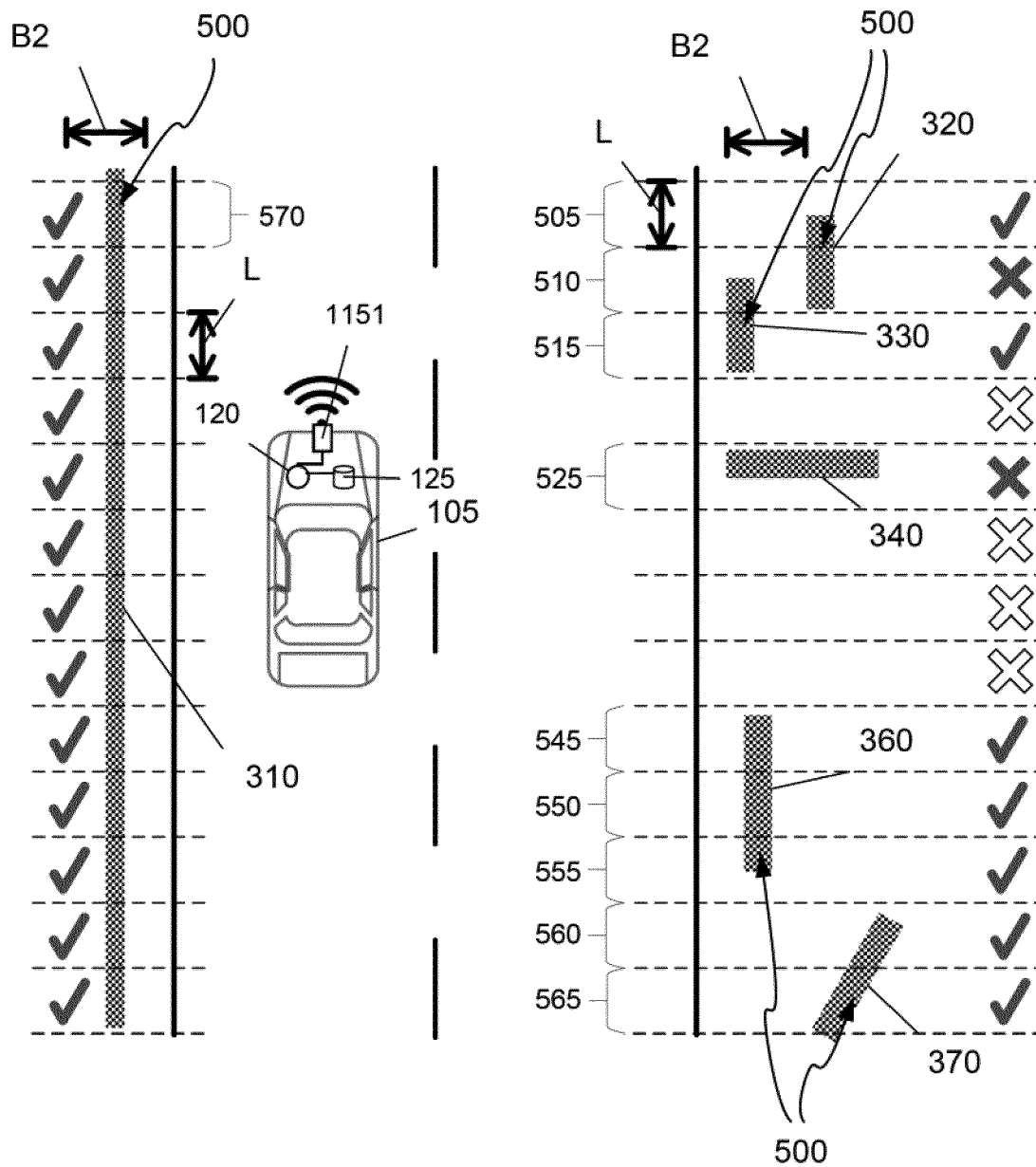


Fig. 1B

3/5

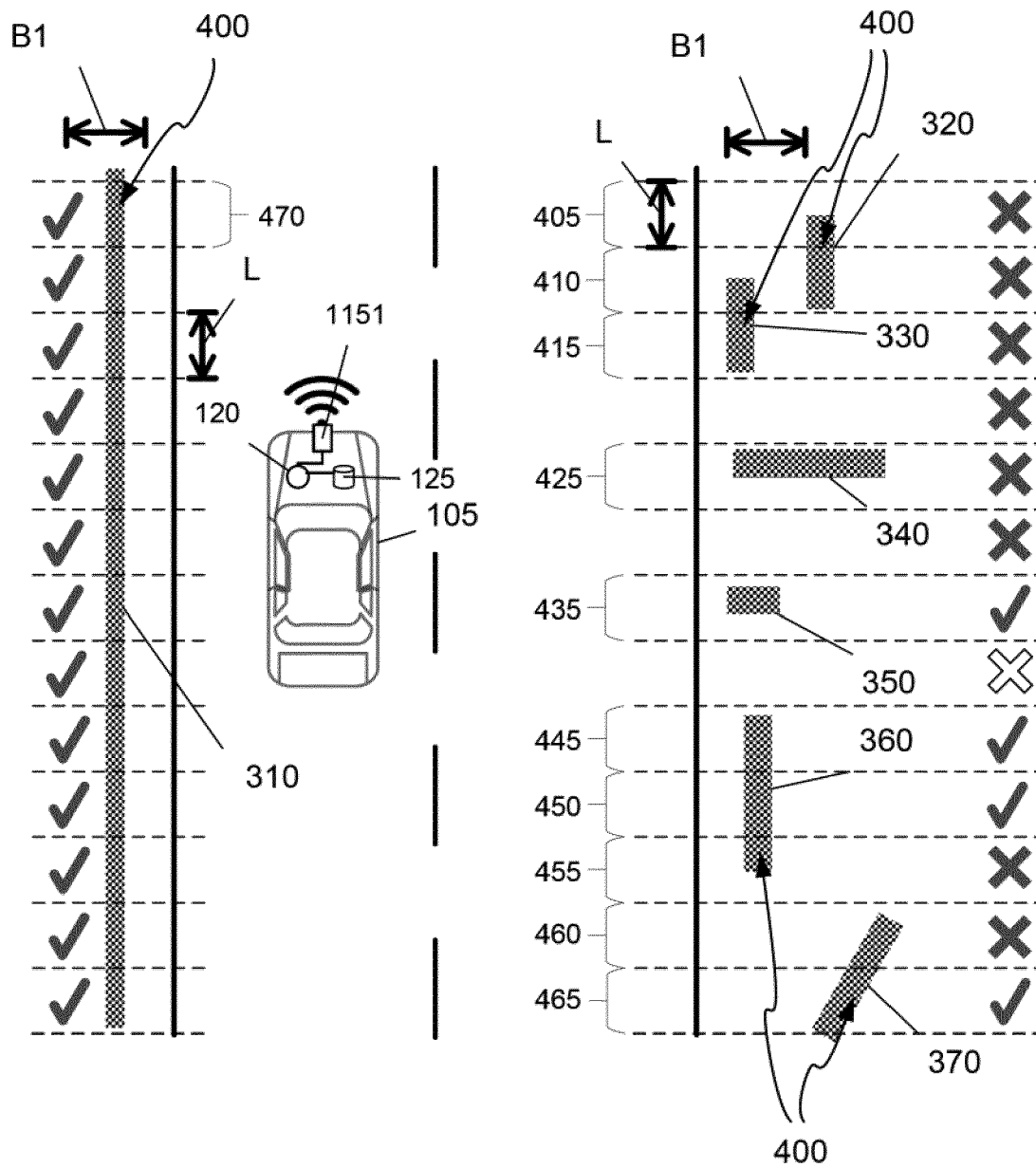


Fig. 2A

4/5

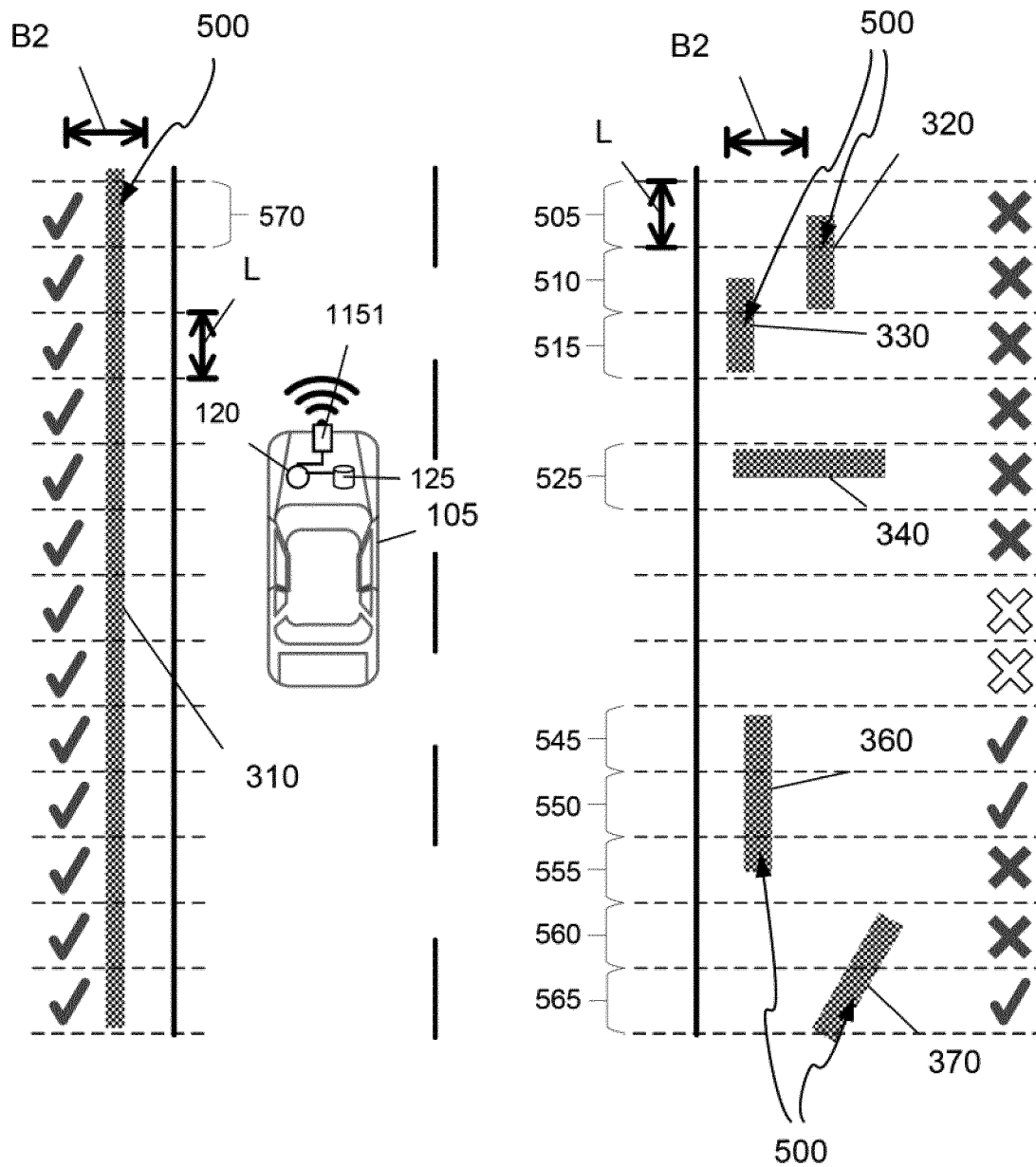


Fig. 2B

5/5

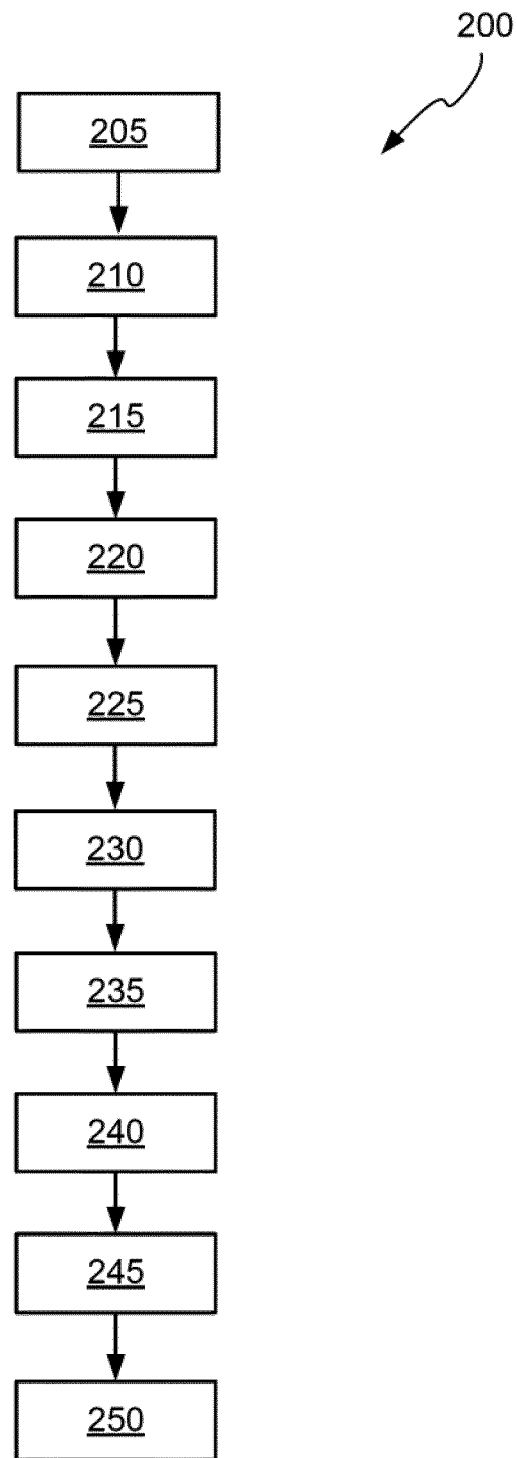


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/067885

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01S 7/48</i> (2006.01)i; <i>G01S 17/86</i> (2020.01)i; <i>G01S 17/931</i> (2020.01)i; <i>G01S 17/89</i> (2020.01)i; <i>G06T 7/73</i> (2017.01)i; <i>G01S 13/931</i> (2020.01)n; <i>G01S 15/931</i> (2020.01)n; <i>G01S 13/89</i> (2006.01)n; <i>G01S 15/89</i> (2006.01)n 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) G01S; G06T 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											
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>DE 102016214027 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 01 February 2018 (2018-02-01) abstract; figures 1A, 2, 3 paragraphs [0012], [0080], [0082] paragraphs [0083], [0095], [0097] paragraphs [0098], [0102] - [0104] paragraphs [0108], [0112], [0118] paragraphs [0119], [0120], [0123] paragraphs [0124], [0127], [0163]</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>DE 