

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Bestimmen einer Position einer mobilen Einheit. Sie betrifft ferner ein Fahrzeug mit einem erfindungsgemäßen System.

[0002] Für die zunehmende Integration automatischer Fahrfunktionen in moderne Fahrzeuge ist die genaue Lokalisierung des Fahrzeugs eine wichtige Voraussetzung. Dabei genügt es nicht, die Position des Fahrzeugs etwa auf einige Meter genau zu kennen, sondern es können bereits kleinere Abweichungen, etwa entlang der Breite einer Fahrspur, erhebliche Auswirkungen auf die Fahrt haben.

[0003] Um eine ausreichend genaue und zuverlässige Lokalisierung des Fahrzeugs zu ermöglichen, werden etwa Ansätze zur landmarkenbasierten Ortung verfolgt.

[0004] Bei dem in der DE 10 2004 003 850 A1 beschriebenen Verfahren zur Erkennung von Markierungen auf einer Fahrbahn werden durch einen Laserscanner in zeitlicher Folge Abstandsbilder eines Erfassungsbereichs erfasst und der Abstand einer erkannten Markierung wird geschätzt. Durch Erkennen von Geraden auf der Fahrbahn werden Markierungen identifiziert.

[0005] Die DE 10 2007 020 791 A1 schlägt eine Fahrspurmarkierungs-Erkennungsvorrichtung vor, bei der aus Daten eines Lidar-Instruments eine Mittellinie und eine Fahrbahnbreite extrahiert werden. Dabei wird eine Parameternachführung angewandt.

[0006] Dennoch besteht weiterhin ein Bedarf an Verfahren zur landmarkenbasierten Lokalisierung, die ressourcenschonend, schnell und robust betrieben werden können. Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein solches Verfahren und System bereitzustellen.

[0007] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein System mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie durch ein Fahrzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Schätzposition der mobilen Einheit erfasst und anhand der erfassten Schätzposition werden Referenzkartendaten abgerufen, wobei die Referenzkartendaten Referenzpositionen von Landmarken umfassen. Mittels einer Erfassungseinheit werden Datensätze erfasst und anhand der Datensätze werden Landmarkenbeobachtungen mit Landmarkenparametern bestimmt. Anhand der bestimmten Landmarkenbeobachtungen werden Umfeldmodelldaten bestimmt, wobei die Umfeldmodelldaten eine Beschreibung eines Verkehrsumfeldes der mobilen Einheit umfassen. Anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten wird eine Vielzahl von Positionshypothesen erzeugt und den Positionshypothesen werden Wahrscheinlichkeiten zugeordnet, wobei anhand der Wahrscheinlichkeiten die Position der mobilen Einheit bestimmt und ausgegeben wird.

[0009] Dadurch kann vorteilhafterweise eine besonders einfache und robuste Lokalisierung der mobilen Einheit durchgeführt werden. Insbesondere kann die mobile Einheit von einem Fahrzeug umfasst sein und es kann die Position des Fahrzeugs bestimmt werden.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet insbesondere vektorbasiert, das heißt, es wird keine umfassende orts aufgelöste Kartierung eines Raums vorgenommen, wie dies bei punkt- oder rasterbasierten Verfahren vorgesehen ist, sondern es werden einzelne Objekte detektiert, parametrisiert und anhand dieser Parametrisierung gespeichert. Dadurch kann das Verfahren vorteilhafterweise schnell und mit vergleichsweise geringem Bedarf an Speicher und Rechenleistung betrieben werden, was insbesondere bei mobilen Einheiten, etwa in Fahrzeugen von Vorteil ist.

[0011] Der Begriff der „Position“ umfasst im engeren Sinne die Koordinaten eines Punktes in einem Koordinatensystem, wobei ein Koordinatensystem relativ zu der mobilen Einheit oder ein globales Koordinatensystem betrachtet werden kann. In einem weiteren Sinne soll der Begriff „Position“ allerdings auch Merkmale umfassen, die typischerweise unter den Begriff „Pose“ fallen, insbesondere eine Ausrichtung der mobilen Einheit in eine bestimmte Richtung in dem Koordinatensystem. Im Folgenden ist zur Vereinfachung der Darstellung von der „Position“ die Rede, wobei die weiteren Merkmale einer „Pose“ nicht ausgeschlossen werden sollen.

[0012] Als „Landmarken“ im Sinne der Erfindung werden unter anderem Orientierungspunkte und topographische Objekte verstanden, die wiedererkennbar und klassifizierbar sowie geeignet sind, einen räumlichen

Bereich zu strukturieren beziehungsweise relativ zu denen eine Position im Sinne der Erfindung definiert werden kann. Klassifizierbar sind insbesondere solche Objekte, die als geometrische Formen abgebildet und parametrisiert werden können, etwa anhand ihrer Form, Position, Fläche, Länge und Breite. Insbesondere zählen zu den Landmarken Elemente der Verkehrsinfrastruktur, beispielsweise Fahrbahnmarkierungen, Verkehrszeichen, Beleuchtungsanlagen, Brücken oder andere Verkehrsbauwerke. Ferner zählen hierzu weitere Bauwerke, etwa Häuser, sowie Pflanzen, etwa Bäume, und landschaftliche Merkmale, etwa Bodenerhebungen. Landmarken sollen zudem wiedererkennbar sein, das heißt, ihr Aussehen und ihre weiteren Eigenschaften sollen während einer bestimmten Zeitdauer im Wesentlichen konstant bleiben, insbesondere so, dass eine Wiedererkennbarkeit anhand der Landmarken über einen ausreichend langen Zeitraum möglich ist, um gegebenenfalls Veränderungen mittels einer Aktualisierungsfunktionalität berücksichtigen zu können.

[0013] Insbesondere werden erfindungsgemäß semantisch interpretierbare Elemente der Straßeninfrastruktur als Landmarken erfasst. Diese können ferner nach ihrer Geometrie sowie gemäß den Möglichkeiten der Verarbeitung und Erfassung gruppiert werden. Insbesondere kann unterschieden werden zwischen punktbasierten Landmarken, etwa Pfählen, Pfosten und Säulen, die insbesondere mittels Lidar detektiert werden können, linienbasierten Landmarken, etwa gestrichelten Linien, Pfeilen und Stopplinien, die insbesondere mittels Lidar oder einer Kamera detektiert werden können, sowie polylinienbasierten Landmarken, etwa durchgezogenen Linien, die als Linienzüge repräsentiert werden können und für deren Detektion insbesondere eine Kamera verwendet werden kann.

[0014] Zur Charakterisierung einer Landmarkenbeobachtung wird ein Zustandsvektor erzeugt, wobei die in diesem Zustandsvektor hinterlegten Daten sich je nach dem Typ der Landmarke unterscheiden: Der Zustandsvektor s^{PO} einer punktbasierten Landmarkenbeobachtung umfasst eine Position p^{vrf} im Fahrzeugkoordinatensystem, eine Unsicherheit Σ_p und eine absolute Position p^{wgs} in einem globalen Koordinatensystem. Dabei werden die Punkte als Tripel $p = (x, y, z)$ angegeben. Ferner sind ein Durchmesser und eine Höhe definiert und es werden ein Zeitstempel für die Beobachtung sowie eine Identifikation des beobachtenden Sensors gespeichert. Ferner sind Felder für einen Wahrscheinlichkeitswert und eine Identifikation einer bestimmten Landmarke vorgesehen, die im weiteren Verlauf des Verfahrens für die weitere Verarbeitung verwendet werden. Für den Zustandsvektor s^{DL} einer linienbasierten Landmarkenbeobachtung beziehungsweise den Zustandsvektor s^{PL} einer polylinienbasierten Landmarkenbeobachtung sind zwei oder mehr Positionen ($p_1^{vrf}, \dots, p_n^{vrf}$) vorgesehen sowie entsprechend viele Unsicherheiten

$(\Sigma_{p_1}, \dots, \Sigma_{p_n})$

und absoluten Positionen ($p_1^{wgs}, \dots, p_n^{wgs}$) sowie modifizierte Parameter wie die Breite und Länge der (Poly-)Linie.

[0015] Alternativ oder zusätzlich können weitere Parametrisierungen einer Landmarkenbeobachtung, insbesondere für weitere Typen von Landmarken, vorgesehen sein.

[0016] Das „Verkehrsumfeld“ im Sinne der Erfindung umfasst ein räumliches Umfeld einer Position, insbesondere bezüglich der für einen Verkehr in diesem Umfeld relevanten Eigenschaften. Insbesondere kann erfindungsgemäß das Umfeld eines Verkehrsteilnehmers, etwa auf einer Fahrbahn, betrachtet werden. Der räumliche Bereich wird dabei im Wesentlichen dadurch bestimmt, mit welcher Reichweite Daten im Umfeld erfasst werden können sowie in welchem Umfeld Landmarken zur Lokalisierung der mobilen Einheit genutzt werden können.

[0017] Eine „Beschreibung des Verkehrsumfeldes“ umfasst insbesondere Informationen über Landmarken in dem Verkehrsumfeld. Dabei können Positionen und charakteristische Eigenschaften der Landmarken umfasst sein.

[0018] Die erfindungsgemäße Lokalisierung erfolgt anhand von Referenzkartendaten, die in Abhängigkeit von einer geschätzten Position der mobilen Einheit abgerufen werden. Dazu wird zunächst die Schätzposition erfasst, wobei an sich bekannte Verfahren angewandt werden. Beispielsweise kann ein Satellitenpositionsbestimmungssystem wie das Global Positioning System (GPS) verwendet werden. Die Referenzkartendaten können ebenfalls auf an sich bekannte Weise abgerufen werden, insbesondere entweder von einer Speichereinrichtung der mobilen Einheit oder mittels einer datentechnischen Verbindung zu einer externen Einheit.

[0019] Gemäß einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen die Erfassung der Schätzposition und das Abrufen der Referenzkartendaten periodisch. Dadurch kann vorteilhafterweise sichergestellt werden, dass ständig passende Referenzkartendaten vorliegen und für die Lokalisierung verwendet werden

können. Beispielsweise kann der Abruf alle 10 Sekunden oder in einem anderen festgelegten Zeitintervall erfolgen. Ferner kann in ähnlicher Weise der Abruf anhand anderer Kriterien regelmäßig erfolgen, beispielsweise anhand eines Abstand von der Position des letzten Abrufs, sodass die Referenzkartendaten immer dann abgerufen werden, wenn sich die Position der mobilen Einheit um einen bestimmten Betrag geändert hat.

[0020] In anderen Ausführungsformen kann die Erfassung auch in anderer Weise, etwa asynchron, erfolgen.

[0021] Die Erfassung der Datensätze bei dem Verfahren erfolgt auf an sich bekannte Art. Insbesondere können Sensoren mit verschiedenen Wirkprinzipien verwendet werden, beispielsweise Lidar-, Radar- oder Ultraschallsensoren, Kameras im Bereich des sichtbaren Lichts oder Infrarotkameras sowie Time-of-Flight- oder Stereo-Kameras. Ferner können Daten von externen Einrichtungen erfasst werden, wobei insbesondere Verfahren aus dem Bereich der „Car 2 X“-Kommunikation genutzt werden können.

