

(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
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/109516 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01C 21/30 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/082993

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. November 2019 (28.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 130 457.9
30. November 2018 (30.11.2018) DE

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

(72) Erfinder: **BEGGEL, Bastian**; Mühlenstr. 20, 66111 Saar-
brücken (DE). **HOLDER, Stefan**; Burgkmairstrasse 42,
80686 München (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,
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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

(54) Title: SYSTEMS AND METHODS FOR MAP MATCHING

(54) Bezeichnung: SYSTEME UND VERFAHREN FÜR MAP MATCHING

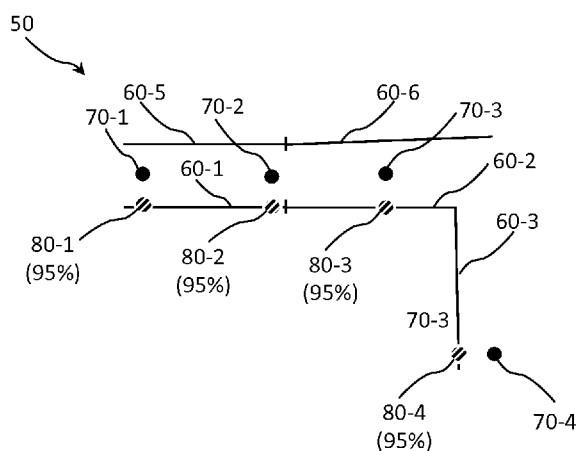


Fig. 3

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for determining a map matching confidence. The method comprises: detecting a trajectory; detecting network data containing a plurality of links of a network; detecting one or more data pairs, each of said one or more data pairs containing: a link from the plurality of links and a time window that captures at least one portion of the trajectory; determining, for each of the one or more data pairs, a map matching confidence for the link of the relevant data pair based on: determining a maximum a posteriori probability; or determining by means of a modified forward algorithm, wherein the map matching confidence is designed to indicate a probability that the relevant link has been affected by the trajectory within the relevant time window. The present invention also relates to a system that is designed to carry out the method according to the invention, and to a vehicle comprising said system.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Map Matching Konfidenz. Das Verfahren umfasst Erfassen einer Trajektorie; Erfassen von Netzdaten beinhaltend eine Vielzahl von Links eines Netzes; Erfassen eines oder mehrerer Datenpaare, wobei jedes der ein oder mehreren Datenpaare enthält: einen Link aus der Vielzahl von Links und ein Zeitfenster, dass zumindest einen Teil der Trajektorie erfasst; Ermitteln, für jedes der ein oder mehreren Datenpaare, einer Map Matching Konfidenz für den Link des jeweiligen Datenpaares basierend auf: Ermitteln einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit; oder

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)

Ermitteln mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus, wobei die Map Matching Konfidenz konfiguriert ist, eine Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass der jeweilige Link innerhalb des jeweiligen Zeitfensters von der Trajektorie tangiert wurde. Weiter betrifft die vorliegende Offenbarung ein System, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens konfiguriert ist, und ein Fahrzeug, das das System umfasst.

Systeme und Verfahren für Map Matching

- 5 Die Offenbarung betrifft Systeme und Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz. Die Offenbarung betrifft insbesondere Systeme und Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz bei Nutzung von Kartendaten in Kraftfahrzeugen.

Stand der Technik

- 10 Im Stand der Technik sind Map Matching Verfahren zur Abbildung einer Sequenz von GPS-Positionen auf Kartendaten bekannt, die eine Genauigkeit der Abbildung, beispielsweise von Positionen eines Fahrzeugs auf entsprechende Straßenverbindungen, relativ verbessern sollen. Beim Map Matching wird also typischerweise eine Sequenz von GPS-Positionen auf ein Straßennetz abgebildet. Dabei wird für jede GPS-Position ermittelt, auf welcher Straße das Fahrzeug gefahren ist.
- 15 Ein Straßennetz kann, beispielsweise wie in Newson, Paul, und John Krumm: "Hidden Markov map Matching through noise and sparseness.", Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems, ACM, 2009, beschrieben, als Graph modelliert werden, der sowohl aus gerichteten als auch aus ungerichteten Kanten bestehen kann. Im Gegensatz zu der Veröffentlichung von Newson
- 20 und Krumm muss eine gerichtete Kante nicht zwangsweise eine Einbahnstraße bedeuten, da Straßen, die in beide Richtungen befahrbar sind, auch als zwei gerichtete Kanten modelliert werden können. Jede Kante hat eine Beschreibung ihrer Geometrie, beispielsweise als Polyline (d.h. als Linie, die aus mehreren Segmenten zusammengesetzt ist). Kartenhersteller bieten Karten in unterschiedlichen Formaten mit unterschiedlichen Modellierungen an. So
- 25 können in manchen Modellierungen Links nur an Kreuzungen enden oder es gibt nur gerichtete Kanten. Die vorgenannte Modellierung stellt jedoch den allgemeinsten Fall dar.

- Newson und Krumm beschreiben ein Map Matching Verfahren auf Basis des Hidden Markov Modells (HMM). Dieses Verfahren berechnet die wahrscheinlichste Sequenz von Links über die das Fahrzeug gefahren ist mit Hilfe des Viterbi-Algorithmus. Dabei wird jede GPS-
- 30 Position auf ein so genanntes Matching, der Kombination aus Link und Position auf dem Link

(kurz <Link, Position auf Link>) abgebildet. Die Position auf einem Link kann z.B. als Bruchteil, d.h. als Zahl zwischen 0 und 1 erfolgen.

Neben der Abbildung von GPS-Positionen auf das Straßennetz berechnet das HMM-Map Matching von Newson und Krumm jedoch kein Konfidenzmaß dafür, dass sich die GPS-Positionen tatsächlich auf den gematchten Links befinden. Eine Map Matching Konfidenz kann z.B. dafür genutzt werden zu entscheiden, ob eine erkannte Gefahrensituation an andere Fahrzeuge weitergegeben werden soll.

Die Druckschrift U.S. 5,774, 824 beschreibt beispielsweise ein Kartenanpassungs-Navigationssystem zum Überwachen von Fahrzeugzustandseigenschaften, einschließlich des Ortes eines Fahrzeugs auf einer Kartenroute. Das Kartenanpassungs-Navigationssystem kann in einem festen Modus arbeiten, in dem die Kartenroute von einem Benutzer eingegeben wird, oder in einem flexiblen Modus, in dem das Kartenanpassungsnavigationssystem die Kartenroute aus einer Vielzahl von gemessenen Punkten bestimmt, die dem Ort des Fahrzeugs entsprechen. Das Kartenanpassungsnavigationssystem aktualisiert zusätzlich den Ort des Fahrzeugs an einer Vielzahl von Positionen auf der Kartenroute, wobei der Fahrzeugstandort bekannt ist, mit einem erhöhten Vertrauensniveau.

Die Druckschrift beschreibt ein konventionelles Map Matching Verfahren und kann damit als eine mögliche Alternative zum Verfahren von Newson und Krumm angesehen werden. Innerhalb des Verfahrens werden Wahrscheinlichkeiten/Konfidenzen für Routenalternativen berechnet, allerdings nur um Routenabschnitte mit hoher Konfidenz für den Zweck des Map Matchings auszuwählen (analog zu Newson und Krumm). Eine Konfidenz dafür, dass ein Routenabschnitt innerhalb eines Zeitfensters befahren wurde, wird nicht berechnet.

Generell können lokale Gefahren, beispielsweise Unfälle oder Eisglätte, über Fahrzeugsensorik (z.B. Airbag, Fahrdynamiksensoren) erkannt und über eine Backend-Verbindung an andere Fahrzeuge übermittelt werden. Dazu übermitteln die Fahrzeuge eine Sequenz von GPS-Positionen (z.B. 10 GPS-Positionen vor und 10 GPS-Positionen nach der Detektion einer Gefahrensituation) an das Backend. Im Backend wird diese Sequenz von Positionen durch einen Map Matcher auf das Straßennetz abgebildet. Die Übertragung von mehreren GPS-Positionen statt nur von einer GPS-Position dient dazu, die Genauigkeit des Map Matchings zu verbessern. Mit Hilfe des Map Matchings kann so die genaue Position der

lokalen Gefahr auf der Straße bestimmt und andere Fahrzeuge mit einer möglichst genauen Positionsangabe der Gefahr gewarnt werden.

Es kann Fälle geben, in denen sich die genaue Position der Gefahr, insbesondere der Straßenlink mit der Gefahr, nicht eindeutig aus der Sequenz der GPS-Positionen bestimmen lässt. Wird die lokale Gefahr auf eine benachbarte, falsche Straße verortet und mit dieser falschen Position an weitere Fahrzeuge übertragen, führt dies dazu, dass die Position der Gefahr in nachfolgenden Fahrzeugen falsch angezeigt wird. Weitere Konsequenzen können sein, dass Fahrzeuge vor Gefahren gewarnt werden, die für sie nicht relevant sind (sog. False Positives), und dass Fahrzeuge vor Gefahren nicht gewarnt werden, obwohl diese für sie relevant sind (sog. False Negatives).

Insbesondere False Positives lassen sich durch eine Map Matching Konfidenz reduzieren. Im Stand der Technik wird nicht darauf eingegangen, dass existierende Map Matching-Algorithmen keine Konfidenz für das Map Matching-Ergebnis berechnen, insbesondere nicht mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Link durchfahren wurde.

Es besteht somit Bedarf an Systemen und Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz, die eine verbesserte Genauigkeit und Verlässlichkeit bereitstellen.

Im Gegensatz zu bekannten Verfahren, die auf Online Map Matching im Fahrzeug gerichtet sind, steht bei den vorliegend offenbarten Systemen und Verfahren Offline Map Matching im Backend im Vordergrund. Letzteres kann im Gegensatz zum Online Map Matching die gesamte GPS-Trajektorie verwenden, was insbesondere zu besseren Resultaten sowohl für das Map Matching als auch für die Konfidenzberechnung führt. Weiter sind die vorliegend offenbarten Systeme und Verfahren auch für Online Map Matching im Fahrzeug anwendbar.

Hierbei können zwei Arten des Offline Map Matchings unterschieden werden. Map Matching von längeren Fahrtabschnitten oder von vollständigen Fahrten (sog. Trace Map Matching) und Map Matching von kurzen Fahrtabschnitten (z.B. 10 oder 20 Positionen, sog. Mini-Trace Map Matching).

Das Mini-Trace Map Matching verbindet die Vorteile des Offline Map Matchings (höhere Genauigkeit durch zusätzliche Positionen vor und nach einer zu matchenden Position) und des Online Map Matchings (man erhält zeitnah Ergebnisse und muss nicht bis zum Ende der Fahrt warten). Eine eventuelle Verschlechterung der Genauigkeit gegenüber dem Map Matching

vollständiger Fahrten ist typischerweise nur unwesentlich, da beispielsweise 10 Positionen vor und nach einem Ereignis für die Verarbeitung ausreichend sind.

Bei nicht zeitkritischen Anwendungen ist es möglich, beispielsweise 10 Positionen vor und 10 Positionen nach einem Ereignis zu betrachten. Bei zeitkritischen Anwendungen würden
5 beispielsweise nur 10 Positionen vor einem Ereignis in Betrachtung gezogen. Eine verbesserte Genauigkeit gegenüber dem Online Map Matching ist dann typischerweise nicht zu erwarten.

Die Systeme und Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung sind im Wesentlichen auf das Trace Map Matching und das Mini-Trace Map Matching gerichtet.

Alle drei der vorgenannten Matching Arten (d.h. Trace, Mini-Trace und Online Map
10 Matching) können sowohl im Fahrzeug als auch im Backend durchgeführt werden, wobei im Backend vorzugsweise Offline Map Matching für vollständige Fahrten sowie Mini-Trace Matching verwendet wird. Im Fahrzeug hingegen kommt vorzugsweise Online Map Matching zur Anwendung.