102018004229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 28 November 2019 (2019-11-28) abstract paragraphs [0033], [0049], [0052]</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	DE 102016214027 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 01 February 2018 (2018-02-01) abstract; figures 1A, 2, 3 paragraphs [0012], [0080], [0082] paragraphs [0083], [0095], [0097] paragraphs [0098], [0102] - [0104] paragraphs [0108], [0112], [0118] paragraphs [0119], [0120], [0123] paragraphs [0124], [0127], [0163]	1-11	A	DE 102018004229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 28 November 2019 (2019-11-28) abstract paragraphs [0033], [0049], [0052]	1-11
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
A	DE 102016214027 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 01 February 2018 (2018-02-01) abstract; figures 1A, 2, 3 paragraphs [0012], [0080], [0082] paragraphs [0083], [0095], [0097] paragraphs [0098], [0102] - [0104] paragraphs [0108], [0112], [0118] paragraphs [0119], [0120], [0123] paragraphs [0124], [0127], [0163]	1-11									
A	DE 102018004229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 28 November 2019 (2019-11-28) abstract paragraphs [0033], [0049], [0052]	1-11									
☐ 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 17 September 2021		Date of mailing of the international search report 29 September 2021									
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 Knoll, Bernhard Telephone No.									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/067885

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102016214027	A1	01 February 2018	CN	109564285	A	02 April 2019
				DE	102016214027	A1	01 February 2018
				EP	3491417	A1	05 June 2019
				US	2019271551	A1	05 September 2019
				WO	2018019466	A1	01 February 2018
DE	102018004229	A1	28 November 2019	CN	112189126	A	05 January 2021
				DE	102018004229	A1	28 November 2019
				EP	3669142	A1	24 June 2020
				US	2021215503	A1	15 July 2021
				WO	2019223931	A1	28 November 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01S7/48 G01S17/86 G01S17/931 G01S17/89 G06T7/73
 ADD. G01S13/931 G01S15/931 G01S13/89 G01S15/89

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01S G06T

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2016 214027 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 1. Februar 2018 (2018-02-01) Zusammenfassung; Abbildungen 1A, 2, 3 Absätze [0012], [0080], [0082] Absätze [0083], [0095], [0097] Absätze [0098], [0102] - [0104] Absätze [0108], [0112], [0118] Absätze [0119], [0120], [0123] Absätze [0124], [0127], [0163] -----	1-11
A	DE 10 2018 004229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 28. November 2019 (2019-11-28) Zusammenfassung Absätze [0033], [0049], [0052] -----	1-11



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

17. September 2021

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/09/2021

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

Knoll, Bernhard

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/067885

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016214027 A1	01-02-2018	CN 109564285 A	02-04-2019
		DE 102016214027 A1	01-02-2018
		EP 3491417 A1	05-06-2019
		US 2019271551 A1	05-09-2019
		WO 2018019466 A1	01-02-2018

DE 102018004229 A1	28-11-2019	CN 112189126 A	05-01-2021
		DE 102018004229 A1	28-11-2019
		EP 3669142 A1	24-06-2020
		US 2021215503 A1	15-07-2021
		WO 2019223931 A1	28-11-2019