[0022] Ein erfasster Datensatz wird insbesondere zu einem bestimmten Zeitpunkt von einem Sensor erfasst und/oder ausgegeben, etwa ein einzelner Scan eines Laserscanners oder ein von einer Kamera erfasstes Bild. Dabei kann ein Datensatz die Datenpunkte einer Detektion zu einem bestimmten Zeitpunkt umfassen oder es können Datenpunkte mehrerer Messungen akkumuliert werden.

[0023] Bei einer Ausbildung der Erfindung umfasst die Erfassungseinheit zumindest zwei verschiedene Sensortypen. Dadurch werden vorteilhafterweise Daten auf einander ergänzende Weisen erfasst und es wird durch mehrfache Detektion Redundanz erzeugt, die das Verfahren robuster macht. Verschiedene Sensortypen nutzen dabei insbesondere verschiedene Detektionsprinzipien. Beispielsweise kann eine Kamera, ein Laserscanner, ein RADAR-Detektor und/oder ein anderer Sensor vorgesehen sein.

[0024] Je nach dem Typ des verwendeten Sensors können verschiedene Merkmale des Verkehrsumfeldes detektiert werden, wobei insbesondere eine orts aufgelöste Detektion stattfindet. Beispielsweise können Eigenschaften der Reflexion, Streuung, Transmission oder Absorption von elektromagnetischer Strahlung sowie Abstände erfasst werden. Die Datenpunkte entsprechen dabei einzelnen Messungen, insbesondere an verschiedenen Orten des Erfassungsbereichs eines Sensors.

[0025] Ferner kann vorgesehen sein, dass Daten von weiteren Sensoren erfasst werden. Insbesondere können bei einem Fahrzeug Daten erfasst werden, die eine Bewegung und Führung des Fahrzeugs betreffen. Beispielsweise kann eine Geschwindigkeit und Beschleunigung erfasst werden sowie eine Bewegungsrichtung und ein Lenkeinschlag.

[0026] Bei einer weiteren Ausbildung umfassen die von der Erfassungseinheit erfassten Datensätze Datenpunkte. Anhand der erfassten Datensätze werden mittels einer Segmentierung Segmente bestimmt, wobei den Segmenten jeweils Datenpunkte zugeordnet sind. Ferner wird für jedes der bestimmten Segmente eine Näherungsellipse bestimmt, wobei mittels einer Hauptkomponentenanalyse Landmarkenparameter des jeweiligen Segments bestimmt werden.

[0027] Dadurch wird vorteilhafterweise ein besonders robustes und schnelles Verfahren verwendet, um anhand der Datenpunkte eine Segmentierung durchzuführen und die Segmente auszuwerten. Zur Segmentierung kann insbesondere ein Euclidean Cluster Algorithm angewandt werden, wobei Datenpunkte als zu einem Segment gehörig erkannt werden, wenn ihr Abstand zueinander einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet. Alternativ oder zusätzlich dazu können andere Algorithmen verwendet werden, etwa ein Random Sample Consensus-Algorithmus (RANSAC), wobei verschiedene Segmentierungsverfahren implementiert werden können.

[0028] Insbesondere können mittels der Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA) die relevanten Parameter zur Auswertung der erfassten Datenpunkte in einem Schritt bestimmt und anschließend ausgewertet werden. Insbesondere können dabei Datenpunkte mehrerer Datensätze akkumuliert werden oder es können die Datenpunkte eines einzelnen Datensatzes berücksichtigt werden.

[0029] Bei einer Weiterbildung wird den Segmenten anhand der für die Segmente bestimmten Landmarkenparameter eine Objektklasse zugeordnet und anhand der Segmente Landmarkenbeobachtungen werden bestimmt, wobei die Landmarkenbeobachtungen jeweils Landmarkenparameter und eine Objektklasse umfassen. Es werden damit vorteilhafterweise „Landmarkenbeobachtungen“ erzeugt, welche die relevanten Informationen über eine Sichtung einer potentiellen Landmarke umfassen.

[0030] Bei einer Ausbildung umfassen die Objektklassen Punkte, Linien und Polylinien. Dadurch werden die erfassten Landmarkenbeobachtungen vorteilhafterweise so klassifiziert, dass eine objektklassenspezifische Weiterverarbeitung durchgeführt werden kann.

[0031] Punk-, linien- oder polylinienbasierte Landmarken erlauben dabei eine besonders zweckmäßige Klassifizierung von Landmarken, insbesondere von Fahrbahnmarkierungen. Die Klassifizierung erfolgt dabei je nach den zur vollständigen Charakterisierung einer Landmarke notwendigen Landmarkenparameter, insbesondere der Anzahl der zu bestimmenden Positionen, um den Verlauf einer Fahrbahnmarkierung zu erfassen.

[0032] Bei einer Ausbildung umfassen die Landmarkenparameter zumindest Richtungsparameter, Längenparameter, Breitenparameter sowie eine Startposition und eine Endposition. Dadurch können vorteilhafterweise für die Lokalisierung einer mobilen Einheit auf einer Fahrbahn besonders relevante Parameter sowie deren Varianzen bestimmt werden.

[0033] Die anhand der erfassten Datensätze erfassten und bestimmten Informationen über die Detektion einzelner Landmarken werden zu jeweils einer „Landmarkenbeobachtung“ zusammengefasst. Auf diese Weise können die Daten strukturiert werden. Eine Landmarkenbeobachtung umfasst dabei erfindungsgemäß alle Informationen über eine bestimmte Sichtung einer bestimmten Landmarke. Es kann also bei wiederholter Anwendung des Verfahrens eine Reihe von Landmarkenbeobachtungen für die gleiche reale Landmarke bestimmt werden, wenn die Landmarke mehrfach gesichtet wird, insbesondere auch durch mehrere Sensoren und Erfassungseinheiten. Insbesondere kann eine Zuordnung der Landmarkenbeobachtung zu der entsprechenden Landmarke erfolgen, etwa mittels einer Identifikationsnummer, beispielsweise um mehrere Landmarkenbeobachtungen der gleichen Landmarke miteinander vergleichen zu können und Landmarkenbeobachtungen zu identifizieren, die der gleichen Landmarke zuzuordnen sind.

[0034] Dabei können die Datensätze, wie oben bereits erläutert, insbesondere von verschiedenen Sensoren erfasst werden, wobei verschiedene Datensätze zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst werden können. Beispielsweise kann durch einen Sensor die Datenerfassung periodisch in einem bestimmten Takt erfolgen, wobei ein weiterer Sensor in einem anderen Takt oder zeitlich versetzt dazu Daten erfassen kann. Dementsprechend sind sowohl den Datensätzen als auch den Daten der Landmarkenbeobachtungen, die anhand der Datensätze bestimmt werden, verschiedenen Zeitpunkten zugeordnet und nicht synchronisiert. In diesem Fall sind die unterschiedlichen Zeitpunkte und insbesondere eine in der Zwischenzeit ausgeführte Bewegung zu berücksichtigen. Beispielsweise kann eine Verschiebung eines Koordinatensystemursprungs relativ zur mobilen Einheit zwischen den Zeitpunkten der Erfassung verschiedener Datensätze berücksichtigt werden.

[0035] Um die Landmarkenbeobachtungen auf Basis verschiedener Datensätze, eventuell von verschiedenen Sensoren, verarbeiten zu können, wird in einem Schritt ein Nachführen (Tracking) durchgeführt, wobei eine Synchronisation durchgeführt und erkannt werden kann, welche Landmarkenbeobachtungen einer bestimmten Landmarke entsprechen. Auf diese Weise können gegebenenfalls mehrere Landmarkenbeobachtungen als zu einer realen Landmarke gehörig bestätigt werden.

[0036] Dazu werden Umfeldmodelldaten bestimmt, in denen synchronisierte und zusammengeführte Daten über die detektierten Landmarken vorgehalten werden.

[0037] Bei einer Ausbildung der Erfindung umfassen die Umfeldmodelldaten Daten über Landmarken und den Landmarken zugeordnete Positionen. Dadurch können die Umfeldmodelldaten vorteilhafterweise so bestimmt werden, dass eine landmarkenbasierte Lokalisierung ermöglicht wird.

[0038] Insbesondere umfassen die Umfeldmodelldaten Informationen über die Landmarken im Verkehrsumfeld der mobilen Einheit. Dabei können etwa den Landmarken zugeordnete Objektklassen bestimmt und gespeichert werden und die Landmarkenparameter mit Daten über die Positionen der Landmarken umfasst sein. Die Anforderung, dass das erzeugte Umfeldmodell konsistent sein soll, betrifft dabei vor allem die davon umfassten Landmarken, die von mehreren Landmarkenbeobachtungen erfasst werden, wobei diese Beobachtungen übereinstimmen sollen, damit eine Landmarke bestätigt wird.

[0039] Bei einer weiteren Ausbildung werden beim Bestimmen der Umfeldmodelldaten Abstandsberechnungen für Landmarkenbeobachtungen anhand ihrer Objektklasse und ihrer Landmarkenparameter durchgeführt, wobei die Landmarkenbeobachtungen anhand der Abstandswerte bestimmten Landmarken zugeordnet werden. Dadurch können vorteilhafterweise korrespondierende Landmarkenbeobachtungen sehr einfach und schnell ermittelt werden.

[0040] Es werden die Positionen von Landmarken, die durch die „Tracks“ der Umfeldmodellldaten repräsentiert sind, anhand der Landmarkenparameter verschiedener Landmarkenbeobachtungen verglichen und es wird anhand von Abstandsberechnungen bestimmt, welche erfassten Landmarken zusammengehörig sind. Die Tracks repräsentieren dabei zu einer Landmarke gehörige Beobachtungen und deren Nachverfolgung anhand der Positionen, die bei den Beobachtungen bestimmt wurden. Insbesondere werden die Abstandsberechnungen anhand der den Landmarken und Landmarkenbeobachtungen zugeordneten Objektklassen durchgeführt. Dadurch wird insbesondere berücksichtigt, dass unterschiedliche Formen von Landmarken unterschiedliche Verfahren zur Abstandsberechnung erfordern. Beispielsweise kann punktbasierten Landmarken eine einzelne Position zugeordnet werden, wobei der geometrische Abstand solcher Landmarken zueinander anhand der jeweiligen Positionen eindeutig bestimmt werden kann. Die Berechnung wird für linien- und polylinienbasierte Landmarken dadurch verkompliziert, dass ihnen kein einzelner, eindeutiger Positionswert zuzuordnen ist, der mit einem anderen Positionswert verglichen werden könnte. Statt dessen sind mehrere Positionen für solche Landmarken charakteristisch, etwa Start- und Endpositionen sowie Zwischenpunkte.