Offenbarung der Erfindung

15 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, Systeme und Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz bereitzustellen, die einen oder mehrere der vorgenannten Nachteile vermeiden und/oder einen oder mehrere der beschriebenen Vorteile ermöglichen.

Es ist insbesondere Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, Systeme und Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz bereitzustellen, die eine verbesserte
20 Genauigkeit und Verlässlichkeit bieten.

Insbesondere durch Wahl einer geeigneten Mindestkonfidenz für einen gematchten Link, beispielsweise von einer erkannten lokalen Gefahr, lässt sich erfindungsgemäß so die Anzahl von Fällen reduzieren, in denen Fahrzeuge vor Gefahren gewarnt werden, obwohl diese für sie nicht relevant sind (sog. False Positives).

25 Die Vorteile der vorliegenden Offenbarung der Berechnung einer Map Matching-Konfidenz liegen jedoch nicht nur bei der Lokalisierung von lokalen Gefahrenwarnungen. So können viele Anwendungen, die einen Map Matcher verwenden, Vorteile aus einer Map Matching-Konfidenz ziehen. Weitere Beispiele für Map Matching-Anwendungen sind:

- Die Extraktion von Verkehrsflussinformationen aus GPS-Trajektorien
- Die Zuordnung von Attributen, die durch Sensorik erkannt oder durch Benutzer gemeldet wurden, zu Straßenlinks (z.B. erkannte Verkehrsschilder)
- Das automatisierte Ableiten von Verkehrsregeln (z.B. Linksabbiegeverbot) aus GPS-Trajektorien

HMM-basierte Map Matcher verwendet die Topologie und Geometrie des Straßennetzes sowie die gesamte Sequenz der GPS-Positionen um die wahrscheinlichste Sequenz von Links zu bestimmen. Die vorliegend offenbarten Systeme und Verfahren zur Berechnung der Map Matching Konfidenz basieren daher auf einer Weiterentwicklung des HMM-basierten Map Matchings.

Die vorgenannte Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und durch ein System nach Anspruch 9 sowie durch ein das System enthaltende Fahrzeug nach Anspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen. Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung.

In einem ersten Aspekt gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ist ein Verfahren zur Berechnung einer Map Matching Konfidenz angegeben. Das Verfahren umfasst: Erfassen einer Trajektorie; Erfassen von Netzdaten beinhaltend eine Vielzahl von Links eines Netzes; Erfassen eines oder mehrerer Datenpaare, wobei jedes der ein oder mehreren Datenpaare enthält: einen Link (l) aus der Vielzahl von Links; und ein Zeitfenster (w), dass zumindest einen Teil der Trajektorie erfasst. Das Verfahren umfasst weiter Ermitteln, für jedes der ein oder mehreren Datenpaare, einer Map Matching Konfidenz ($c(l,w)$) für den Link (l) des jeweiligen Datenpaares basierend auf: Ermitteln einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit; oder Ermitteln mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus, wobei die Map Matching Konfidenz konfiguriert ist, eine Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass der jeweilige Link (l) innerhalb des jeweiligen Zeitfensters (w) von der Trajektorie tangiert wurde.

In einem zweiten Aspekt nach dem vorhergehenden Aspekt 1 beinhaltet die Trajektorie eine Vielzahl von Positionsangaben. Jede Positionsangabe der Vielzahl von Positionsangaben beinhaltet: eine GPS-Position und einen Zeitstempel.

In einem dritten Aspekt nach dem vorhergehenden Aspekt 2, umfasst das Verfahren weiter Ermitteln von: ein oder mehreren Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe, vorzugsweise in Form von einem Paar aus dem Link (l) eines Datenpaares und einer Position auf dem Link (l); einer Beobachtungswahrscheinlichkeit für jeden der ein oder mehreren Matching-Kandidaten jeder Positionsangabe basierend auf einer Entfernung der Positionsangabe vom Link (l) des Matching-Kandidaten; und einer paarweisen Übergangswahrscheinlichkeit für jeden der ein oder mehreren Matching-Kandidaten in Bezug auf eine erste Positionsangabe (P1) und eine zur ersten Positionsangabe benachbarte zweite Positionsangabe (P2), wobei die Übergangswahrscheinlichkeit von jedem Matching-Kandidaten von der ersten Positionsangabe zu jedem Matching-Kandidaten von der zweiten Positionsangabe ermittelt wird.

In einem vierten Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 2 oder 3, umfasst das Verfahren weiter Bestimmen jedes Zeitfensters (w) der ein oder mehreren Datenpaare basierend auf: der gesamten Trajektorie, falls die Trajektorie eine vorbestimmte Dauer nicht überschreitet, vorzugsweise wobei die vorbestimmte Dauer weniger als 60 Sekunden, weiter vorzugsweise weniger als 30 Sekunden, beträgt; auf einem Intervall zwischen n Positionsangaben vor und k Positionsangaben nach einer Referenzpositionsangabe, vorzugsweise wobei n, k weniger als 10 betragen; auf einem Zeitintervall vor und nach einer Referenzpositionsangabe, vorzugsweise wobei das Zeitintervall weniger als 30 Sekunden, weiter vorzugsweise weniger als 15 Sekunden beträgt; oder einem Verhältnis zwischen einer Positionsangabe und dem entsprechenden Link (l) des jeweiligen Datenpaares, wobei das Verhältnis der Positionsangabe zum entsprechenden Link (l) dadurch definiert ist, dass der entsprechende Link (l) ein Kandidat für die Positionsangabe ist.

In einem fünften Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 4 in Verbindung mit Aspekt 3, umfasst Ermitteln einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit: Ermitteln einer jeweiligen a-posteriori Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) eines Datenpaares basierend auf der jeweiligen Beobachtungswahrscheinlichkeit und der jeweiligen Übergangswahrscheinlichkeit; und Ermitteln der maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit basierend auf dem Maximum aller a-posteriori Wahrscheinlichkeiten aller Matching-Kandidaten, die im jeweiligen Zeitfenster (w) auf dem Link (l) liegen; vorzugsweise wobei Ermitteln der maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit mittels Forward-Backward Algorithmus erfolgt.

In einem sechsten Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 5 umfasst Ermitteln mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus: Ermitteln für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, ob der Link (l) jeweils zwischen zwei Matching-Kandidaten benachbarter zugehöriger GPS-Positionen innerhalb des Zeitfensters (w) sicher befahren wurde oder befahren werden konnte; oder Ermitteln einer Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, dass der Link (l) jeweils zwischen zwei Matching-Kandidaten benachbarter zugehöriger GPS-Positionen innerhalb des Zeitfensters (w) befahren wurde; und Ermitteln einer Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, ob der Link (l) innerhalb des Zeitfensters (w) befahren wurde unter Verwendung von Beobachtungswahrscheinlichkeiten und Übergangswahrscheinlichkeiten; vorzugsweise mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus.

In einem siebten Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 6 verbinden ein oder mehrere Links der Vielzahl von Links des Netzes ein oder mehrere Knoten einer Vielzahl von Knoten des Netzes mit einander. Das Netz bildet vorzugsweise ein Verkehrsnetz ab. Weiter vorzugsweise repräsentiert jeder der Vielzahl von Links ein Segment eines Verkehrsweges und/oder jeder der Vielzahl von Knoten einen Kreuzungspunkt von Verkehrswegen.

In einem achten Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 7 in Verbindung mit Aspekt 3, beinhaltet jede Positionsangabe der Vielzahl von Positionsangaben weiter ein GPS-Heading und Ermitteln von ein oder mehreren Matching-Kandidaten umfasst: Ermitteln der ein oder mehreren Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe in Form von einem Tripel aus dem Link (l) eines Datenpaares, einer Position auf dem Link (l) und einer Richtung entlang des Links (l).

In einem neunten Aspekt nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 8 in Verbindung mit Aspekt 3, umfasst das Verfahren weiter: Ermitteln von einem zusätzlichen Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe, wobei der zusätzliche Matching-Kandidat sich nicht auf einem Link (l) der Vielzahl von Links des Netzes befindet; einer Beobachtungswahrscheinlichkeit für den zusätzlichen Matching-Kandidaten jeder Positionsangabe basierend auf einer Entfernung der Positionsangabe des Matching-Kandidaten; und einer paarweisen Übergangswahrscheinlichkeit für den zusätzlichen Matching-Kandidaten in Bezug auf die erste Positionsangabe (P1) und die zweite Positionsangabe (P2), wobei die Übergangswahrscheinlichkeit vom zusätzlichen Matching-

Kandidaten von der ersten Positionsangabe zu jedem Matching-Kandidaten von der zweiten Positionsangabe ermittelt wird.

In einem zehnten Aspekt ist ein System zur Ermittlung einer Map Matching-Konfidenz angegeben. Das System umfasst eine Steuereinheit, die konfiguriert ist zur Ausführung des
5 Verfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, insbesondere nach einem der vorhergehenden Aspekte 1 bis 9.

In einem elften Aspekt ist ein Fahrzeug angegeben. Das Fahrzeug umfasst ein System zur Ermittlung einer Map Matching-Konfidenz gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, insbesondere nach dem vorhergehenden Aspekt 10.

10

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Offenbarung sind in den Figuren dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. Dabei werden im Folgenden, sofern nicht anders vermerkt, für gleiche und gleichwirkende Elemente dieselben Bezugszeichen verwendet.

15

Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Systems gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung;

Figuren 2 und 3 illustrieren schematisch anhand einer Straßentopologie, die in mehrere Links aufgeteilt ist, wie ein Matching von GPS-Positionen auf Links eine Restunsicherheit beinhaltet;

Figur 4 illustriert schematisch eine Straße, die in mehrere Links aufgeteilt ist;

20

Figur 5 illustriert schematisch eine Straße mit einer Verzweigung, die in mehrere Links aufgeteilt ist;

Figur 6 illustriert schematisch anhand einer Straße, die in mehrere Links aufgeteilt ist, wie eine hohe Konfidenz für einen Link auf andere Links übertragen werden kann;

25

Figur 7 illustriert schematisch anhand einer Straße, die in mehrere Links aufgeteilt ist, wie eine Konfidenz für einen Link von der Anzahl erfasster GPS-Positionen abhängt; und

Figur 8 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

Ausführungsformen der Offenbarung

Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Systems 100 gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung zur Anwendung in einem Fahrzeug 80. Das System kann im Wesentlichen auf einer Steuereinheit 120 des Fahrzeugs 80 und/oder auf einer Backend-Komponente 150 (z.B. Backend-Server bzw. Backend-Services) ausgeführt werden. Das Fahrzeug 80 umfasst neben der Steuereinheit 120 weiter eine Kommunikationseinheit 130, die zur Datenkommunikation mit zum Fahrzeug 80 externen Komponenten (z.B. mobile Endgeräte 70 und Backend 150) konfiguriert ist, und eine Benutzerschnittstelle 110.

Die Benutzerschnittstelle 110 beinhaltet eine oder mehrere multimodale Benutzerschnittstellen, insbesondere Benutzerschnittstellen, die für die Bedienung des Fahrzeugs 80 konfiguriert sind (z.B. Navigation, Infotainment, Fahrzeugeinstellungen). Die Benutzerschnittstelle 110 ermöglicht die multimodale Erfassung von Eingaben eines Nutzers 60 (nicht in Figur 1 dargestellt), beispielsweise über eine grafische Benutzeroberfläche (z.B. Touchscreen), über klassische Bedienelemente des Fahrzeugs 80 (z.B. Knöpfe, Schalter, iDrive Controller), per Sprachsteuerung und dergleichen mehr. Die Benutzerschnittstelle 110 ermöglicht weiter die multimodale Ausgabe von Informationen an einen Nutzer 60, beispielsweise über eine grafische Anzeigeelemente (z.B. Touchscreen, Head-Up Display, Instrumentenkombi, zentrales Informationsdisplay bzw. CID), über taktile Elemente (z.B. Vibration des Lenkrads oder von Teilen des Sitzes), per Sprachausgabe über eine im Fahrzeug vorhandene Lautsprecheranlage (z.B. Infotainmentsystem) oder akustische Signalgeber (z.B. Gong, Piepser) und dergleichen mehr. Die Benutzerschnittstelle kann 110 basierend auf entsprechenden Konfigurationsdaten eine grafische Benutzerschnittstelle implementieren, in der Anzeigeelemente und Bedienungselemente dargestellt werden, die vom Nutzer 60 für die Bedienung des Fahrzeugs 80 genutzt werden können. Zusätzlich bzw. alternativ kann die Benutzerschnittstelle (weitere) Anzeige- und Bedienelemente beinhalten, beispielsweise Schalter, Knöpfe und Anzeigen.

Über die Kommunikationseinheit 130 kann das Steuergerät 120 mit externen Komponenten und Diensten in Datenkommunikation treten und so beispielsweise mit Backend Servern und/oder Backend Services 150 kommunizieren. Alternativ oder zusätzlich kann das Steuergerät 120 über die Kommunikationsschnittstelle 130 mit Apps, die beispielsweise auf einem mobilen Endgerät 70 eines Nutzers 60 installiert sind, in Datenkommunikation treten und so Eingaben vom Nutzer 60 über das mobile Endgerät 70 entgegen nehmen oder

Anwendungen nutzen, die auf dem Steuergerät nicht direkt implementiert sind oder anderweitig unterstützt werden. Eine Verbindung mit mobilen Endgeräten 70 kann beispielsweise durch gängige Schnittstellen (z.B. Kabelgebunden, Bluetooth, WiFi) erfolgen.

Weiter kann das System 100 eine zum Fahrzeug 80 externe Backend Komponente 150 oder
5 Infrastruktur aufweisen, die ein oder mehrere Ressourcen (z.B. Server, Dienste/Services) bereitstellt. Die Backend Komponente 150 kann zeitweise oder dauerhaft mit dem Steuergerät 120 des Fahrzeugs 80 in Datenkommunikation 140 stehen. Vorzugsweise können ressourcenintensive Verarbeitungsschritte an die externe Backend Komponente 150 ausgelagert werden, die durch die Steuereinheit 120 im Fahrzeug 80 nur schwer oder gar nicht
10 vorgenommen werden könnten. Hierbei kann auch auf eventuelle Anforderungen bzgl. Rechenleistung, Speicherleistung, verfügbarer Bandbreite, Anbindung an externe Datenquellen und dergleichen mehr, Rücksicht genommen werden.

In einigen Anwendungsfällen kann die Verwendung eines Backends bzw. die Verarbeitung durch ein Backend aus datenschutzrechtlichen Gründen nachteilig sein. Ein Beispiel dafür ist
15 das personalisierte Lernen von Ereignissen wie die Aktivierung von Fahrerassistenz- oder Infotainment-Funktionen durch den Fahrer an gleichen Orten. Ein Beispiel hierfür wäre die Verwendung der sogenannten „Side-View“ Funktion an einer bestimmten Kreuzung oder Einmündung. Die „Side-View“ Funktion erlaubt eine visuelle Erfassung des Querverkehrs an Einmündungen bzw. Ausfahrten, Parklücken und dergleichen mehr durch den Fahrer mittels
20 in der Front des Fahrzeug vorhandenen Kameras, die seitlich ausgerichtet sind. Eine Aktivierung bzw. Nutzung dieser Funktion erlaubt insbesondere eine sehr genaue Lokalisierung von Einmündungen bzw. Kreuzungen und Kreuzungspunkten.

Für solche Anwendungen kann vorgesehen sein, die GPS-Position der Side-View Aktivierungen mit Mini-Trace Matching im Fahrzeug auf einen Link zu matchen und später
25 mit Online Map Matching festzustellen ob sich der Fahrer auf dem entsprechenden Link befindet bzw. auf diesen zufährt.

Vorliegend wird davon ausgegangen, dass der Nutzer sich in einem Fahrzeug 80 befindet und eine Route befährt, die eine Vielzahl von Links, d.h. Teile oder Segmente der Route beinhaltet. Hierbei ist die Anwendung im Fahrzeug beispielhaft und die vorliegend
30 offenbarten Systeme und Verfahren auf jede Art der Navigation, beispielsweise zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit öffentlichen Verkehrsmitteln, mit ein oder mehrspurigen Kraftfahrzeugen,

Wasserfahrzeugen, oder Luftfahrzeugen und dergleichen mehr möglich. Der Nutzer bzw. sein Fahrzeug bewegen sich demnach entlang einer GPS-Trajektorie, die eine Vielzahl von GPS-Positionen beinhaltet, die über den Verlauf einer Route erreicht werden. Hierbei kann die Anzahl der GPS-Positionen, die Intervalle bzw. Abstände dazwischen, und deren Genauigkeit schwanken. Es erfolgt dann eine Zuordnung von erfassten GPS-Positionen zu einem oder mehreren Links der Route, wofür die Map Matching Konfidenz relevant ist.

Zusätzlich zur Zuordnung von GPS-Positionen zu Links kann Map Matching auch dazu verwendet werden um die Sequenz aller Links zu bestimmen, über die ein Fahrzeug gefahren ist. Das ist insbesondere bei GPS-Trajektorien mit großen zeitlichen/räumlichen Abständen zwischen den GPS-Positionen relevant. In einigen Ausführungsformen ist daher vorgesehen, zwischen einzelnen Matchings die schnellste Route zu ermitteln. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn zwischen GPS-Positionen ein derart großer Abstand besteht, dass die dazwischen befahrenen Links nicht notwendigerweise eindeutig ermittelbar sind. Die Ermittlung der schnellsten (bzw. kürzesten, oder einer nach anderen Kriterien optimierten) Route erlaubt in solchen Fällen, den oder die Links zu ermitteln, die der größten Wahrscheinlichkeit nach befahren wurden.

Im Kontext der vorliegenden Offenbarung wird angenommen, dass zu einem oder mehreren Links Zusatzinformationen über Merkmale vorliegen können, insbesondere über Gefahrensituationen oder andere wichtige Ereignisse, sodass eine möglichst präzise Zuordnung der Merkmale zu einzelnen Links notwendig ist bzw. wird. Hierbei ist insbesondere eine hohe Verlässlichkeit der Zuordnung einer GPS-Position zu einem oder mehreren Links von Interesse. Die Anwendung im Hinblick auf lokale Gefahrenwarnung beinhaltet im Wesentlichen zwei Probleme. Zum Einen müssen von Fahrzeugen erkannte Ereignisse (z.B. Gefahren) auf die korrekten Links gematcht werden. Zum anderen muss die jeweilige aktuelle Position von (anderen) Fahrzeugen auf die korrekten Links gematcht werden, sodass diese dann gegebenenfalls vor Ereignissen, die auf deren Route liegen, gewarnt werden können.

Damit die Anwendung für vorausschauende Gefahrenwarnung funktioniert, müssen zumindest diese beiden vorgenannten Probleme mit hinreichender Genauigkeit gelöst werden, wobei die Konfidenzberechnung bei beiden Problemen nützlich ist. Dies ist insbesondere dann vonnöten, wenn eventuelle Gefahren nicht nur grob auf einer Karte angezeigt werden sollen. Im letztgenannten Fall wäre eine genaue Lokalisierung nicht übermäßig wichtig,

aufgrund der mangelnden räumlichen Auflösung der Karte und der nachfolgenden Interpretation des Nutzers. Darüber hinaus wäre es denkbar, eine zusätzliche Wahrscheinlichkeit bzw. Konfidenz dafür zu berechnen, dass das Fahrzeug von seiner aktuell gematchten Position an der Gefahrenstelle vorbeifahren wird (ggf. unter Berücksichtigung einer geplanten Route und der Straßentopologie). Diese zusätzliche Wahrscheinlichkeit könnte dann zur weiteren Verarbeitung der Informationen und letztlich für die Gefahrenwarnung verwendet werden. Im Falle von bestimmten Anwendungen, beispielsweise wenn die Information nicht von Fahrzeugen detektiert wird, sondern bereits mit ausreichender Genauigkeit in der Karte im Fahrzeug vorliegt (z.B. Blitzerwarner mit 3rd Party Content), ist es möglich, sich auf das zweite Problem (Gefahrenwarnung) zu konzentrieren.

Die Figuren 2 und 3 illustrieren schematisch anhand einer Straßentopologie 50, deren Straßen in mehrere Links 60-1, 60-2, 60-5, 60-6, 60-3 (letzterer nur in Figur 3) aufgeteilt sind, wie ein Matching von GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 auf Links 60-1, 60-2, 60-5, 60-6, 60-3 (letzterer nur in Figur 3) eine Restunsicherheit beinhaltet. Figur 2 zeigt eine Situation, in der für alle drei GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 unter Berücksichtigung der Straßentopologie und -geometrie nicht mit hoher Sicherheit bestimmt werden kann auf welchen Link 60-1, 60-2 bzw. 60-5, 60-6 diese gematcht werden sollten. In der Konsequenz sollten die gematchten Positionen 80-1, 80-2, 80-3 eine niedrige Map Matching Konfidenz haben, im Beispiel ist eine Link-Konfidenz von 60% (oder 0.6) angegeben.

Figur 3 zeigt, dass wenn dieses Beispiel um eine weitere GPS-Position 70-4 und eine weitere gematchte Position 80-4 erweitert wird (rechts unten in Figur 3), dann ändert sich die Situation für alle anderen GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3. Da die GPS-Position 70-4 mit großer Wahrscheinlichkeit einem Link 60-3 zugeordnet werden kann (vgl. gematchte Position 80-4), können auch alle anderen GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 mit hoher Konfidenz den gematchten Links 60-1, 60-2 zugeordnet werden (vgl. gematchte Positionen 80-1, 80-2, 80-3).

Das Ziel der Map Matching-Konfidenz ist die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass für eine gegebene GPS-Trajektorie ein Link l in einem gegebenen Zeitfenster w befahren wurde. Da sich die Map Matching-Konfidenz nach dieser Definition auf einen bestimmten Link bezieht, wird diese im Folgenden auch als Link-Konfidenz bezeichnet.

Der Link l kann beispielsweise der Link sein, der durch das Map Matching einem Ereignis, beispielsweise eine erfasste Eisglätte (vgl. „Gefahrensituation“), zugeordnet wurde. Dies kann

dadurch geschehen, dass es zu dem Ereignis eine GPS-Position gibt, die auf einen Link gematcht wurde. Häufig ist aber nur der Zeitstempel für das Eintreten des Ereignisses bekannt und der Link des Ereignisses muss durch die gematchten Links der benachbarten GPS-Positionen und ggf. durch Berechnung einer Route zwischen diesen Links bestimmt werden.

- 5 Die Verwendung eines Zeitfensters w statt eines Zeitpunkts ist sinnvoll, da die Konfidenz für einen Link in manchen Situationen so erhöht werden kann.