[0041] Daher können verschiedene Abstandsmetriken für verschiedene Objektklassen vorgesehen sein. Insbesondere wird dabei für punktbasierte Landmarken eine Berechnung anhand der Mahalanobis-Distanz vorgenommen. Diese Gleichung wird für linienbasierte Landmarken, die jeweils eine Start- und eine Endposition aufweisen, so modifiziert, dass die vier Kombinationsmöglichkeiten für die Abstandsmessung gemeinsam berücksichtigt werden (Startposition 1 – Startposition 2; Endposition 1 – Startposition 2; Startposition 1 – Endposition 2; Endposition 1 – Endposition 2). Der Abstand zwischen polylinienbasierten Landmarken (Linienzüge) wird anhand einer von ihnen eingeschlossenen Fläche gemessen. Alternativ oder zusätzlich können andere geeignete Verfahren verwendet werden, durch die Abstandsmetriken bestimmt werden können.

[0042] Insbesondere werden die Daten für Landmarkenbeobachtungen für jede reale Landmarke ausgewertet, das heißt, für jede im Verkehrsumfeld detektierte Landmarke werden die Daten der dazugehörigen Landmarkenbeobachtungen gespeichert und die Daten verschiedener Landmarkenbeobachtungen können gesammelt verarbeitet werden.

[0043] Zur weiteren Bestimmung, ob eine Landmarkenbeobachtung einer realen Landmarke entspricht, können den registrierten Landmarken des Umfeldmodells Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden, die angeben, mit welcher Sicherheit hierbei eine reale Landmarke erfasst wurde. Durch einen Abgleich der Daten verschiedener Landmarkenbeobachtungen, die der gleichen Landmarke zugeordnet sind, kann der Wert der Wahrscheinlichkeit verändert werden.

[0044] Bei einer Weiterbildung werden die den Landmarken des Umfeldmodells, das heißt den Tracks, zugeordneten Wahrscheinlichkeiten mittels eines Sequential Probability Ratio Test in einem iterativen Verfahren berechnet. Damit kann vorteilhafterweise ein statistischer Test angewandt werden, der eine besonders zuverlässige Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten bei einer variablen Datenbasis zulässt.

[0045] Bei einer Ausbildung wird eine Wahrscheinlichkeit einer Landmarke erhöht, wenn sie durch eine weitere Landmarkenbeobachtung bestätigt wird, andernfalls wird die Wahrscheinlichkeit der Landmarke erniedrigt.

[0046] Eine Landmarke kann dann anhand eines Vergleichs der ihr zugeordneten Wahrscheinlichkeit mit einem Schwellenwert akzeptiert oder verworfen werden. Dadurch kann vorteilhafterweise in einem iterativen Verfahren getestet werden, ob eine Entscheidung für oder gegen die Annahme einer erfassten Landmarke als tatsächlich vorhanden angenommen werden kann. Dies erlaubt eine besonders einfache und zuverlässige Identifikation und Löschung von Fehldetektionen.

[0047] Die Daten der bestätigten Landmarken der Tracks werden weiter in den Umfeldmodellldaten verwendet, um eine Beschreibung des Verkehrsumfeldes zu repräsentieren. Dabei können die Umfeldmodellldaten etwa einer Karte des Verkehrsumfeldes der mobilen Einheit entsprechen. Insbesondere wird ein konsistentes Umfeldmodell erzeugt, das heißt, die Umfeldmodellldaten werden anhand der von mehreren Datensätzen erfassten Daten so erzeugt, dass die erfassten Datensätze konsistent miteinander sind.

[0048] Die von den Umfeldmodellldaten umfassten Informationen über die Landmarken sind analog dazu in vergleichbarer Weise von den Referenzkartendaten umfasst, wobei hier eine frühere Vermessung der Landmarken vorausgesetzt wird. Beispielsweise können die Landmarken zu einem früheren Zeitpunkt mittels einer besonders genauen Erfassungsvorrichtung erfasst und analysiert worden sein, sodass Daten wie etwa die Position, Abmessungen und Art einer Landmarke mit hoher Genauigkeit von den Referenzkartendaten umfasst

sind. Indem die Umfeldmodelldaten ähnliche Daten umfassen, kann ein Abgleich mit den Referenzkartendaten durchgeführt werden.

[0049] Bei einer Ausgestaltung der Erfindung werden die den Positionshypothesen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten mittels eines partikelfilterbasierten Lokalisierungsverfahrens bestimmt. Dadurch wird vorteilhafterweise die Position nach einem besonders effizienten statistischen Verfahren bestimmt.

[0050] Bei einem solchen Verfahren wird eine Vielzahl von Hypothesen über die wahre Position anhand einer Wolke mit einer Vielzahl von Partikeln repräsentiert. Die Position und Streuung der Partikel bestimmen sich insbesondere nach der erfassten Schätzposition, der geschätzten Eigenbewegung des Fahrzeugs und einem Messrauschen, das durch die Sensoreigenschaften gegeben ist. Es wird für die Partikel eine Wahrscheinlichkeit bestimmt und der Partikel mit der höchsten Wahrscheinlichkeit, das heißt die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit wahre Hypothese über die Position, wird schließlich akzeptiert.

[0051] Ferner kann alternativ oder zusätzlich die Positionsbestimmung anhand anderer Verfahren erfolgen, etwa mittels eines Kalman-Filters.

[0052] Bei einer weiteren Ausgestaltung wird eine datentechnische Verbindung zu einem externen Server hergestellt und die erfasste Schätzposition wird an den externen Server übertragen. Anhand einer Referenzkartendatenbank des externen Servers werden Referenzkartendaten erzeugt und die Referenzkartendaten werden erfasst. Dadurch können vorteilhafterweise die Referenzkartendaten von dem externen Server verwaltet und aktuell gehalten werden.

[0053] Die datentechnische Verbindung kann dabei auf an sich bekannte Weise hergestellt werden, insbesondere drahtlos. Beispielsweise kann ein lokales Netzwerk oder ein größeres Netzwerk genutzt werden, beispielsweise das Internet. Ferner kann die Verbindung über ein Telekommunikationsnetz, etwa ein Telefonnetz, oder ein drahtloses lokales Netzwerk (WLAN) hergestellt werden. Die Verbindung kann auch über eine andere Einheit hergestellt werden, die selbst eine Verbindung zu dem externen Server herstellen kann. Beispielsweise kann eine datentechnische Verbindung zwischen der mobilen Einheit und einem mit dem Internet verbundenen Mobiltelefon bestehen, etwa durch ein Datenkabel oder eine Funkverbindung, etwa per Bluetooth. Insbesondere kann die Verbindung zu dem externen Server über das Internet hergestellt werden.

[0054] Bei einer Weiterbildung werden anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten Aktualisierungsdaten erzeugt und an den externen Server übertragen. Insbesondere kann anhand der Aktualisierungsdaten durch den externen Server eine Aktualisierung der Referenzkartendatenbank durchgeführt werden. Dadurch können vorteilhafterweise stets aktuelle Referenzkartendaten zur Verfügung gestellt werden.

[0055] Beispielsweise können Veränderungen gegenüber den in der Referenzkartendatenbank gespeicherten Landmarken festgestellt und bei der Aktualisierung der Referenzkartendatenbank berücksichtigt werden. Solche Veränderungen können beispielsweise darin bestehen, dass eine Landmarke nicht mehr erfassbar ist, weil etwa eine Fahrbahnmarkierung entfernt wurde. Ferner kann eine Veränderung der Position einer Landmarke berücksichtigt werden, etwa wenn ein Verkehrszeichen versetzt wurde. Zudem können graduelle Veränderungen erkannt werden, etwa wenn der externe Server nacheinander Aktualisierungsdaten von mehreren Quellen empfängt und anhand dieser eine Veränderung oder ein Veränderungsprozess, etwa aufgrund einer graduellen Abnutzung einer Fahrbahnmarkierung, erfasst werden kann.

[0056] Bei einer Weiterbildung wird die ausgegebene Position der mobilen Einheit an ein Fahrerassistenzsystem übertragen. Dadurch kann vorteilhafterweise das Fahrerassistenzsystem mithilfe der Positionsbestimmung betrieben werden. Dabei kann insbesondere eine Lokalisierung auf einer Fahrbahn, etwa in Längs- und/oder Querrichtung durchgeführt werden, wobei dem Fahrerassistenzsystem eine präzise Position der mobilen Einheit, etwa eines Fahrzeugs, bereitgestellt werden kann.

[0057] Das erfindungsgemäße System der eingangs genannten Art umfasst eine Erfassungseinheit, durch die eine Schätzposition der mobilen Einheit erfassbar ist, und eine Schnittstelle, durch die anhand der erfassten Schätzposition Referenzkartendaten abrufbar sind, wobei die Referenzkartendaten Referenzpositionen von Landmarken umfassen. Dabei sind ferner durch die Erfassungseinheit ferner Datensätze erfassbar und durch eine Recheneinheit sind anhand der Datensätze Landmarkenbeobachtungen mit Landmarkenparametern bestimmbar. Anhand der bestimmten Landmarkenbeobachtungen sind Umfeldmodelldaten bestimmbar, wobei die Umfeldmodelldaten eine Beschreibung eines Verkehrsumfeldes der mobilen Einheit umfassen. Durch die Recheneinheit ist ferner anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten eine Vielzahl von Po-

sitionshypothesen erzeugbar und den Positionshypothesen sind Wahrscheinlichkeiten zuordenbar, wobei anhand der Wahrscheinlichkeiten die Position der mobilen Einheit bestimmbar und ausgebar ist.

[0058] Das erfindungsgemäße System ist insbesondere ausgebildet, das vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zu implementieren. Das System weist somit dieselben Vorteile auf wie das erfindungsgemäße Verfahren.

[0059] Dabei kann die Erfassungseinheit ferner zumindest einen weiteren Sensortyp umfassen. Dadurch werden vorteilhafterweise Daten auf einander ergänzende Weisen erfasst und es wird durch mehrfache Detektion Redundanz erzeugt, die das Verfahren robuster macht. Verschiedene Sensortypen nutzen dabei insbesondere verschiedene Detektionsprinzipien. Beispielsweise kann eine Kamera, ein Laserscanner, ein RADAR-Detektor und/oder ein anderer Sensor vorgesehen sein.

[0060] Das erfindungsgemäße Fahrzeug umfasst ein erfindungsgemäßes System wie oben beschrieben.

[0061] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug zu den Zeichnungen erläutert.

[0062] Fig. 1A und Fig. 1B zeigen ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Systems,

[0063] Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer landmarkenbasierten Lokalisierung,

[0064] Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Erfassung von Landmarken,

[0065] Fig. 4A und Fig. 4B zeigen eine Erzeugung eines konsistenten Umfeldmodells,

[0066] Fig. 5 zeigt ein Durchführen einer partikelfilterbasierten Lokalisierung und

[0067] Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Updatefunktionalität.

[0068] Mit Bezug zu den Fig. 1A und Fig. 1B wird ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Systems beschrieben.