Figur 4 illustriert schematisch eine Straße 50, die in mehrere Links 60-1, 60-2 aufgeteilt ist. Weiterhin befindet sich die mittlere GPS-Position 70-2 genau an der Grenze zwischen zwei benachbarten Links 60-1, 60-2. In diesem Fall hätten beide Links 60-1, 60-2 zum Zeitpunkt
10 der mittleren GPS-Position eine Link-Konfidenz von 50%, da beide Links gleichermaßen gut als Kandidaten in Frage kommen. Über alle drei GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 betrachtet, wäre jedoch die Link-Konfidenz für beide Links 60-1, 60-2 bei 100%, da beide Links 60-1, 60-2 sicher befahren wurden. Die Links wurden deshalb sicher befahren, da für die erste und letzte GPS-Position nur ein Link in Frage kommt (wenn Off-Road-Matches nicht
15 berücksichtigt werden, siehe unten). Die genaue Vorschrift, wie die einzelnen Konfidenzen zu berechnen sind, wird unten genauer dargelegt. Die Konfidenzen in den Beispielen dienen zunächst nur zur beispielhaften Veranschaulichung des Verfahrens.

Figur 5 illustriert schematisch eine Straße 50 mit einer Verzweigung, die in mehrere Links 60-1, 60-2, 60-3 aufgeteilt ist. GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 sind analog den GPS-
20 Positionen in Figur 4 dargestellt. Positionen 80-1, 80-2, 80-3 werden auf die Links 60-1, 60-2 der Straße 50 gematcht. Bei manchen Kartenmodellierungen gibt es nur Knoten mit mehr als zwei anliegenden Kanten, d.h. Links können nur an Kreuzungen enden. Die Konfidenzberechnung über Zeitfenster kann jedoch auch bei diesen Kartenmodellierungen die Konfidenz in bestimmten Situationen erhöhen, wie in Figur 5 dargestellt ist. Hier ist die Link-
25 Konfidenz für Link 60-2 (rechts) zum Zeitpunkt der mittleren GPS-Position nur knapp größer als 50%. Über alle drei GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 betrachtet, ist die Link-Konfidenz für Link 60-1 (links) und Link 60-2 (rechts) jedoch 100%.

Es gibt mehrere Alternativen dafür, wie die Wahl des Zeitfensters erfolgen kann.

1. Bei kurzen GPS-Trajektorien (z.B. 20 Sekunden) kann als Zeitfenster die gesamte
30 GPS-Trajektorie gewählt werden. Bei langen GPS-Trajektorien ist dagegen die

Einengung des Zeitfensters sinnvoll, da es von Interesse ist, wann ein Link durchfahren wurde.

2. Das Zeitfenster kann durch das Intervall zwischen zwei GPS-Positionen definiert werden, beispielsweise durch das Zeitfenster zwischen der dritten und der fünften GPS-Position. Soll die Link-Konfidenz für alle gemachten GPS-Positionen berechnet werden, kann das Zeitfenster z.B. jeweils k Positionen vor und nach der gemachten GPS-Position umfassen. Am Anfang und am Ende der GPS-Trajektorie enthält das Zeitfenster dann entsprechend weniger GPS-Positionen.
3. Das Zeitfenster kann zeitlich relativ zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert werden, z.B. 5 s vor bis 5 s nach dem Erkennen einer lokalen Gefahr. Dies setzt jedoch voraus, dass die GPS-Positionen Zeitstempel haben und erfordert, dass die Position auf der Straße zu Beginn/Ende des Zeitfensters geschätzt wird. Die Positionsschätzung kann durch Erzeugen weiterer GPS-Positionen zu Beginn/Ende des Zeitfensters durch Interpolation der benachbarten GPS-Positionen erfolgen. Eine verbesserte Positionsschätzung für Beginn bzw. Ende des Zeitfensters ist nachstehend in Bezug auf die zweite Ausführungsform beschrieben. Die verbesserte Methode ist jedoch nur für den modifizierten Forward-Algorithmus anwendbar.
4. Das Zeitfenster kann dadurch bestimmt werden, indem beim gemachten Link an einer GPS-Position gestartet und von dort solange vorwärts und rückwärts in der GPS-Trajektorie gegangen wird, bis der Link kein Kandidat mehr ist. Dies kann auch mit den beiden vorhergehenden Methoden kombiniert werden, um das Zeitfenster zusätzlich zu begrenzen.

Der vorliegend offenbarte Algorithmus berechnet aus Inputdaten zunächst weitere Daten basierend darauf kann dann mit zwei alternativen Ansätzen (vgl. nachstehend beschriebene erste und zweite Ausführungsformen) die Konfidenz berechnet werden.

Als Eingabedaten für die Konfidenzberechnung werden benötigt:

- Die GPS-Trajektorie bestehend aus n GPS-Positionen. Optional kann für jede GPS-Position ein Zeitstempel und/oder ein GPS-Heading vorgesehen sein.
- Eine Liste von $\langle l_i, w_i \rangle$ Paaren wobei l_i die Links sind für die die Link-Konfidenz berechnet werden soll und w_i die zugehörigen Zeitfenster.

Die Link-Konfidenz wird dann für alle l_i berechnet.

In der Praxis wird die Link-Konfidenz häufig nur für die gematchten Links berechnet. Für das Beispiel der Erkennung von lokalen Gefahren wäre die Berechnung der Link-Konfidenz sogar nur für den gematchten Link der lokalen Gefahr ausreichend.

Zunächst werden aus den Eingabedaten sowie aus den Daten der digitalen Karte weitere
5 Daten berechnet:

- Für jede GPS-Position wird eine Menge von Matching-Kandidaten berechnet. Ein Kandidat ist (analog zu Newson und Krumm) als das Paar <Link, Position auf Link> definiert. Kandidaten können (analog zu Newson und Krumm) berechnet werden, indem das Lot von der GPS-Position auf alle Links in einem Umkreis (z.B. 100 m)
10 gefällt wird. Es ist aber auch möglich, mehrere Kandidaten pro Link zu generieren, was die Map Matching-Genauigkeit zu Lasten des Rechenaufwands erhöht. Die Berechnung der Link-Konfidenz über ein Zeitfenster wird bei dieser Variante wichtiger, da sich für jede GPS-Position die Gesamtkonfidenz von 100% sonst über noch mehr Kandidaten aufteilen würde (siehe oben). Die optionale Berechnung von
15 mehreren Kandidaten pro Link stellt eine Erweiterung gegenüber dem Verfahren von Newson und Krumm dar.
- Für alle Kandidaten einer GPS-Position wird eine Beobachtungswahrscheinlichkeit berechnet, z.B. unter Berücksichtigung der Entfernung zwischen GPS-Position und Kandidat (analog zu Newson und Krumm). Es kann außerdem die Heading-Differenz
20 zwischen Input-Heading und Heading des Links berücksichtigt werden, z.B. indem eine Normalverteilung für die Heading-Differenz angenommen wird. Dies stellt ebenfalls eine Erweiterung gegenüber dem Verfahren von Newson und Krumm dar.
- Für alle Kandidaten von benachbarten GPS-Positionen P1 und P2 wird paarweise eine Übergangswahrscheinlichkeit von jedem Kandidaten von P1 zu jedem Kandidaten von
25 P2 berechnet, z.B. unter Berücksichtigung der Länge oder Zeit auf der kürzesten oder schnellsten Route zwischen beiden Kandidaten. Dies kann analog zu Newson und Krumm oder in modifizierter Weise erfolgen. Newson und Krumm verwenden eine Exponentialverteilung zur Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten. Abweichend davon können beim Map Matcher gemäß der vorliegenden Offenbarung
30 Übergangswahrscheinlichkeiten optional (zusätzlich) basierend auf Normalverteilungen berechnet werden. Je nach den zu matchenden Daten (Genauigkeit der GPS-Positionen und zeitliche Abstände zwischen den GPS-

Positionen) kann der Ansatz im Detail optimiert werden. Dies kann in der Praxis erfordern, dass die Parameter der zu verwendenden Verteilung für die zu matchenden Daten justiert werden. Generell besteht für Map Matching Anwendungen innerhalb des Hidden Markov Modells ein gewisser Spielraum, wie genau Übergangs- und Beobachtungswahrscheinlichkeiten berechnet werden. Dieser Spielraum kann für Optimierungen entsprechend genutzt werden.

Diese Daten werden auch für einen HMM-basierten Map Matching-Algorithmus analog zu Newson und Krumm benötigt und durch den Map Matching-Algorithmus berechnet. Die Konfidenz-Berechnung erfolgt nach dem eigentlichen Map Matching und baut auf den vom Map Matching-Algorithmus berechneten beschriebenen Beobachtungs- und Übergangswahrscheinlichkeiten auf. Es ist jedoch auch möglich, die Konfidenzberechnung ohne den Map Matching-Algorithmus auszuführen, beispielsweise für alle Kandidaten.

Eine erste Ausführungsform basiert auf einer maximalen a-posteriori-Wahrscheinlichkeit.

Zunächst werden mit dem Forward-Backward Algorithmus die A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten aller Kandidaten-Links l_i mit Hilfe der vorstehend beschriebenen Beobachtungs- und Übergangswahrscheinlichkeiten berechnet. Der Forward-Backward Algorithmus ist beispielsweise in Stuart Russell, Peter Norvig: „Artificial Intelligence A Modern Approach 3rd Edition“, Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Education/Prentice-Hall, (2010), beschrieben.

Als Anfangsverteilung für die Kandidaten der ersten GPS-Position ist es sinnvoll, eine diskrete Gleichverteilung anzunehmen, d.h. jeder Kandidat hat die gleiche A-priori Wahrscheinlichkeit. Alternativ können analog zu Newson und Krumm die Beobachtungswahrscheinlichkeiten für die erste GPS-Position als Anfangsverteilung verwendet werden. Allerdings müssen die Beobachtungswahrscheinlichkeiten dann noch normiert werden. Beide Alternativen sind mathematisch äquivalent.

Die Link-Konfidenz l_i für das Zeitfenster w_i ergibt sich dann aus dem Maximum der A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten über alle Kandidaten, die im Zeitfenster w_i auf dem Link l_i liegen.

Figur 6 illustriert schematisch anhand einer Straße 50, die in mehrere Links 60-1, 60-2, 60-3 aufgeteilt ist, wie eine hohe Konfidenz für einen Link 60-2 auf andere Links 60-1 und 60-3

übertragen werden kann. Die Verwendung des Forward-Backward Algorithmus ermöglicht, dass alle GPS-Positionen der gesamten GPS-Trajektorie in die Berechnung der A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten einfließen. Damit kann, wie in Figur 6 dargestellt, eine hohe Konfidenz für einen Link, im Beispiel Link 60-2, auch auf andere Links, im Beispiel 60-1 und 60-3, übertragen werden.

Im in Figur 6 illustrierten Beispiel umfasst das Zeitfenster w alle drei GPS-Positionen 70-1, 70-2, 70-3 und die die Link-Konfidenz für den zweiten Link 60-2 ist $\max\{0.52, 1, 0.52\} = 1$ (bzw. 100%). Wurde beispielsweise an der ersten GPS-Position 70-1 ein Ereignis erkannt, dann kann dieses Ereignis mit einer Konfidenz von 100% auf den Anfang des zweiten Links 60-2 verortet werden. Dies beruht darauf, dass der zweite Link 60-2 mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% im Zeitfenster w überfahren wurde, auch wenn nur zu 52% sicher ist, dass dies genau zum Zeitpunkt der ersten GPS-Position 70-1 passierte.

Figur 7 illustriert schematisch anhand einer Straße 50, die in mehrere Links 60-1, 60-2, 60-3 aufgeteilt ist, wie eine Konfidenz für einen Link 60-2 von der Anzahl erfasster GPS-Positionen abhängt. Der Ansatz der ersten Ausführungsform, basierend auf einer maximalen a-posteriori-Wahrscheinlichkeit, funktioniert gut, wenn es mehrere GPS-Positionen (im Beispiel 70-1, 70-2 und 70-3) pro Link (im Beispiel 60-2) gibt. Bei GPS-Trajektorien mit großen zeitlichen bzw. räumlichen Abständen zwischen den GPS-Positionen besteht das Problem, dass bei GPS-Positionen in der Nähe von Knoten die Konfidenz in unerwünschter Weise reduziert wird. So ist die Link-Konfidenz für den zweiten Link 60-2 im in Figur 7 illustrierten Beispiel nur 52%, obwohl der zweite Link 60-2 sicher überfahren wurde.