[0069] Ein Fahrzeug **1** umfasst eine Erfassungseinheit **3**, die wiederum einen Laserscanner **3a**, eine Kamera **3b** und einen GPS-Sensor **3c** umfasst. Die Erfassungseinheit **3** ist mit einer Steuereinheit **4** gekoppelt. Ferner sind mit der Steuereinheit **3** gekoppelt: Eine Recheneinheit **6**, ein Fahrerassistenzsystem **12** und eine Schnittstelle **5**. Die Recheneinheit **6** umfasst eine Akkumulationseinheit **7**, eine Segmentierungseinheit **8**, eine Landmarkenerkennungseinheit **9** und eine Trackingeinheit **10**. Die Steuereinheit umfasst ferner eine Ausgabereinheit **11**.

[0070] Die Schnittstelle **5** ist in dem Ausführungsbeispiel datentechnisch verbunden mit einem externen Server **2**. Die datentechnische Verbindung wird durch die Schnittstelle **5** auf an sich bekannte Weise hergestellt und erfolgt in dem Ausführungsbeispiel drahtlos über das Internet. Dabei wird die Verbindung über ein Telefonnetzwerk hergestellt. In weiteren Ausführungsbeispielen wird die Verbindung auf andere Weise hergestellt, etwa mittelbar über ein mit dem Internet verbundenes Mobiltelefon, das selbst eine Verbindung zu dem externen Server **2** herstellen kann.

[0071] Die Erfassungseinheit **3** kann in weiteren Ausführungsbeispielen alternativ oder zusätzlich auch weitere Sensoren umfassen, die insbesondere andere Detektionsprinzipien nutzen. Beispielsweise können Lidar-, Radar- oder Ultraschallsensoren, Kameras im Bereich des sichtbaren Lichts oder Infrarotkameras sowie Time-of-Flight- oder Stereo-Kameras vorgesehen sein.

[0072] Der in dem Ausführungsbeispiel vorgesehene GPS-Sensor **3c** ist nach an sich bekannter Weise gebildet und ermöglicht das Erfassen einer Position mittels eines Navigationssatellitensystems wie etwa des Global Positioning System (GPS). Alternativ oder zusätzlich können andere Positionierungssysteme verwendet werden, um eine Positionsbestimmung des Fahrzeugs **1** vorzunehmen.

[0073] Ferner ist in dem Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass Daten von weiteren Sensoren des Fahrzeugs **1** erfasst werden. Dabei werden Daten erfasst, welche die Bewegung und Führung des Fahrzeugs **1** betreffen. Insbesondere werden die Geschwindigkeit und Beschleunigung erfasst sowie die Bewegungsrichtung und der Lenkeinschlag.

[0074] Das Fahrerassistenzsystem **12** ist eine Einrichtung des Fahrzeugs **1**, welche den Fahrer beim Führen des Fahrzeugs **1** unterstützt. Das Fahrerassistenzsystem **12** in dem Ausführungsbeispiel kann als reines Informationssystem agieren, welches den Fahrer unterstützt, es kann jedoch auch voll- oder teilautomatisch die Fortbewegung des Fahrzeugs **1** beeinflussen, wobei in Steuerungsfunktionen eingegriffen wird.

[0075] Ohne das Fahrerassistenzsystem beeinflusst der Fahrer direkt die Bewegung des Fahrzeugs **1**. Es werden allenfalls Signale oder Bewegungen von vom Fahrer betätigten Bedienelementen, wie der Pedalerie, dem Schaltknüppel oder dem Lenkrad, an entsprechende Einrichtungen des Fahrzeugs **1** übertragen, welche die Fortbewegung des Fahrzeugs **1** beeinflussen. Eine derartige Fortbewegung des Fahrzeugs **1** entspricht dem geringsten Grad der Automatisierung. Bei einem höheren Grad der Automatisierung wird zum Teil automatisch in Einrichtungen eingegriffen, welche der Fortbewegung des Fahrzeugs **1** dienen. Beispielsweise wird in die Lenkung des Fahrzeugs oder die Beschleunigung in positiver oder negativer Richtung eingegriffen. Bei einem noch höheren Grad der Automatisierung wird soweit in Einrichtungen des Fahrzeugs eingegriffen, dass bestimmte Fortbewegungsarten des Fahrzeugs, zum Beispiel eine Geradeausfahrt, automatisch ausgeführt werden können. Beim höchsten Grad der Automatisierung kann eine vorgegebene Route im Wesentlichen automatisch gefahren werden.

[0076] Dabei wird zum Betrieb des in dem Ausführungsbeispiel vorgesehenen Fahrerassistenzsystems **12** eine möglichst genaue Kenntnis der Position des Fahrzeugs **1** vorausgesetzt. Insbesondere wird die Kenntnis einer genauen Position auf der Fahrbahn benötigt, um beispielsweise eine Führung des Fahrzeugs **1** in Quer- und/oder Längsrichtung zu erlauben und etwa eine bestimmte Fahrspur oder Trajektorie automatisiert befahren zu können.

[0077] In **Fig. 1B** sind einige Elemente eines typischen Verkehrsumfeldes des Fahrzeugs **1** dargestellt. Die Zeichnungen sind selbstverständlich als prinzipielle Skizzen zu verstehen, bei denen den verwendeten Maßstäben und Größenverhältnissen keine Bedeutung zukommt.

[0078] Als Verkehrsumfeld wird dabei das räumliche Umfeld der Position des Fahrzeugs **1** verstanden, vor allem die für den Verkehr in diesem Umfeld relevanten Eigenschaften. Das Verkehrsumfeld kann daher beispielsweise andere Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs **1** umfassen (in **Fig. 1B** wurden diese zur Vereinfachung nicht dargestellt), ferner können Fahrbahnmarkierungen und Verkehrszeichen, Infrastruktureinrichtungen und andere Merkmale umfasst sein, beispielsweise Bauwerke, Vegetation oder topographische Besonderheiten in dem Umfeld. Der räumliche Bereich wird dabei im Wesentlichen dadurch bestimmt, mit welcher Reichweite Daten im Umfeld erfasst werden können sowie in welchem Umfeld Landmarken zur Lokalisierung genutzt werden können.

[0079] Das Fahrzeug **1** befindet sich auf einer Fahrspur **18a** einer Fahrbahn **18**, die ferner eine weitere Fahrspur **18b** umfasst. Zwischen den Fahrspuren **18a**, **18b** verläuft eine Leitlinie **16**, die mehrere Teillinien umfasst und an die sich eine Fahrstreifenbegrenzung **15** in Form einer durchgezogenen Linie anschließt. Die Fahrbahn **18** ist ferner an den äußeren Rändern durch Fahrbahnbegrenzungen **14** begrenzt. Am Rand der Fahrbahn **18** sind ferner Leitpfosten **13** angeordnet.

[0080] Ferner ist ein Erfassungsbereich **17** der Erfassungseinheit **3** des Fahrzeugs **1** angedeutet. In dem Ausführungsbeispiel sind insbesondere der Laserscanner **3a** und die Kamera **3b** der Erfassungseinheit **3** des Fahrzeugs **1** so eingerichtet, dass sie in dem Erfassungsbereich **17** Daten über das Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1** erfassen. Dabei können verschiedene Sensoren der Erfassungseinheit **3** unterschiedliche Erfassungsbereiche aufweisen.

[0081] Mit Bezug zu **Fig. 2** wird ein Ausführungsbeispiel einer landmarkenbasierten Lokalisierung erläutert. Dabei wird von dem mit Bezug zu den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** erläuterten System ausgegangen.

[0082] In einem ersten Schritt **S1a** bis **S1n** werden Datensätze durch eine Anzahl von n Sensoren der Erfassungseinheit **3** des Fahrzeugs **1** erfasst, also etwa durch den Laserscanner **3a** und die Kamera **3b**. Dabei ist in **Fig. 2** jeweils ein separater Schritt **S1a** bis **S1n** für eine Anzahl von n Sensoren vorgesehen.

[0083] Die erfassten Daten werden in einem weiteren Schritt **S2a** bis **S2n** ausgewertet, wobei Landmarken detektiert und Landmarkenbeobachtungen erzeugt werden. Auch hierfür ist **Fig. 2** jeweils ein separater Schritt **S2a** bis **S2n** für alle n Sensoren vorgesehen.

[0084] Die „Landmarkenbeobachtungen“ umfassen alle Informationen über eine bestimmte Sichtung einer bestimmten Landmarke innerhalb der im Schritt S1a bis S1n erfassten Daten. Den Landmarkenbeobachtungen sind jeweils Zeitpunkte zugeordnet, insbesondere ist dies der Zeitpunkt der Erfassung der entsprechenden Datensätze. Ferner umfassen die Landmarkenbeobachtungen Relativpositionen relativ zum Fahrzeug **1** sowie Parameter, welche den bei einer Sichtung detektierten Zustand der Landmarke charakterisieren, etwa die Ausdehnung der detektierten Landmarke.

[0085] Der in den Schritten S1a bis S1n und S2a bis S2n ausgeführte Teil des Verfahren ist unten mit Bezug zu **Fig. 3** näher erläutert.

[0086] In einem weiteren Schritt S3 wird ein Tracking und eine Fusion der zuvor erfassten Daten durchgeführt. Dabei werden Daten eines konsistenten Umfeldmodells erzeugt, das heißt, die Informationen über das Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1** werden so zusammengeführt, dass die für eine landmarkenbasierte Lokalisierung relevanten Daten verfügbar sind. Insbesondere umfasst das Umfeldmodell Daten der Landmarkenbeobachtungen, etwa Daten über Landmarken im Verkehrsumfeld sowie die Positionen der Landmarken.

[0087] Die in Schritt S3 ausgeführte Erzeugung eines konsistenten Umfeldmodells ist unten mit Bezug zu **Fig. 4** näher erläutert.

[0088] In einem Schritt S4 wird eine Schätzposition des Fahrzeugs **1** erfasst. Dies wird im Ausführungsbeispiel mittels des GPS-Sensors **3c** der Erfassungseinheit **3** ausgeführt, wobei in weiteren Ausführungsbeispielen alternativ oder zusätzlich andere Verfahren zur Bestimmung der Schätzposition verwendet werden können. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Genauigkeit, mit der die Schätzposition des Fahrzeugs **1** bestimmt werden kann, für den Betrieb des Fahrerassistenzsystems **12** nicht ausreicht. Beispielsweise kann die Schätzposition bis auf 1 m genau bestimmt werden, wohingegen eine Führung des Fahrzeugs **1** entlang einer Trajektorie eine deutlich höhere Genauigkeit erfordert.

[0089] Die Schätzposition wird bei dem Ausführungsbeispiel in einem Schritt S6 mittels der Schnittstelle **5** an den externen Server **2** übertragen und dieser stellt im Sinne eines „elektronischen Horizonts“ Referenzkartendaten bereit und überträgt sie an das Fahrzeug **1**. Der Schritt S6 erfolgt insbesondere im Rahmen eines Abrufs der Referenzkartendaten von dem externen Server **3**. Die Referenzkartendaten umfassen Daten zu Landmarken in dem Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1**. Mithilfe der Schätzposition kann bestimmt werden, welche für das Verkehrsumfeld des Fahrzeug **1** relevanten Daten die Referenzkartendaten umfassen sollen.