Verfahren und Systeme gemäß der vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsform stellen, auch im Vergleich zur im Folgenden beschriebenen zweiten Ausführungsform, Vorteile hinsichtlich einer besonders effizienten Berechnung bereit, insbesondere wenn eine Vielzahl von Link-Konfidenzen für eine GPS-Trajektorie berechnet werden soll.

Eine zweite Ausführungsform basiert auf einem modifizierten Forward-Algorithmus. Die zweite Ausführungsform erlaubt im Vergleich zur ersten Ausführungsform Vorteile hinsichtlich der Präzision der Berechnungen, insbesondere bei GPS-Trajektorien mit großen zeitlichen bzw. räumlichen Abständen zwischen den GPS-Positionen.

Gemäß der zweiten Ausführungsform wird die Link-Konfidenz $c(l;w)$ für einen Link l und ein Zeitfenster w mit einer modifizierten Form des Forward-Algorithmus berechnet. Hierzu gelten folgende Definitionen:

- $t=1..n$ ist die fortlaufend nummerierte GPS-Position (= der Zeitschritt)
- 5 • x_t ist der Zustand (hidden state) im Zeitschritt t . Als Zustand kommen alle Kandidaten für diesen Zeitschritt in Frage (siehe Kapitel 3).
- y_t ist die Beobachtung, d.h. die GPS-Position und ggf. das Fahrzeug-Heading, im Zeitschritt t .
- Die Zufallsvariable L_t^j ist die Menge der Links, die zwischen Zeitschritt i und
10 Zeitschritt j durchfahren wurden. Diese beinhalten auch die Links zwischen den jeweiligen Kandidaten, die beispielsweise durch kürzeste oder schnellste Routen zwischen den Kandidaten ermittelt werden können.
- Das Zeitfenster ist im Folgenden als $w=(s;e)$ definiert, wobei s die erste und e die
15 letzte GPS-Position des Zeitfensters ist. Es wird nachstehend der Fall betrachtet, dass das Zeitfenster relativ zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert ist, z.B. 5 s vor bis 5 s nach dem Erkennen eines Ereignisses.

Die Link-Konfidenz $c(l;w)$ ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass der Link l im Zeitfenster $w=(s;e)$ überfahren wurde, gegeben alle GPS-Positionen der Trajektorie:

$$c(l, w) = p(l \in L_s^e \mid y_{1:n}). \quad (1)$$

Prinzipiell wird $c(l;w)$ über die Gegenwahrscheinlichkeit berechnet:

$$c(l, w) = 1 - p(l \notin L_s^e \mid y_{1:n}). \quad (2)$$

- 20 Für die weitere Herleitung der Berechnung betrachten wir zunächst den Fall, dass das Zeitfenster w die gesamte GPS-Trajektorie umfasst, d.h. $w=(0;n)$. Nachstehend wird auf den allgemeinen Fall $w=(s;e)$ eingegangen.

Analog zum Forward-Algorithmus berechnet der Algorithmus iterativ für jeden Zeitschritt $t=1..n$ und jeden Kandidat x_t des jeweiligen Zeitschritts die Wahrscheinlichkeit (Joint
25 Probability)

$$\alpha_t(x_t) = p(x_t, l \notin L_1^t, y_{1:t}). \quad (3)$$

Dies ist die Wahrscheinlichkeit im Zeitschritt t im Zustand x_t zu sein, den Link l bis zum Zeitschritt t nicht durchfahren zu haben und die aufgezeichneten GPS-Positionen bis zum Zeitschritt t beobachtet zu haben.

Die Berechnung der $\alpha_t(x_t)$ kann nach folgender Herleitung iterativ erfolgen: Aus Gleichung

5 (3) ergibt sich nach dem Gesetz der totalen Wahrscheinlichkeit:

$$\alpha_t(x_t) = \sum_{x_{t-1}} p(x_t, l \notin L_1^t, x_{t-1}, y_{1:t}). \quad (4)$$

Durch Anwendung der Chain Rule ergibt sich (Hinweis: hierbei wird die Formel von unten nach oben gelesen)

$$\begin{aligned} \alpha_t(x_t) = \sum_{x_{t-1}} & p(y_t \mid x_t, x_{t-1}, l \notin L_1^t, y_{1:t-1}) \\ & p(l \notin L_{t-1}^t \mid x_t, x_{t-1}, l \notin L_1^{t-1}, y_{1:t-1}) \\ & p(x_t \mid x_{t-1}, l \notin L_1^{t-1}, y_{1:t-1}) \\ & p(x_{t-1}, l \notin L_1^{t-1}, y_{1:t-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

Dies entspricht dem Anwenden der Chain Rule zur Herleitung des Forward-Algorithmus mit der zusätzlichen Bedingung, dass der Link l bis zum Zeitschritt t nicht durchfahren wurde.

10 Um die obige Formel zu vereinfachen, nutzen wir die HMM-Annahmen, dass y_t nur von x_t abhängt und x_t nur von x_{t-1} abhängt. Weiterhin nehmen wir an, dass

$$p(l \notin L_{t-1}^t \mid x_t, x_{t-1}, l \notin L_1^{t-1}, y_{1:t-1}) = p(l \notin L_{t-1}^t \mid x_t, x_{t-1}),$$

d.h. ob der Link l von x_{t-1} nach x_t durchfahren wurde, ist unabhängig davon, ob l zuvor durchfahren wurde und welche GPS-Positionen zuvor beobachtet wurden. Aus diesen

15 Annahmen folgt

$$\alpha_t(x_t) = p(y_t \mid x_t) \sum_{x_{t-1}} p(l \notin L_{t-1}^t \mid x_t, x_{t-1}) p(x_t \mid x_{t-1}) \alpha_{t-1}(x_{t-1}). \quad (6)$$

Dabei sind $p(y_t|x_t)$ die Beobachtungswahrscheinlichkeiten und $p(x_t|x_{t-1})$ die Übergangswahrscheinlichkeiten, die zuvor durch den Map Matching-Algorithmus oder eigenständig berechnet werden (wie vorstehend beschrieben).

- 5 Weiterhin ist $p(l \notin L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1})$ die Wahrscheinlichkeit, dass l nicht zwischen x_{t-1} und x_t befahren wurde. Diese Wahrscheinlichkeit kann wie folgt berechnet werden, wobei aus Gründen der Lesbarkeit die Gegenwahrscheinlichkeit $p(l \in L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1}) = 1 - p(l \notin L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1})$ verwendet wird.

$$p(l \in L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1}) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } l \text{ auf der kürzesten/schnellsten Route von } x_{t-1} \text{ zu } x_t \text{ liegt} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (7)$$

- 10 Dabei ist zu beachten, dass der tatsächliche Pfad zwischen x_{t-1} und x_t nicht bekannt ist und die Verwendung der kürzesten/schnellsten Route zwischen den Kandidaten zu einer Approximation der Link-Konfidenz führt. Für manche Anwendungen ist daher eine konservative Berechnung der Link-Konfidenz durch eine untere Schranke sinnvoller. Diese kann wie folgt berechnet werden:

$$p(l \in L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1}) = \begin{cases} 1, & \text{wenn alle Routen, die es von } x_{t-1} \text{ zu } x_t \text{ gibt, durch } l \text{ führen} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (8)$$

- 15 Dabei kann zusätzlich berücksichtigt werden, welche Routen zwischen x_{t-1} zu x_t mit einer angenommenen Höchstgeschwindigkeit überhaupt möglich sind.

Eine leichter zu berechnende, jedoch weniger enge, untere Schranke ist

$$p(l \in L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1}) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } x_{t-1} \text{ oder } x_t \text{ auf } l \text{ liegen} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (9)$$

- 20 Eine weitere Möglichkeit ist die Wahrscheinlichkeit aus GPS-Trajektorien historischer Fahrten zu ermitteln, d.h. $p(l \in L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1})$ ergibt sich aus

$$\frac{\text{Anzahl der Fahrten über } x_{t-1} \text{ und } x_t, \text{ bei denen Link } l \text{ überfahren wurde}}{\text{Anzahl der Fahrten über } x_{t-1} \text{ und } x_t} \quad (10)$$

Die Startwerte $\alpha_1(x_1)$ können nach Gleichung (3) wie folgt berechnet werden. Dabei können die x_l als gleichverteilt angenommen werden (vgl. auch die erste Ausführungsform).

$$\alpha_1(x_1) = p(x_1, l \notin L_1^1, y_1) = p(l \notin L_1^1 | x_1)p(y_1 | x_1)p(x_1) \quad (11)$$

Die Link-Konfidenz für das Zeitfenster $w_0=(l;n)$ ergibt sich dann aus

$$c(l, w_0) = 1 - p(l \notin L_1^n | y_{1:n}) = 1 - \frac{\sum_{x_n} \alpha_n(x_n)}{p(y_{1:n})}. \quad (12)$$

Die Berechnung von $p(y_{1:n})$ kann durch den normalen Forward-Algorithmus erfolgen und muss bei der Berechnung mehrerer Link-Konfidenzen nur einmal erfolgen.

Im Hinblick auf die numerische Stabilität bei der Berechnung ist zu beachten, dass die $\alpha_t(x_t)$ mit zunehmenden Iterationen sehr klein werden. Eine Alternative ist daher mit logarithmischen Wahrscheinlichkeiten zu arbeiten. Eine andere Alternative besteht darin $p(x_t, l \notin L_1^t | y_{1:t})$ in jedem Schritt zu berechnen. Auch wenn damit die Berechnung von $p(y_{1:n})$ am Schluss entfällt, stellt dies einen höheren Rechenaufwand dar.

Im Folgenden ist die Berechnung der Link-Konfidenz für allgemeine Zeitfenster $w=(s;e)$ beschrieben, wobei s ist die erste und e ist die letzte GPS-Position des Zeitfensters ist. Dies deckt die 2. und die 4. Definition von Zeitfenstern (siehe oben) ab.

Die Berechnung erfolgt in 3 Phasen, jeweils eine Phase vor, während und nach dem Zeitfenster. Dabei muss nur in der Phase während des Zeitfensters überprüft werden, ob der Link l überfahren wurde. Die Ergebnisse einer Phase werden als Startwerte für die nächste Phase genutzt. In der ersten Phase werden die $\alpha_s(x_s) = p(x_s, y_{1:s})$ mit dem normalen Forward-Algorithmus berechnet. In der zweiten Phase werden die $\alpha_e(x_e) = p(x_e, l \notin L_s^e | y_{1:e})$ mit dem oben beschriebenen modifizierten Forward-Algorithmus berechnet. In der dritten Phase werden schließlich die $\alpha_n(x_n) = p(x_n, l \notin L_s^e | y_{1:n})$ wieder mit dem normalen Forward-Algorithmus berechnet. Die Link-Konfidenz $c(l;w)$ ergibt sich analog zu Gleichung (12) dann aus

$$c(l, w) = 1 - p(l \notin L_s^e | y_{1:n}) = 1 - \frac{\sum_{x_n} \alpha_n(x_n)}{p(y_{1:n})}. \quad (13)$$

Bei der Berechnung von m Link-Konfidenzen mit unterschiedlichen Zeitfenstern $w_1 = (s_1; e_1), \dots, w_m = (s_m; e_m)$ braucht die erste Phase für alle Zeitfenster nur einmal berechnet zu werden. Dabei werden die $\alpha_t(x_t)$ für $t = 1, \dots, \max(s_1, \dots, s_m)$ mit dem normalen Forward-Algorithmus berechnet.