[0090] Insbesondere sind die Referenzkartendaten und die Daten des Umfeldmodells so strukturiert, dass sie miteinander verglichen werden können, etwa indem Positionen von Landmarken in den jeweiligen Daten miteinander abgeglichen werden können.

[0091] Bei weiteren Ausführungsbeispielen ist vorgesehen, dass die Referenzkartendaten alternativ oder zusätzlich von einer Speichereinheit des Fahrzeugs **1** abgerufen werden. In diesem Fall ist eine datentechnische Verbindung zu dem externen Server **2** nicht erforderlich und das Verfahren kann zum Beispiel unter den Bedingungen einer lückenhaften Netzwerkanbindung betrieben werden.

[0092] In einem weiteren Schritt S5 wird eine Eigenbewegungsschätzung durchgeführt. Dabei werden insbesondere Daten von Fahrzeugsensoren verwendet, etwa für die Geschwindigkeit, Beschleunigung, Neigung, Richtung, Lenkeinschlag und weitere für die Bewegung des Fahrzeug **1** relevante Daten. Anhand dieser Daten kann bestimmt werden, wie sich das Fahrzeug **1** bewegt, wobei insbesondere mit höherer Genauigkeit bestimmt wird, an welcher Position sich das Fahrzeug **1** zu dem Zeitpunkt befindet, in dem ein Datensatz mittels der Erfassungseinheit **3** erfasst wird. Insbesondere kann damit die Änderung der Position des Fahrzeugs **1** seit dem letzten Erfassen einer Schätzposition bestimmt werden.

[0093] Die in den Schritten S4 und S5 bestimmte Schätzposition und Eigenbewegungsschätzung werden neben den Daten der Landmarkenbeobachtungen für die Erstellung des konsistenten Umfeldbildes durch Tracking und Fusion in Schritt S3 berücksichtigt.

[0094] Anhand des Umfeldbildes und der Referenzkartendaten wird in einem Schritt S7 eine partikelfilterbasierte Lokalisierung vorgenommen. Dabei werden anhand der Daten des Umfeldmodells und der Referenzkartendaten statistisch Hypothesen für die Position bestimmt, wobei die Hypothesen als „Partikel“ repräsentiert werden. Es werden mittels eines Gewichtungsverfahrens anhand der Referenzkartendaten Wahrscheinlichkeiten der Hypothesen bestimmt es wird die wahrscheinlichste Position bestimmt.

[0095] Weitere Einzelheiten zu dem in Schritt S7 verwendeten Verfahren sind unten mit Bezug zu **Fig. 5** näher erläutert.

[0096] In einem weiteren Schritt S8 erfolgt eine Ausgabe der Position, wobei in dem Ausführungsbeispiel die bestimmte Position mittels der Ausgabeeinheit **11** an das Fahrerassistenzsystem **12** übertragen wird. Alternativ oder zusätzlich kann die Position in diesem Schritt an verschiedene Einheiten des Fahrzeugs oder fahrzeugexterne Einheiten übertragen werden.

[0097] Mit Bezug zu **Fig. 3** wird ein Ausführungsbeispiel einer Erfassung von Landmarken erläutert. Dabei wird von dem mit Bezug zu den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** erläuterten System ausgegangen. Insbesondere können die nachfolgend beschriebenen Schritte als Teil der oben mit Bezug zu **Fig. 2** erläuterten landmarkenbasierten Lokalisierung verstanden werden. Das hier für einen Sensor erläuterte Verfahren kann insbesondere auf die durch die Sensoren des Systems erfassten Daten jeweils angewandt werden.

[0098] In einem ersten Schritt S1a werden durch einen der Sensoren der Erfassungseinheit **3** des Fahrzeugs **1** Datensätze erfasst. Insbesondere wird hier der Sonderfall betrachtet, dass Daten durch den Laserscanner **3a** erfasst werden, das Verfahren ist aber mit entsprechenden Modifikationen auf andere Sensoren übertragbar.

[0099] Die erfassten Datensätze umfassen Datenpunkte, wobei die einzelnen Datensätze jeweils die Datenpunkte umfasst, die bei einer Periode des Schwenkens des Laserstrahls des Laserscanners **3a** erfasst werden. Insbesondere wird für jeden Datenpunkt ein Entfernungswert erfasst sowie Daten zur Reflexion der Oberfläche, von welcher der Laserstrahl zurückgeworfen wird. Die Erfassung der Daten erfolgt dabei periodisch durch regelmäßiges Schwenken des Laserstrahls über einen bestimmten Winkelbereich.

[0100] Optional kann in diesem ersten Schritt eine Filterung vorgenommen werden. Insbesondere kann ein geeigneter Laserscanner **3a** bereits eine integrierte Klassifizierung der Datenpunkte bereitstellen, die etwa Informationen darüber umfasst, ob bei einem Datenpunkt ein Oberflächenpunkt auf der Fahrbahn **18** detektiert wurde.

[0101] Beispielsweise können alle anderen Datenpunkt außer denen auf der Fahrbahn vernachlässigt werden, wenn Fahrbahnmarkierungen als Landmarken erfasst werden sollen.

[0102] In einem weiteren Schritt S21a wird eine Akkumulation durchgeführt. In einem Sonderfall können dabei die Datenpunkte eines einzelnen Datensatzes, hier also eines Scans des Laserscanners **3a**, bereits eine ausreichende Datenbasis bilden, sodass eine Akkumulation der Datenpunkte eines Datensatzes vorgenommen wird. In anderen Fällen können die Datenpunkte mehrerer erfasster Datensätze akkumuliert werden. Die akkumulierten Daten bilden die Ausgangsdaten, anhand derer anschließend die weitere Verarbeitung durchgeführt wird.

[0103] Dabei können die Datenpunkte insbesondere in einem Ringspeicher abgelegt werden, bei dem stets die neu erfassten Datenpunkte gespeichert werden, während gleichzeitig die älteren Datenpunkte gelöscht werden. Das heißt, es werden stets die aktuellsten Daten eines bestimmten Zeitraums oder eines bestimmten Datenvolumens bereitgestellt.

[0104] In einem weiteren Schritt S22a wird eine Segmentierung anhand der Ausgangsdaten vorgenommen. Dabei werden solche Datenpunkte jeweils einem Segment zugeordnet, die zusammengehörig erscheinen. Insbesondere kann dafür ein Euclidean Cluster Extraction Algorithm verwendet werden, bei dem solche Punkte einem gemeinsamen Segment zugeordnet werden, die weniger als einen bestimmten Maximalabstand zueinander aufweisen. Alternativ oder zusätzlich können andere Verfahren zur Segmentierung verwendet werden.

[0105] In einem anschließenden Schritt S23a werden die Segmente mittels einer Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA) analysiert und es wird für jedes der Segmente eine Näherungsellipse bestimmt. Dabei werden Landmarkenparameter für jedes der Segmente bestimmt, die insbesondere die bestimmte Näherungsellipse eindeutig definieren. Insbesondere umfassen die Landmarkenparameter einen Richtungsparameter, einen Längenparameter, einen Breitenparameter sowie eine Start- und eine Endposition. Ferner können die Varianzen für die jeweiligen Werte bestimmt werden. Dabei können die Landmarkenparameter anhand der PCA insbesondere in einem Schritt bestimmt werden.

[0106] In einem Schritt S24a wird eine Klassifizierung der Segmente anhand der bestimmten Landmarkenparameter vorgenommen. Dabei sind insbesondere drei Klassen vorgesehen, nämlich punktbasierte, linienba-

sierte und polylinienbasierte Landmarken. Punktbasierte Landmarken sind durch eine bestimmte Ausdehnung und eine Position charakterisiert.

[0107] Linienbasierte Landmarken weisen eine Start- und eine Endposition auf, während polylinienbasierte Landmarken zusätzliche Zwischenpositionen aufweisen.

[0108] Beispielsweise können durchgehende Linien als polylinienbasierte Landmarken erkannt werden, da für sie weder eine klarer Start- noch ein klarer Endpunkt detektiert wird. Insbesondere können solche Linien als durchgehende Linien charakterisiert werden, die sich über den Erfassungsbereich **17** der Erfassungseinheit **2** hinaus erstrecken und nicht vollständig von den Datenpunkten erfasst sind.

[0109] Für die Landmarkenparameter sind insbesondere Positionen definiert. Das heißt, für eine mittels PCA bestimmten Näherungsellipse ist zumindest eine Position bestimmt, die zunächst relativ zu der Erfassungseinheit **3** beziehungsweise zum Fahrzeug **1** angegeben wird.

[0110] Anhand der bestimmten Landmarkenparameter kann eine Filterung vorgenommen werden, die insbesondere eine Plausibilitätsprüfung umfasst. Dabei wird etwa geprüft, ob die Länge und Breite von detektierten linienbasierten Landmarken im Einklang mit gesetzlichen Vorschriften zu den Abmessungen von so geformten Fahrbahnmarkierungen steht. Insbesondere sind den Landmarkenbeobachtungen jeweils Elemente einer Straßeninfrastruktur zugeordnet, also etwa Teile oder ganze Elemente der in **Fig. 1B** dargestellten Leitlinie **16**, der Fahrbahnbegrenzung **14**, der Fahrstreifenbegrenzung oder der Leitpfosten **13**.

[0111] Ferner kann anhand bestimmter Varianzen bestimmt werden, ob eine Landmarke, etwa eine Fahrbahnmarkierung, mit ausreichender Sicherheit detektiert wurde. Es können weitere Filterschritte angewandt werden, um schlecht oder falsch erkannte Landmarken auszuschließen.

[0112] In einem Schritt S25a werden schließlich Landmarkenbeobachtungen erzeugt, das heißt, die zu den erfassten Datenpunkten bestimmten Informationen werden so zusammengefasst, dass sie alle für die weitere Verarbeitung relevanten Daten für eine landmarkenbasierte Lokalisierung umfassen. Die einzelnen Landmarkenbeobachtungen sind dabei jeweils einer Landmarke zugeordnet, das heißt, eine Landmarkenbeobachtung umfasst Daten, die bei einer Sichtung der Landmarke bestimmt wurden und die daher den detektierten Zustand einer Landmarke zum Zeitpunkt der Erfassung zugeordnet werden können.

[0113] Die erzeugten Landmarkenbeobachtungen geben insbesondere einen Zustandsvektor einer Landmarke an, wobei die Daten dafür sich je nach dem Typ der Landmarke unterscheiden: Der Zustandsvektor s^{PO} einer punktbasierten Landmarkenbeobachtung wird angegeben als

$$s^{PO} = \begin{pmatrix} p^{vrf} \\ \Sigma_p \\ p^{wgs} \\ \text{Durchmesser} \\ \text{Höhe} \\ \text{Zeitstempel} \\ \text{Sensor}^{ID} \\ \text{Belief} \\ ID \end{pmatrix},$$

der Zustandsvektor s^{DL} einer linienbasierten Landmarkenbeobachtung als

$$s^{DL} = \begin{pmatrix} (p_1^{vrf}, p_2^{vrf}) \\ (\Sigma_{p_1}, \Sigma_{p_2}) \\ (p_1^{wgs}, p_2^{wgs}) \\ \text{Länge} \\ \text{Breite} \\ \text{Zeitstempel} \\ \text{Sensor}^{ID} \\ \text{Belief} \\ ID \end{pmatrix} \text{ und}$$

der Zustandsvektor s^{PL} einer polylinienbasierten Landmarkenbeobachtung als

$$s^{PL} = \begin{pmatrix} (p_1^{vrf}, \dots, p_n^{vrf}) \\ (\Sigma_{p_1}, \dots, \Sigma_{p_n}) \\ (p_1^{wgs}, \dots, p_n^{wgs}) \\ \text{Länge} \\ \text{Breite} \\ \text{Zeitstempel} \\ \text{Sensor}^{ID} \\ \text{Belief} \\ ID \end{pmatrix}.$$

[0114] Dabei bezeichnen p_n^{vrf} Koordinaten im Fahrzeugkoordinatensystem und p_n^{wgs} Koordinaten im globalen Koordinatensystem, wobei jeder Punkt als Tripel $p = (x, y, z)$ angegeben wird. Ferner werden Unsicherheiten Σ_{p_n} angegeben. Der Zeitpunkt der Wahrnehmung ist im Feld „Zeitstempel“ angegeben, ebenso die Identifikation des Sensors als „Sensor^{ID}“ und die Identifikation der Landmarkenbeobachtung als „ID“. Das Feld „Belief“ wird bei der weiteren Verarbeitung der Landmarkenbeobachtungen für statistische Einträge einer Wahrscheinlichkeit benötigt. Die Charakterisierung der erfassten Landmarken wird durch die Felder „Durchmesser“, „Höhe“, „Länge“ und „Breite“ angegeben.

[0115] Alternativ oder zusätzlich können die Zustandsvektoren andere Elemente umfassen, beispielsweise eine Fläche oder einen Reflexionsgrad.

[0116] Die im Schritt S25a erzeugten Landmarkenbeobachtungen können ausgegeben und an ein Modul oder eine Einheit zur Weiterverarbeitung übertragen werden. Insbesondere kann damit der mit Bezug zu **Fig. 2** beschriebene Schritt S3 durchgeführt werden. Dabei können ferner Landmarkenbeobachtungen der n Sensoren zusammengefasst werden, etwa in einer bestimmten Datenstruktur, wobei insbesondere die oben beschriebenen Zustandsvektoren verwendet werden können.

[0117] Mit Bezug zu den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** wird eine Erzeugung eines konsistenten Umfeldmodells erläutert. Dabei wird von dem mit Bezug zu den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** erläuterten System ausgegangen. Insbesondere können die nachfolgend beschriebenen Schritte als Teil der oben mit Bezug zu **Fig. 2** erläuterten landmarkenbasierten Lokalisierung verstanden werden. Bei der landmarkenbasierten Lokalisierung wird insbesondere in einer ersten Schicht eine sensor- und landmarkenspezifische Vorverarbeitung der Rohdaten durchgeführt und in einer zweiten Schicht wird mittels eines Tracking- und Fusionsverfahrens ein konsistentes Umfeldmodell aufgebaut. In einer dritten Schicht wird schließlich anhand des Umfeldmodells eine Karte aufgebaut.

[0118] Die beschriebenen Verfahrensschritte können insbesondere in einem Tracking- und Fusionsmodul zusammengefasst werden, wobei dies insbesondere durch die Trackingeinheit **10** ausgeführt wird. Dabei werden die erfassten Landmarkenbeobachtungen zu einem konsistenten Landmarkenumfeldmodell, im Folgenden als „Umfeldmodell“ bezeichnet, fusioniert und stabilisiert. Die dabei zu lösenden Probleme beziehen sich insbesondere darauf, dass die Datensätze zu verschiedenen Zeitpunkten und daher während einer Bewegung des Fahrzeugs **1** auch an verschiedenen Positionen erfasst werden. Zudem sollen Fehldetektionen erkannt und entfernt werden.

[0119] Zunächst werden Landmarkenbeobachtungen empfangen, die jeweils bestimmten Zeitpunkten und Relativpositionen relativ zum Fahrzeug **1** zugeordnet sind. Dies erfolgt insbesondere anhand des oben mit Bezug zu **Fig. 3** beschriebenen Verfahrens. Dieser vorbereitende Schritt beschreibt eine sensorbasierte Schicht des Verfahrens.

[0120] Anhand der Schätzposition (siehe **Fig. 2**, Schritt S4) und der Eigenbewegungsschätzung (siehe **Fig. 2**, Schritt S5) werden den Landmarkenbeobachtungen geschätzte absolute Positionen zugeordnet. Es kann also während der fortlaufenden Bewegung des Fahrzeugs **1** ein Koordinatensystem nachgeführt werden und das Relativkoordinatensystem des Fahrzeugs **1** kann durch Transformation in ein globales Koordinatensystem überführt werden.

[0121] In einem ersten Schritt S31 wird eine zeitliche Synchronisierung durchgeführt. Diese ist in **Fig. 4B** im Detail gezeigt. Parallel zu einer Zeitachse (t) sind Achsen für jeden Sensor **3a**, **3b**, **3n** der Erfassungseinheit **3** dargestellt. Ferner ist eine Achse (T) für die sogenannten Tracks dargestellt, zu denen die Landmarkenbeobachtungen zu bestimmten Zeitpunkten zusammengeführt werden. Ein Track repräsentiert dabei die zu einer realen Landmarke erfassten, fusionierten und synchronisierten Daten.

[0122] Zu bestimmten Zeitpunkten u_t , die als gestrichelte Linien dargestellt sind, werden Daten über die Eigenbewegung des Fahrzeugs **1** empfangen. Dabei werden jeweils Mengen von Landmarkenbeobachtungen B_t^n bereitgestellt, die insbesondere als ein Datenobjekt von einem der n Sensoren ausgegeben werden. Die Landmarkenbeobachtungen B_t^n sind hier als fette senkrechte Linien dargestellt. Die Landmarkenbeobachtungen B_t^n werden nicht synchron mit einander und mit den Daten zur Eigenbewegung des Fahrzeugs erfasst, sodass die Bewegung während der Zeitdifferenz zwischen zwei Zeitpunkten ausgeglichen werden muss, um die Daten vergleichen zu können. Dies ist durch waagrechte gestrichelte Pfeile dargestellt. Die Landmarkenbeobachtungen B_t^n werden so lange gepuffert, bis Daten für einen neuen Bewegungsschritt vorliegen. Dann werden die Landmarkenbeobachtungen B_t^n für jeden Sensor **3a**, **3b**, **3n** für die Zeitpunkte u_t synchronisiert. Durch geschwungene Pfeile nach unten wird verdeutlicht, dass diese synchronisierten Daten zu Tracks T_t fusioniert werden. Die so erzeugten Tracks werden mit jedem Bewegungsschritt nachverfolgt. Damit liegen also die Landmarkenbeobachtungen der B_{t-1}^n und T_{t-1} im Koordinatensystem zum Zeitpunkt t des Bewegungszustandes u_t vor.

[0123] In einem weiteren Schritt S32 werden Abstandsberechnungen für Landmarkenbeobachtungen und Landmarken der Tracks vorgenommen, um korrespondierende Landmarkenbeobachtungen der B_t^n den Tracks T_t zuzuordnen. Dabei können zunächst punkt-, linien- und polylinienbasierte Landmarken gruppiert werden, da nur sie untereinander korrespondieren können.

[0124] Mittels an sich bekannter Verfahren wird ein Gating ausgeführt, wobei nur Landmarkenbeobachtungen B_t^n in einem bestimmten Umfeld der jeweiligen Tracks T_t für die Assoziierung infrage kommen.

[0125] Es wird nun bestimmt, ob eine Landmarkenbeobachtung B_t^n einem bestimmten Track T_t zuzuordnen ist. Dies wird anhand der räumlichen Nähe zwischen beiden Punkten bestimmt. Um die Abstände zu berechnen, werden in dem Ausführungsbeispiel die folgenden Verfahren herangezogen:

Für punktbasierte Landmarken wird der Zustandsvektor s^{PO} einer punktbasierten Landmarke betrachtet, bei dem die Position zur Zeit t als Punkt $p = (x, y, z)$ im Fahrzeug-Koordinatensystem vrf angegeben wird. Es soll nun eine Distanzfunktion d^{PO} zwischen einem Punkt \vec{p}_h einer Landmarkenbeobachtung $b_h^{s^{PO}}$ und einem Punkt \vec{p}_r eines Tracks $t_r^{s^{PO}}$ berechnet werden. Dabei ist ein Vektor zwischen \vec{p}_h und \vec{p}_r gegeben als \vec{z}_{p_r, p_h} . Es wird eine Berechnung der Mahalanobisdistanz durchgeführt anhand der Gleichung

$$d^{PO} \left(b_h^{s^{PO}}, t_r^{s^{PO}} \right) = \sqrt{\left(\vec{z}_{p_r, p_h} \right)^T \cdot S^{-1} \cdot \vec{z}_{p_r, p_h}}$$

wobei S^{-1} die inverse Kovarianzmatrix der Track-Landmarke $t_r^{s^{PO}}$ bezeichnet.

[0126] Bei linienbasierten Landmarken umfassen die Landmarkenbeobachtungen Start- und Endpunkte. Die Bestimmung eines geometrischen Abstands ist mit typischen Methoden nicht so eindeutig möglich, da beispielsweise unter Vertauschung von Start- und Endpositionen deutlich andere Ergebnisse zu erwarten sind. Aus diesem Grund wird hier die Abstandsmetrik nach der Mahalanobisgleichung modifiziert.

[0127] Betrachtet werden eine Landmarkenbeobachtung $b_i^{s^{DL}}$ mit Startpunkt \vec{s}_i und Endpunkt \vec{e}_i sowie eine Landmarke eines Tracks $t_o^{s^{DL}}$ mit Startpunkt \vec{s}_o und Endpunkt \vec{e}_o . Es können nun Distanzen zwischen Start- und Endpunkten von $b_i^{s^{DL}}$ und $t_o^{s^{DL}}$ berechnet werden, wobei sich vier Kombinationsmöglichkeiten (Abstandsmessungen Startposition 1 – Startposition 2; Endposition 1 – Startposition 2; Startposition 1 – Endposition 2; Endposition 1 – Endposition 2) ergeben:

$$\kappa_{s_o, s_i} = \sqrt{(\vec{s}_o - \vec{s}_i)^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{s}_o - \vec{s}_i)},$$

$$\kappa_{e_o, e_i} = \sqrt{(\vec{e}_o - \vec{e}_i)^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{e}_o - \vec{e}_i)},$$

$$\kappa_{s_o, e_i} = \sqrt{(\vec{s}_o - \vec{e}_i)^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{s}_o - \vec{e}_i)},$$

$$\kappa_{e_o, s_i} = \sqrt{(\vec{e}_o - \vec{s}_i)^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{e}_o - \vec{s}_i)},$$

wobei mit S^{-1} wieder die inverse Kovarianzmatrix der Track-Landmarke $t_o^{s^{DL}}$ bezeichnet wird.