- 5 Für den Fall, dass das Zeitfenster relativ zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert ist, z.B. 5 Sekunden vor bis 5 Sekunden nach dem Erkennen eines Ereignis (siehe oben, 3. Definition von Zeitfenstern), so muss die Berechnung von $p(l \notin L_{t-1}^t | x_t, x_{t-1})$ für die Fälle angepasst werden, in denen Beginn/Ende des Zeitfensters zwischen x_{t-1} und x_t liegt. So können die Gleichungen (7), (8) und (10) angepasst werden, indem die Position zum Beginn/Ende des
- 10 Zeitfensters entlang der kürzesten/schnellsten Route (7), der möglichen Routen (8) und entlang der historischen Fahrten (10) geschätzt wird. Bei der konservativen Abschätzung der Konfidenz in Gleichung (9) wird dagegen entweder für x_t oder x_{t-1} (je nachdem welcher Zustand im Zeitfenster liegt) geprüft, ob diese auf dem Link l liegen.

- Figur 8 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens 200 gemäß Ausführungsformen der
- 15 vorliegenden Offenbarung. Das Verfahren 200 beginnt bei Schritt 201.

In Schritt 202 wird eine Trajektorie erfasst. Die Trajektorie beinhaltet vorzugsweise eine Vielzahl von Positionsangaben, wobei jede Positionsangabe der Vielzahl von Positionsangaben weiter vorzugsweise eine GPS-Position (z.B. 70-1, 70-2, 70-3; siehe Figuren) und einen Zeitstempel beinhaltet.

- 20 In Schritt 204 werden Netzdaten beinhaltend eine Vielzahl von Links eines Netzes erfasst. Ein Netz besteht vorzugsweise aus einer Vielzahl von Links l (z.B. 60-1, 60-2, 60-3; siehe Figuren), die eine Vielzahl von Knoten miteinander verbindet. Das Netz kann in bekannter Weise als Graph modelliert werden (siehe oben).

- In Schritt 206 werden ein oder mehrere Datenpaare erfasst. Jedes der ein oder mehreren
- 25 Datenpaare enthält einen Link l aus der Vielzahl von Links und ein Zeitfenster w , dass zumindest einen Teil der Trajektorie erfasst. Die Erfassung der Trajektorie erfolgt zeitlich, sodass zumindest eine, vorzugsweise mehrere, Positionsdaten der Trajektorie innerhalb des Zeitfensters w liegen müssen (d.h. innerhalb des Zeitfensters w erfasst wurden).

- In Schritt 208 wird für jedes der ein oder mehreren Datenpaare eine Map Matching Konfidenz
- 30 $c(l, w)$ für den Link l des jeweiligen Datenpaares ermittelt. Dies basiert entweder auf Ermitteln

(vgl. Schritt 210a; Beschreibung siehe oben) einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit oder auf Ermitteln (vgl. Schritt 210b; Beschreibung siehe oben) mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus. Die Map Matching Konfidenz ist konfiguriert, eine Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass der jeweilige Link l innerhalb des jeweiligen Zeitfensters w von der Trajektorie tangiert wurde. Das Verfahren 200 endet bei Schritt 212.

Die vorliegend offenbarten Systeme und Verfahren zur Konfidenzberechnung können prinzipiell im Zusammenspiel mit beliebigen (auch nicht HMM-basierten) Algorithmen angewendet werden, da unabhängig vom verwendeten Algorithmus eine Konfidenz berechnet werden soll. Selbst bei der Verwendung eines HMM sind verschiedene Algorithmen möglich, beispielsweise der Viterbi-Algorithmus (vgl. Newson und Krumm), der Forward-Backward Algorithmus oder der Forward-Algorithmus. Der Forward-Algorithmus ist ebenfalls beispielsweise in Russell und Norvig (siehe oben) beschrieben. Das Verfahren zur Berechnung der Map Matching-Konfidenz lässt sich auch auf Map Matching-Verfahren anwenden, die statt Beobachtungs- und Übergangswahrscheinlichkeiten entsprechende Scores (bzw. Bewertungen) berechnen, welche sich auf Werte zwischen 0 und 1 (z.B. Pseudo-Wahrscheinlichkeiten) normieren lassen.

Es ist auch möglich, die Konfidenzberechnung ohne einen Map Matching-Algorithmus zu verwenden, beispielsweise für alle Kandidaten aller GPS-Positionen innerhalb eines Zeitfensters. Es wird dann der Link l ausgewählt für den die Link-Konfidenz am größten ist. Beim Beispiel der Erkennung von lokalen Gefahren würde so der Kandidat mit der größten Konfidenz ausgewählt werden. Beim Map Matching könnte prinzipiell auch ein Kandidat ausgewählt werden könnte, der nicht auf dem Link l liegt und daher eine geringere Konfidenz als Link l hat. Daher hat dieses Verfahren den Vorteil, dass immer die höchstmögliche Konfidenz erreicht wird.

In bevorzugten Ausgestaltungen kann eine Berücksichtigung der Link-Richtung erfolgen. Die Definition der Map Matching-Konfidenz kann die Link-Richtung berücksichtigt werden, d.h. die Link-Konfidenz ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass für eine gegebene GPS-Trajektorie ein Link l in einer Richtung innerhalb eines Zeitfenster w befahren wurde. Diese Modellierung ist sinnvoll, wenn es darauf ankommt, in welche Richtung ein Link befahren wurde. So ist die Link-Richtung für einige lokalen Gefahren relevant (z.B. gefährliches Stauende), für andere jedoch nicht (z.B. Starkregen oder Nebel).

Um die Link-Richtung für die Konfidenzberechnung zu berücksichtigen, muss bei der Generierung von Kandidaten für jede mögliche Befahrungsrichtung eines Links ein Kandidat erzeugt werden. Ein Kandidat ist dann, wie vorstehend beschrieben, definiert als ein Tripel <Link ID, Position auf Link, Richtung>. Die weitere Berechnung der Link-Konfidenz durch den vorstehend beschriebenen Forward-Backward bzw. modifizierten Forward-Algorithmus ändert sich dadurch jedoch nicht bis auf die Tatsache, dass die Anzahl der Kandidaten durch die Berücksichtigung der Richtung erhöht wird.

Die Berücksichtigung der Link-Richtung ist auch für das Map Matching selbst anwendbar. Beim Map Matching hat diese Modellierung den zusätzlichen Vorteil, dass Penalties für U-Turns oder ähnliche Manöver auf einem Link durch verringerte Übergangswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden können. Die Aufnahme der Richtung für das Map Matching stellt eine Erweiterung gegenüber der Offenbarung von Newson und Krumm dar.

In bevorzugten Ausgestaltungen ist die Berechnung einer Konfidenz für Online-Map Matching vorgesehen. Beim Online-Map Matching werden die GPS-Positionen eines Fahrzeugs kontinuierlich und im Wesentlichen zeitgleich zum Eingang verarbeitet (z.B. als Stream bzw. Datenstrom von GPS-Positionen). Das bedeutet, dass jede eingehende GPS-Position im Wesentlichen sofort verarbeitet wird, ohne Kenntnis von nachfolgenden GPS-Positionen. Es bietet sich an, den Forward-Algorithmus oder den Viterbi-Algorithmus bis zur letzteingegangenen bzw. aktuellen GPS-Position für das Online Map Matching anzuwenden. Beim Einsatz des Viterbi-Algorithmus für Online Map Matching muss beachtet werden, dass sich der wahrscheinlichste Pfad für vergangene GPS-Positionen durch die zusätzliche Information weiterer GPS-Positionen ändern kann. Dadurch kann es zu „Sprüngen“ bzw. sich nachträglich ändernden Daten kommen.

Die Link-Konfidenz kann ebenfalls online berechnet werden, um eine Konfidenz für das aktuelle Matching zu berechnen. Beim Ansatz über die maximale A-posteriori Wahrscheinlichkeit (vgl. erste Ausführungsform) wird statt des Forward-Backward Algorithmus der Forward-Algorithmus eingesetzt. Die Link-Konfidenz l_i für das Zeitfenster w_i ergibt sich dann ebenfalls aus dem Maximum der A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten über alle Kandidaten, die im Zeitfenster w_i auf dem Link l_i liegen. Dabei ist zu beachten, dass das Zeitfenster keine zukünftigen GPS-Positionen beinhalten kann und dass die A-posteriori-

Wahrscheinlichkeiten die Ergebnisse des Forward-Algorithmus statt des Forward-Backward-Algorithmus darstellen.

Der modifizierte Forward-Algorithmus (vgl. zweite Ausführungsform) kann prinzipiell auch für eine Online-Konfidenz-Berechnung verwendet werden. Dabei kann die erste Phase fortlaufend berechnet werden. Da die Links normalerweise noch nicht bekannt sind, für die die Link-Konfidenz berechnet werden soll (diese werden durch Online-Map Matching ermittelt), muss die zweite Phase bei jeder weiteren GPS-Position erneut über die Länge des Zeitfensters ausgeführt werden (außer, der gematchte Link bleibt gleich). Dies kann bei größeren Zeitfenstern einen erheblichen Rechenaufwand bedeuten. Die dritte Phase entfällt, da das Zeitfenster lediglich bis zur aktuellen GPS-Position reicht und zukünftige GPS-Positionen nicht bekannt sind.

In bevorzugten Ausgestaltungen kann eine (weitere) Unterteilung der Links in Segmente erfolgen, falls für einen kleineren Straßenabschnitt berechnet werden soll, ob das Fahrzeug diesen befahren hat. Dies könnte beispielsweise bei lokalen Gefahrenwarnungen verwendet werden, um zu entscheiden, ob sich die lokale Gefahr auf einem eingegrenzten Straßenabschnitt wie z.B. auf einer Kreuzung oder innerhalb eines Tunnels befindet. Damit kann eine Gefahrenwarnung örtlich noch weiter präzisiert werden.

In bevorzugten Ausgestaltungen kann eine Beschleunigung der Konfidenzberechnung vorgesehen sein. Soll für eine längere GPS-Trajektorie (z.B. 1 h) nur eine oder wenige Link-Konfidenzen berechnet werden, so kann die Konfidenzberechnung beschleunigt werden, indem für jede zu berechnende Link-Konfidenz nur ein Teil der gesamten GPS-Trajektorie verarbeitet wird, während die übrigen GPS-Positionen verworfen werden (dies entspricht dem oben beschriebenen Mini-Trace Map Matching). Der verarbeitete Teil der GPS-Trajektorie kann dann im Wesentlichen das Zeitfenster und optional noch weitere GPS-Positionen vor und/oder nach dem Zeitfenster enthalten. Da GPS-Positionen, die weit entfernt von einem Ereignis sind, keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Link-Konfidenz für den gematchten Link des Ereignisses haben, wird die berechnete Konfidenz nicht oder nur unwesentlich ungenauer. So ist die Konfidenz für einen Link im Innenstadtbereich einer Stadt unabhängig von GPS-Positionen, die während derselben Fahrt außerhalb von der Stadt aufgezeichnet wurden. Diese Methode ist für beide Ansätze gemäß der ersten und zweiten Ausführungsformen zur Konfidenzberechnung anwendbar.

Weiter könnte für das Map Matching generell beispielsweise der Abstand zum gemachten Link zum Zweck einer Plausibilisierung genutzt werden. So kann das Matching für eine bestimmte Position verworfen werden, wenn die Entfernung der gemachten Position zur Originalposition größer als ein bestimmter Wert ist, z.B. 10 m. In gleicher Weise kann man das gemachte Heading (d.h. die Orientierung bzw. Richtung) mit dem Fahrzeugheading plausibilisieren (z.B. max. absolute Headingdifferenz = 90°).