[0128] In der Folge können Werte für ein quadratisches Mittel (QM) berechnet werden gemäß der Formel:

$$QM_{ss,ee} = \frac{(\kappa_{s_o, s_i})^2 + (\kappa_{e_o, e_i})^2}{2}$$

$$QM_{se,es} = \frac{(\kappa_{s_o, e_i})^2 + (\kappa_{e_o, s_i})^2}{2}$$

[0129] Abschließend kann die Distanzfunktion d^{DL} berechnet werden nach:

$$d^{DL}(b_i^{s^{DL}}, t_o^{s^{DL}}) = \min(\sqrt{DQVS_{ss,ee}}, \sqrt{DQVS_{se,es}}).$$

[0130] Alternativ oder zusätzlich können weitere Verfahren zum Bestimmen der Abstandsmetrik verwendet werden.

[0131] Eine weitere Abstandsmetrik ist für polylinienbasierte Landmarken, das heißt Linienzüge, definiert. Dabei werden neben den Start- und Endpositionen ferner Zwischenpunkte berücksichtigt, um ein Abstandsmaß zu bestimmen. Insbesondere wird eine Fläche zwischen den Linienzügen bestimmt.

[0132] Es wird eine Landmarkenbeobachtung $b_k^{s^{PL}}$ betrachtet, deren Verlauf als zusammenhängende Punktliste (p_1, p_2, \dots, p_i) modelliert wird, und eine Landmarkenbeobachtung $t_i^{s^{PL}}$, mit der zusammenhängenden Punktliste (p_1, p_2, \dots, p_q) . Um die zwischen den Polylinien eingeschlossene Fläche zu bestimmen, wird zunächst eine Projektion der Linienzüge aufeinander durchgeführt und die Linienzüge werden so abgeschnitten, dass nur diejenigen Abschnitte der Linienzüge weiter verarbeitet werden, die jeweils einem Abschnitt eines anderen Linienzugs gegenüberliegen.

[0133] Dazu können die Punkte entlang der beiden Linienzüge bestimmt werden, bei denen eine lotrechte Verbindung zu einem Endpunkt des jeweils anderen Linienzugs bestimmt werden kann. An diesen Stellen wird das Abschneiden durchgeführt. Dadurch wird beispielweise vermieden, dass Längenunterschiede der Linienzüge zu einer Überschätzung oder Unterschätzung des Abstandsmaßes führen.

[0134] Die von den Linienzügen eingeschlossene Fläche wird beispielsweise mittels der Gaußschen Trapezformel berechnet. Dazu wird das von den Linienzügen eingeschlossene Polygon zunächst anhand von Kreuzungen der Linienzüge, soweit vorhanden, in Subpolygone geteilt. Anschließend werden die Flächen der Subpolygone summiert und anhand der Länge der Abschnitte der Linienzüge normiert.

[0135] Als Kriterium für die Zuordnung der korrespondierenden Landmarkenbeobachtungen zu den Landmarken der Tracks wird die geringste Distanz als Kriterium verwendet, wobei das Greedy-Nearest-Neighbor-Verfahren angewandt werden kann. Alternativ oder zusätzlich können andere Verfahren, etwa die ungarische Methode, für die Zuordnung verwendet werden.

[0136] In einem weiteren Schritt S33 wird ein Track Management durchgeführt, wobei den Landmarken Wahrscheinlichkeiten zugeordnet und verändert werden, wobei ein Sequential Probability Ratio Test (SPRT) angewandt wird, um zu prüfen, ob eine detektierte Landmarke einer tatsächlichen Landmarke im Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1** entspricht.

[0137] Wird beispielsweise zu einem Zeitpunkt eine Landmarke beobachtet und zu einem anderen Zeitpunkt nicht mehr, so kann geprüft werden, ob eine reale Landmarke detektiert wurde oder ob eine Fehldetektion vorliegt. Wird andererseits eine Landmarke in mehreren aufeinander folgenden Landmarkenbeobachtungen detektiert, so wird dies als Bestätigung bewertet und der Wert der zugeordneten Wahrscheinlichkeit steigt.

[0138] In dem Ausführungsbeispiel wird den detektierten Landmarken zunächst die gleiche Wahrscheinlichkeit zugeordnet, die Wahrscheinlichkeit wird erhöht, wenn die Landmarke bestätigt wird, und erniedrigt, wenn die Landmarke nicht bestätigt wird. Wenn der Wert der Wahrscheinlichkeit einen bestimmten Schwellenwert über- oder unterschreitet wird die Hypothese, dass es sich um eine Detektion einer tatsächlichen Landmarke handelt, akzeptiert beziehungsweise verworfen. Dadurch wird mittels des SPRT als statistischem Test bestimmt, welche Landmarken weiterhin berücksichtigt werden sollen.

[0139] Dabei werden eine Nullhypothese H_0 („Alle Beobachtungen stammen von einer falschen Detektion“) und eine Alternativhypothese H_1 („Alle Beobachtungen stammen von einer echten Detektion“) überprüft. Es wird also geprüft, mit welcher Sicherheit anhand einer Landmarkenbeobachtung eine reale Landmarke detektiert wurde. Diese Prüfung erfolgt anhand des Likelihood-Quotienten LR:

$$LR = \frac{p(D|H_1)}{p(D|H_0)} = \frac{p(D|H_1)}{1-p(D|H_1)} = \frac{P_T}{P_F} = \frac{P_T}{1-P_T},$$

wobei P_T und P_F die zu den Hypothesen (H_0/H_1 beziehungsweise true/false) gehörigen Wahrscheinlichkeiten und D die Daten bezeichnen.

[0140] Zur Erläuterung des Verfahrens werden einzelne zur Zeit t beobachtete Landmarken als z_t bezeichnet. Ferner wird davon ausgegangen, dass bei dem bis zu diesem Punkt ausgeführten Verfahren bereits alle Landmarken der Messungen B_t , für die mit den Distanzfunktionen keine korrespondierende Landmarke bei den Tracks T_t gefunden wurde, als potentiell neue Tracks in T_t aufgenommen. Die Menge der Beobachtungen zum Zeitpunkt t wird Z_t genannt. Die Beobachtung der i -ten Landmarke z zur Zeit t wird also als $z_t^i \in Z_t$ bezeichnet.

[0141] Den Beobachtungen wird zum Zeitpunkt des Dateneingangs eine Initialisierungswahrscheinlichkeit von L_0 zugewiesen. Dabei kann für die Initialisierung der gleiche Wert für alle neuen beobachteten Landmarken gewählt werden oder es kann ein sensorspezifischer Wert zugewiesen werden. Zur Vermeidung numerischer Instabilitäten kann der Log-Likelihood-Quotient LLR^i für die i -te Landmarke verwendet werden. Es wird nun die Wahrscheinlichkeit, dass die i -te Landmarke von einer echten Detektion stammt (Alternativhypothese H_1), über die Detektionszeitpunkte hinweg anhand der zueinander korrespondierenden beobachteten Landmarken entwickelt:

$$LLR^i = \ln(L_0) + \ln \left(\prod_{t=1}^t \frac{p(z_t^i|H_1)}{1 - p(z_t^i|H_1)} \right)$$

[0142] Anhand diese Wertes wird geprüft, ob LLR^i einen bestimmten Schwellenwert über- (A) oder unterschreitet (B):

$$B = \ln \left(\frac{\beta}{1 - \alpha} \right) \leq LLR^i \leq \ln \left(\frac{1 - \beta}{\alpha} \right) = A$$

[0143] LLR^i entspricht dabei einer Wahrscheinlichkeit für die jeweils i -te Landmarke des Umfeldmodells; wobei, wobei diese Wahrscheinlichkeit als Konfidenzwert für den der jeweiligen Landmarke zugeordneten Track verstanden wird. Insbesondere kann dazu das Feld „Belief“ des oben erläuterten Zustandsvektors genutzt werden. Dabei sind die Systemdesignparameter α und β vorgegeben und beschreiben die Wahrscheinlichkeit der Bestätigung eines falschen Tracks beziehungsweise der Löschung eines echten Tracks. Ferner wird der Wert der Wahrscheinlichkeit einer Landmarke danach erhöht oder erniedrigt, ob sie durch weitere Landmarkenbe-

obachtungen bestätigt wird oder nicht. Bei Über- oder Unterschreiten wird das iterative Verfahren abgebrochen und die Landmarke bestätigt beziehungsweise verworfen:

$$\begin{cases} LLR^i(t) \geq A & \text{Track bestätigen} \\ B \leq LLR^i(t) \leq A & \text{Test fortsetzen} \\ LLR^i(t) \leq B & \text{Track löschen} \end{cases}$$

[0144] In einem Schritt S34 werden schließlich Umfeldmodelldaten erzeugt, insbesondere erfolgt dies in einem „Track Innovation“-Schritt. Dabei wird die Menge der getrackten Landmarken in dem Umfeldmodell aktualisiert. Dieses umfasst Daten über die im Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1** erfassten Landmarken, insbesondere ihre Positionen. Insbesondere werden anhand der in den vorhergegangenen Verfahrensschritten bestimmten Daten Positionen, Unsicherheiten und Konfidenzwerte der Landmarkenbeobachtungen aktualisiert.

[0145] Anhand der bestätigten Tracks können die jeweils zugeordneten Landmarken in eine Karte aufgenommen werden. Eine solche Karte umfasst die bestimmten und optimierten Positionen für die Landmarken.

[0146] Es können verschiedene an sich bekannte Verfahren angewandt werden, um etwa die Positionen zu aktualisieren. Beispielsweise kann bei mehreren bestimmten Positionen einer Landmarke die zuletzt beobachtete Position übernommen werden, es kann eine exponentielle Glättung durchgeführt werden, es kann ein gleitender oder arithmetischer Mittelwert berechnet werden oder es kann – sofern die Landmarke eine Länge aufweist – eine längenbasierte Gewichtung für die Positionsmittlung verwendet werden.

[0147] Die Umfeldmodelldaten sind so strukturiert, dass sie mit den Referenzkartendaten abgeglichen werden können. Insbesondere können dabei beispielsweise die Positionen von bestimmten Landmarken verglichen werden.

[0148] Die Umfeldmodelldaten werden anschließend ausgegeben, das heißt zur weiteren Verarbeitung an ein weiteres Modul oder eine Einheit übertragen.

[0149] Mit Bezug zu **Fig. 5** wird eine partikelfilterbasierte Lokalisierung erläutert. Dabei wird von dem mit Bezug zu den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** erläuterten System ausgegangen. Insbesondere können die nachfolgend beschriebenen Schritte als Teil der oben mit Bezug zu **Fig. 2** erläuterten landmarkenbasierten Lokalisierung verstanden werden.