In manchen Ausführungsformen kann die Konfidenzberechnung auf sog. Off-Road Matches ausgedehnt werden, die nicht auf in den Kartendaten vorhandenen Links positioniert sein müssen, sondern sich abseits einer Straße, daher „off-road“ befinden können (vgl. DE 10 2017 213 983). Das Prinzip der Off-Road-Matches besteht darin, die Menge an Kandidaten zu einer GPS-Position jeweils um einen Off-Road-Kandidaten zu erweitern. Die Berechnung der Beobachtungs- und Übergangswahrscheinlichkeiten im Sinne der Konfidenzberechnung muss dann entsprechend für Off-Road-Kandidaten erweitert werden. Insbesondere müssen für die Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten zumindest folgende Fälle zusätzlich berücksichtigt werden: On-Road zur Off-Road, Off-Road zu Off-Road und Off-Road zu On-Road. Eine entsprechende Anpassung der Konfidenzberechnung folgt der spezifischen Modellierung der Off-Road Matches und den zugrunde liegenden Berechnungsgrundlagen.

Ein Vorteil dieser Plausibilisierungen ist, dass damit Fehler in der digitalen Karte erkannt werden können. Wenn z.B. eine neu gebaute Straße noch nicht in der digitalen Karte verzeichnet ist, dann kann dies über die Entfernung der gemachten Position zur Originalposition erkannt werden. Diese Plausibilisierungen berücksichtigen jedoch nur die GPS-Position und den gemachten Link, d.h. weitere Links werden nicht berücksichtigt.

Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und erläutert wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen. Es ist daher klar, dass eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten existiert. Es ist ebenfalls klar, dass beispielhaft genannte Ausführungsformen wirklich nur Beispiele darstellen, die nicht in irgendeiner Weise als Begrenzung etwa des Schutzbereichs, der Anwendungsmöglichkeiten oder der Konfiguration der Erfindung aufzufassen sind. Vielmehr versetzen die vorhergehende Beschreibung und die Figurenbeschreibung den Fachmann in die Lage, die beispielhaften Ausführungsformen konkret umzusetzen, wobei der Fachmann in Kenntnis des offenbarten Erfindungsgedankens

vielfältige Änderungen beispielsweise hinsichtlich der Funktion oder der Anordnung einzelner, in einer beispielhaften Ausführungsform genannter Elemente vornehmen kann, ohne den Schutzbereich zu verlassen, der durch die Ansprüche und deren rechtliche Entsprechungen, wie etwa weitergehenden Erläuterungen in der Beschreibung, definiert wird.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren (200) zur Ermittlung einer Map Matching Konfidenz, das Verfahren (200) umfassend:
- Erfassen (202) einer Trajektorie;
- Erfassen (204) von Netzdaten beinhaltend eine Vielzahl von Links eines Netzes;
- Erfassen (206) eines oder mehrerer Datenpaare, wobei jedes der ein oder mehreren
- 10 Datenpaare enthält:
- einen Link (l) aus der Vielzahl von Links; und
 - ein Zeitfenster (w), dass zumindest einen Teil der Trajektorie erfasst;
- Ermitteln (208), für jedes der ein oder mehreren Datenpaare, einer Map Matching Konfidenz ($c(l,w)$) für den Link (l) des jeweiligen Datenpaares basierend auf:
- 15 - Ermitteln (210a) einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit; oder
- Ermitteln (210b) mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus, wobei die Map Matching Konfidenz konfiguriert ist, eine Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass der jeweilige Link (l) innerhalb des jeweiligen Zeitfensters (w) von der Trajektorie tangiert wurde.
- 20 2. Verfahren (200) nach dem vorhergehenden Anspruch 1, wobei die Trajektorie eine Vielzahl von Positionsangaben beinhaltet, wobei jede Positionsangabe der Vielzahl von Positionsangaben beinhaltet: eine GPS-Position und einen Zeitstempel.
3. Verfahren (200) nach dem vorhergehenden Anspruch 2, weiter umfassend:
- Ermitteln (207) von:
- 25 - ein oder mehreren Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe, vorzugsweise in Form von einem Paar aus dem Link (l) eines Datenpaares und einer Position auf dem Link (l);
- einer Beobachtungswahrscheinlichkeit für jeden der ein oder mehreren Matching-Kandidaten jeder Positionsangabe basierend auf einer Entfernung der Positionsangabe vom Link (l) des Matching-Kandidaten; und
- 30 - einer paarweisen Übergangswahrscheinlichkeit für jeden der ein oder mehreren Matching-Kandidaten in Bezug auf eine erste Positionsangabe (P1) und eine zur ersten Positionsangabe benachbarte zweite Positionsangabe (P2), wobei die Übergangswahrscheinlichkeit von jedem Matching-Kandidaten von der ersten

Positionsangabe zu jedem Matching-Kandidaten von der zweiten Positionsangabe ermittelt wird.

4. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 oder 3, weiter umfassend Bestimmen jedes Zeitfensters (w) der ein oder mehreren Datenpaare basierend auf:

- der gesamten Trajektorie, falls die Trajektorie eine vorbestimmte Dauer nicht überschreitet, vorzugsweise wobei die vorbestimmte Dauer weniger als 60 Sekunden, weiter vorzugsweise weniger als 30 Sekunden, beträgt;

- auf einem Intervall zwischen n Positionsangaben vor und k Positionsangaben nach einer Referenzpositionsangabe, vorzugsweise wobei n, k weniger als 10 betragen;

- auf einem Zeitintervall vor und nach einer Referenzpositionsangabe, vorzugsweise wobei das Zeitintervall weniger als 30 Sekunden, weiter vorzugsweise weniger als 15 Sekunden beträgt; oder

- einem Verhältnis zwischen einer Positionsangabe und dem entsprechenden Link (l) des jeweiligen Datenpaares, wobei das Verhältnis der Positionsangabe zum entsprechenden Link (l) dadurch definiert ist, dass der entsprechende Link (l) ein Kandidat für die Positionsangabe ist.

5. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4 und Anspruch 3, wobei Ermitteln (210a) einer maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit umfasst:

Ermitteln einer jeweiligen a-posteriori Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) eines Datenpaares basierend auf der jeweiligen Beobachtungswahrscheinlichkeit und der jeweiligen Übergangswahrscheinlichkeit; und

Ermitteln der maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit basierend auf dem Maximum aller a-posteriori Wahrscheinlichkeiten aller Matching-Kandidaten, die im jeweiligen Zeitfenster (w) auf dem Link (l) liegen; vorzugsweise wobei Ermitteln der maximalen a-posteriori Wahrscheinlichkeit mittels Forward-Backward Algorithmus erfolgt.

6. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, wobei Ermitteln (210b) mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus umfasst:

Ermitteln für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, ob der Link (l) jeweils zwischen zwei Matching-Kandidaten benachbarter zugehöriger GPS-Positionen innerhalb des Zeitfensters (w) sicher befahren wurde oder befahren werden

konnte; oder

Ermitteln einer Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, dass der Link (l) jeweils zwischen zwei Matching-Kandidaten benachbarter zugehöriger GPS-Positionen innerhalb des Zeitfensters (w) befahren wurde; und

Ermitteln einer Wahrscheinlichkeit für jeden Link (l) und jedes Zeitfenster (w) eines Datenpaares, ob der Link (l) innerhalb des Zeitfensters (w) befahren wurde unter Verwendung von Beobachtungswahrscheinlichkeiten und Übergangswahrscheinlichkeiten; vorzugsweise mittels eines modifizierten Forward-Algorithmus.

7. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, wobei ein oder mehrere Links der Vielzahl von Links des Netzes ein oder mehrere Knoten einer Vielzahl von Knoten des Netzes mit einander verbinden, vorzugsweise wobei das Netz ein Verkehrsnetz abbildet, weiter vorzugsweise wobei jeder der Vielzahl von Links ein Segment eines Verkehrsweges repräsentiert und/oder jeder der Vielzahl von Knoten einen Kreuzungspunkt von Verkehrswegen repräsentiert.

8. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7 in Verbindung mit Anspruch 3, wobei jede Positionsangabe der Vielzahl von Positionsangaben weiter ein GPS-Heading beinhaltet und Ermitteln (207) von ein oder mehreren Matching-Kandidaten umfasst:

Ermitteln (207) der ein oder mehreren Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe in Form von einem Tripel aus dem Link (l) eines Datenpaares, einer Position auf dem Link (l) und einer Richtung entlang des Links (l).

9. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 8 in Verbindung mit Anspruch 3, weiter umfassend:

Ermitteln (207) von:

- einem zusätzlichen Matching-Kandidaten für jede Positionsangabe, wobei der zusätzliche Matching-Kandidat sich nicht auf einem Link (l) der Vielzahl von Links des Netzes befindet;

- einer Beobachtungswahrscheinlichkeit für den zusätzlichen Matching-Kandidaten jeder Positionsangabe basierend auf einer Entfernung der Positionsangabe des Matching-Kandidaten; und

- einer paarweisen Übergangswahrscheinlichkeit für den zusätzlichen Matching-Kandidaten in Bezug auf die erste Positionsangabe (P1) und die zweite Positionsangabe (P2), wobei die Übergangswahrscheinlichkeit vom zusätzlichen Matching-Kandidaten von der ersten Positionsangabe zu jedem Matching-Kandidaten von der zweiten Positionsangabe ermittelt wird.

5

10. System (100) zur Ermittlung einer Map Matching-Konfidenz, das System (100) umfassend eine Steuereinheit, die konfiguriert ist zur Ausführung des Verfahrens (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9.

11. Fahrzeug (80), umfassend ein System (100) zur Ermittlung einer Map Matching-Konfidenz nach dem vorhergehenden Anspruch 10.

10

1/4

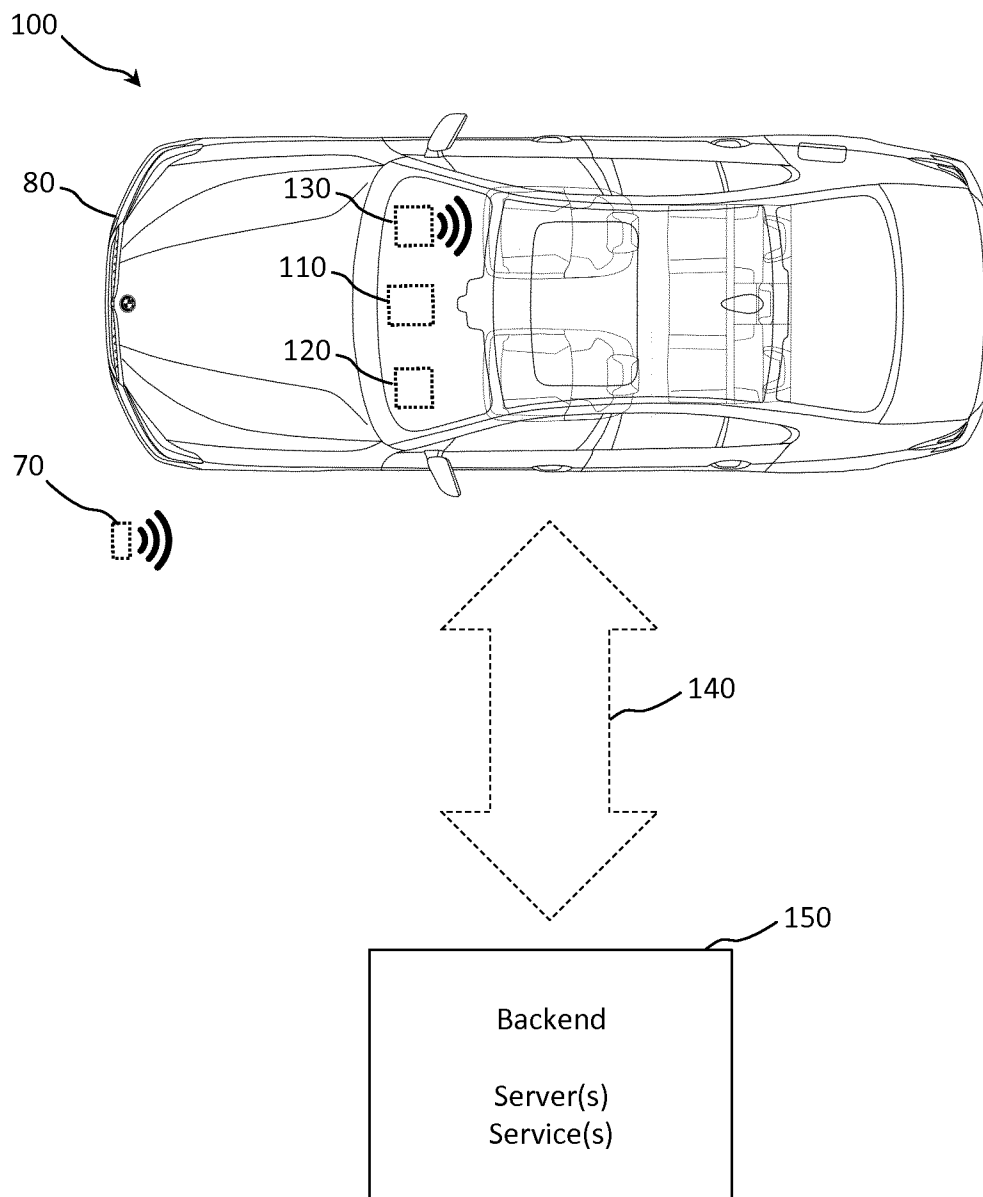


Fig. 1

2/4

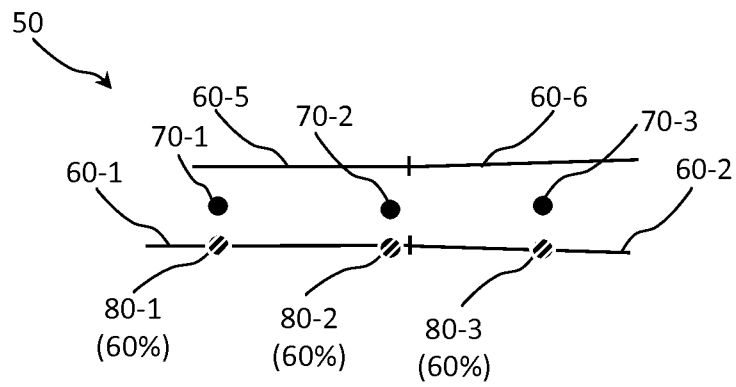


Fig. 2

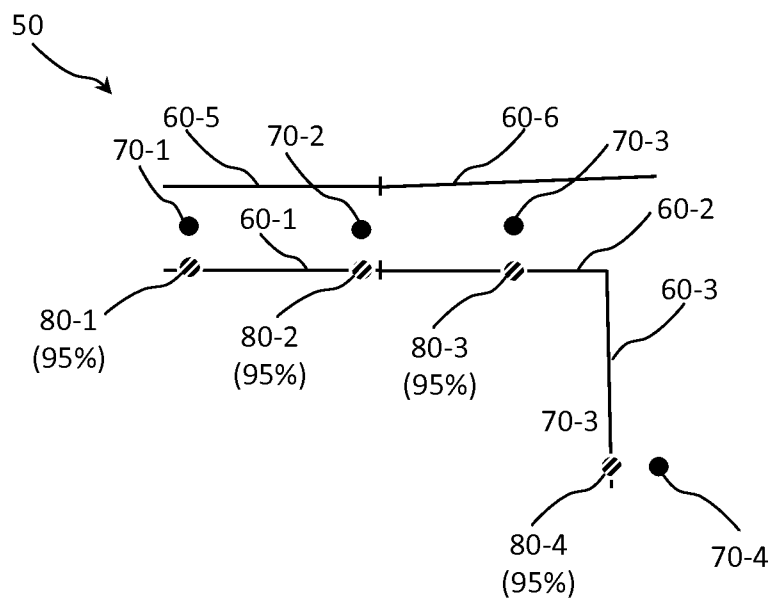


Fig. 3

3/4

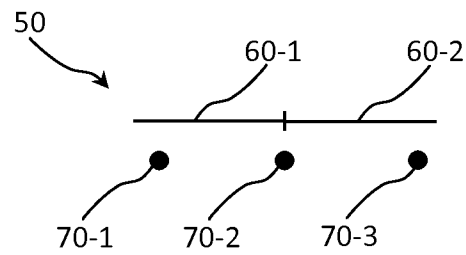


Fig. 4

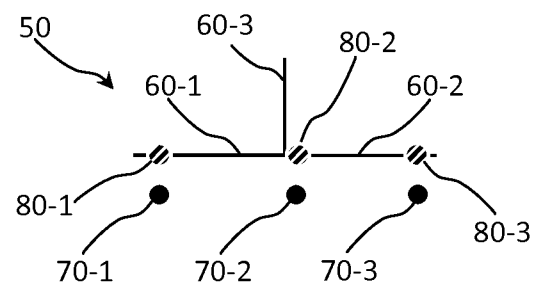


Fig. 5

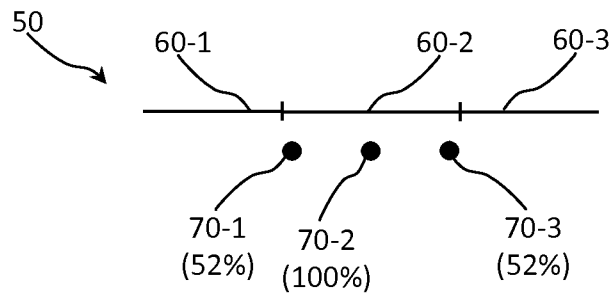


Fig. 6

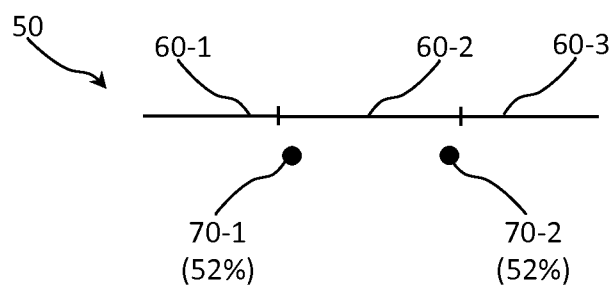


Fig. 7

4/4

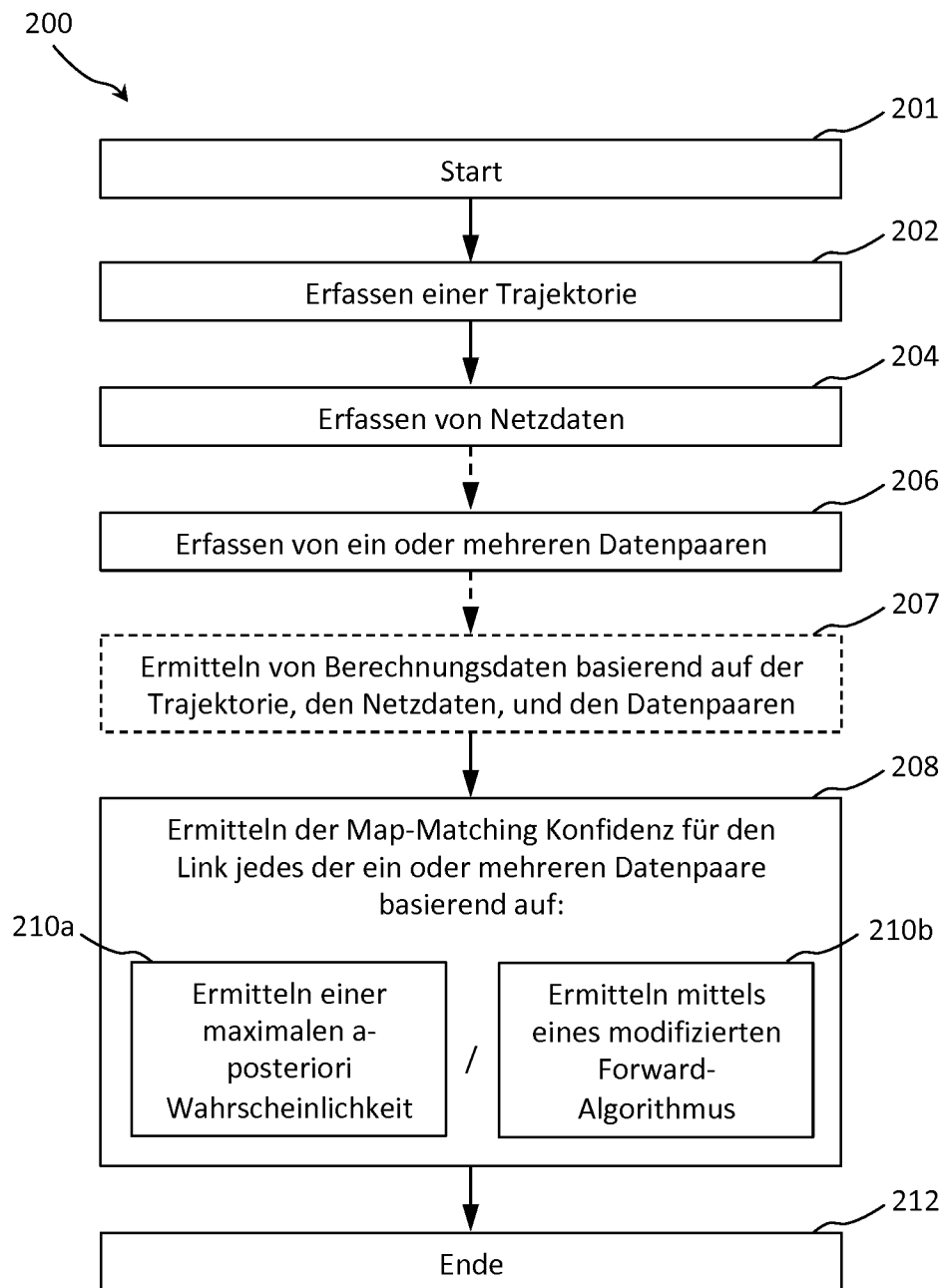


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/082993

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01C 21/30**(2006.01)i; **G06N 20/00**(2019.01)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)

G01C; G06N

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.
X	SELLOUM A ET AL. "Robustification of a map aided location process using road direction" <i>INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC)</i> , 2010 13TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 19 September 2010 (2010-09-19), pages 1504-1510 ISBN: 978-1-4244-7657-2. XP031792734 page 1505 - page 1506	1-11
A	US 2017322035 A1 (DORUM OLE HENRY [US]) 09 November 2017 (2017-11-09) paragraph [0042]	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

20 February 2020

Date of mailing of the international search report

09 March 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

Asthalter, Tanja

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/082993

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017322035	A1	09 November 2017	EP	3452782	A1	13 March 2019
				US	2017322035	A1	09 November 2017
				WO	2017191204	A1	09 November 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01C21/30 G06N20/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01C G06N

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.
X	SELLOUM A ET AL: "Robustification of a map aided location process using road direction", INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 2010 13TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 19. September 2010 (2010-09-19), Seiten 1504-1510, XP031792734, ISBN: 978-1-4244-7657-2 Seite 1505 - Seite 1506 -----	1-11
A	US 2017/322035 A1 (DORUM OLE HENRY [US]) 9. November 2017 (2017-11-09) Absatz [0042] -----	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

20. Februar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/03/2020

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

Asthalter, Tanja

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/082993

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017322035 A1	09-11-2017	EP 3452782 A1	13-03-2019
		US 2017322035 A1	09-11-2017
		WO 2017191204 A1	09-11-2017