[0150] Bei dem partikelbasierten Verfahren wird eine Partikelwolke erzeugt, wobei jeder Partikel eine Positionshypothese, das heißt für eine hypothetische Position des Fahrzeugs **1**, steht. Die „Partikelwolke“ bezeichnet also eine Menge von Partikeln. Damit repräsentiert jeder Partikel einen Partikelzustand, der als Hypothese für den Zustand des Fahrzeugs **1** verstanden wird. Es wird nun statistisch geprüft, bei welcher Hypothese, das heißt für welchen Partikel, die Landmarkenbeobachtungen am besten mit den Referenzkartendaten übereinstimmen. Ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird nachfolgend im Detail beschrieben.

[0151] In einem ersten Schritt S40 wird überprüft, ob bereits eine Initialisierung durchgeführt wurde. Wird dieses verneint, so wird in einem weiteren Schritt S41 die Initialisierung vorgenommen. Bei der Initialisierung wird, wie oben für Schritt S4 beschrieben, die Schätzposition des Fahrzeugs **1** beispielsweise mittels des GPS-Sensors **3c** zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst, wobei insbesondere von einer größeren Ungenauigkeit ausgegangen wird. Ferner können Daten über die Eigenbewegung des Fahrzeugs **1** berücksichtigt werden.

[0152] Durch Anwenden eines Bewegungsmodells in einem Schritt S42 wird eine Nachführung der Position mit der Eigenbewegung des Fahrzeugs **1** bestimmt, das heißt, die Veränderung der Position des Fahrzeugs **1** seit der letzten Erfassung der Schätzposition wird berücksichtigt. Für eine Initialisierung kann dabei auch eine gespeicherte Schätzposition, etwa der letzten Fahrt des Fahrzeugs **1**, oder eine durch den Nutzer eingegebene Position verwendet werden. Es wird eine entsprechende Transformation der Partikelwolke vorgenommen, um die Verschiebung der Position des Fahrzeugs **1** durch seine Eigenbewegung auszugleichen. Auch hierbei ist von einer Ungenauigkeit der entsprechenden Sensoren und damit auch der resultierenden Ergebnisse auszugehen.

[0153] Insbesondere können dabei Unsicherheiten bei Sensoren zur Erfassung der Eigenposition (etwa mittels GPS) oder der Eigenbewegung (etwa mittels Odometrie) berücksichtigt werden.

[0154] In einem weiteren Schritt S43 wird ein Sensormodell angewandt. Dabei wird ein sensorbedingtes Messrauschen berücksichtigt und es wird die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der die Landmarkenbeobachtungen unter Annahme des jeweiligen hypothetischen Partikelzustands erfasst wurden.

[0155] Aus dieser Wahrscheinlichkeit ergibt sich eine Gewichtung für die einzelnen Hypothesen und diese Gewichtung wird in einem Schritt S44 den Hypothesen zugeordnet. Dabei kann insbesondere eine Normalisierung der Wahrscheinlichkeiten vorgenommen werden.

[0156] In einem weiteren Schritt S45 wird zudem eine Glättung zur Stabilisierung der Ergebnisse vorgenommen, wobei starke Schwankungen der Wahrscheinlichkeiten für einzelne Partikel geglättet werden. Solche Schwankungen können insbesondere auftreten, wenn bei der Erfassung einer Landmarke in aufeinander folgenden Zeitpunkten größere Unterschiede auftreten, beispielsweise aufgrund von Messfehlern, verdeckten Landmarken oder beim Verschwinden der Landmarken aus dem Erfassungsbereich **17** der Erfassungseinheit **3**.

[0157] Beispielsweise kann dabei die geglättete Gewichtung $\omega_{f,t}$ des Partikels f im Zeitschritt t berechnet werden nach:

$$\omega_{f,t} = \alpha \omega_{f,t} + (1 - \alpha) \omega_{f,t-1}$$

[0158] Dabei wird ein Dämpfungsfaktor α empirisch gewählt und die Stärke der Dämpfung kann ferner durch geeignete Wahl des Zeitfensters zwischen Zeitschritten t und $(t - 1)$ bestimmt werden.

[0159] In einem Schritt S46 wird die gemäß den vorangehenden Schritten korrigierte Position ausgegeben. Dabei wird insbesondere der Zustand des Partikels mit der maximalen zugeordneten Wahrscheinlichkeit berücksichtigt. Insbesondere wird bei der Ausgabe die bestimmte Position an ein Modul oder eine Einheit zur Weiterverarbeitung übertragen, insbesondere kann die Ausgabe an das Fahrerassistenzsystem **12** erfolgen.

[0160] Ferner kann in einem weiteren Schritt S47 ein Resampling durchgeführt werden. Dies kann notwendig werden, wenn durch Iteration des vorstehend beschriebenen Verfahrens die Anzahl der Partikel auf einen einzigen Partikel konvergiert. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass die Streuung der Partikelwolke durch akkumulierte Messfehler in jedem Schritt zunimmt, während die Eigenbewegung des Fahrzeugs **1** wiederholt nachgeführt wird. Immer mehr Partikel entfernen sich immer weiter von der wahrscheinlichsten Position und ihnen wird eine entsprechend niedrige Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Dies führt dazu, dass immer weniger Partikel mit besonders hoher Wahrscheinlichkeit berücksichtigt werden. Nachdem beim Sampling eine initiale Streuung der Partikel erzeugt wurde, werden bei den weiteren Iterationen des Verfahrens durch das Resampling sogenannte „Wiederherstellungspartikel“ erzeugt, durch welche die Partikelwolke um neue Hypothesen ergänzt wird, um die statistische Wahl der wahrscheinlichsten Hypothese anhand einer ausreichenden großen Datenbasis zu treffen.

[0161] Mit Bezug zu **Fig. 6** wird ein Ausführungsbeispiel einer Updatefunktionalität erläutert. Dabei wird von dem mit Bezug zu den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** erläuterten System und dem mit Bezug zu **Fig. 2** erläuterten Verfahren ausgegangen.

[0162] In einem Schritt S50 wird zunächst die Schätzposition des Fahrzeugs **1** erfasst. Dies erfolgt beispielsweise durch den GPS-Sensor **3c**, wie oben beschrieben. Die Schätzposition wird bei einem Abruf von Referenzkartendaten an den externen Server **2** übertragen.

[0163] Anhand der Schätzposition werden in einem Schritt S51 durch den externen Server **3** Referenzkartendaten erzeugt und an das Fahrzeug **1** übertragen. Dabei greift der Server **2** auf eine Referenzkartendatenbank zu und erzeugt die Referenzkartendaten so, dass sie alle für die landmarkenbasierte Lokalisierung des Fahrzeugs **1** relevanten Informationen umfassen, insbesondere Landmarken und ihre Positionen im Verkehrsumfeld des Fahrzeugs **1**.

[0164] Durch das Fahrzeug **1** erfolgt nun eine landmarkenbasierte Lokalisierung anhand der Referenzkartendaten. Dabei können Unterschiede der von dem Fahrzeug **1** erfassten Landmarkenbeobachtungen und den gemäß der Referenzkartendaten zu erwartenden Landmarkenbeobachtungen erkannt werden. Beispielsweise können Landmarken verschwunden oder verändert sein oder es können neue Landmarken erfasst werden.

[0165] Es kann ein Verfahren angewandt werden, um sicherzustellen, dass es sich um tatsächliche Abweichungen der realen Landmarken von den Referenzkartendaten handelt. Insbesondere können dabei Artefakte der Erfassung von Landmarken durch das Fahrzeug **1** ausgeschlossen werden. Hierfür können insbesondere an sich bekannte Verfahren herangezogen werden.

[0166] In einem Schritt S52 werden durch das Fahrzeug **1** anhand der erkannten Abweichungen zwischen den Referenzkartendaten und den tatsächlich erfassten Landmarkenbeobachtungen Aktualisierungsdaten erzeugt. Diese umfassen Informationen, die dazu geeignet sind, dass in einem weiteren Schritt S53 durch den Server **2** eine Aktualisierung der Referenzkartendatenbank vorgenommen wird. In diesem Fall können bei einer Wiederholung des Verfahrens, etwa beim wiederholten Abruf von Referenzkartendaten bei einer bestimmten Schätzposition, nunmehr neue Referenzkartendaten bereitgestellt werden, welche die tatsächlichen Merkmale der Landmarken besser widerspiegeln.

[0167] Auf diese Weise kann das Fahrzeug **1** zu einem neuen Vermessen der Landmarken in dem Verkehrsumfeld verwendet werden. Ferner kann der Server **2** Aktualisierungsdaten von mehreren Quellen, insbesondere mehreren Fahrzeugen, in der gleichen Weise empfangen und, etwa mittels statistischer Methoden, über eine Aktualisierung der Referenzkartendatenbank entscheiden. Ferner kann anhand der Aktualisierungsdaten bestimmt werden, ob in einem bestimmten Verkehrsumfeld eine neue Vermessung der Landmarken vorgenommen werden soll, etwa durch ein besonderes Vermessungsfahrzeug, das eine besonders präzise Erfassung der Daten für die Referenzkartendatenbank ermöglicht.

[0168] In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Referenzkartendaten alternativ oder zusätzlich von einer anderen Einrichtung als dem externen Server **2** bereitgestellt werden. Beispielsweise kann dies eine Einrichtung des Fahrzeugs **1** sein, die auch ohne eine datentechnische Verbindung zu dem Server **2** einen Abruf von Referenzkartendaten zur landmarkenbasierten Lokalisierung erlaubt. Das Verfahren kann hier in analoger Weise ausgeführt werden, wobei auch die Einrichtung des Fahrzeugs **1** auf eine Referenzkartendatenbank zugreift und diese mittels der Aktualisierungsdaten aktualisieren kann. In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind sowohl der externe Server **2** als auch eine fahrzeugeigene Einrichtung zum Abrufen von Referenzkartendaten vorgesehen und die Aktualisierung der jeweiligen Referenzkartendatenbank der Einrichtung und des Servers **2** kann anhand einer Abstimmung zwischen den beiden erfolgen.

Bezugszeichenliste

1	Fahrzeug
2	Externer Server
3	Erfassungseinheit
3a	Laserscanner
3b	Kamera
3c	GPS-Sensor
3n	Weiterer Sensor
4	Steuereinheit
5	Schnittstelle
6	Recheneinheit
7	Akkumulationseinheit
8	Segmentierungseinheit
9	Landmarkenerkennungseinheit
10	Trackingeinheit
11	Ausgabereinheit
12	Fahrerassistenzsystem
13	Landmarke; Leitpfosten
14	Landmarke; Fahrbahnbegrenzung
15	Landmarke; Fahrstreifenbegrenzung
16	Landmarke; Leitlinie
17	Erfassungsbereich
18	Fahrbahn
18a, 18b	Fahrspur
S1a, ..., S1n	Erfassung von Datensätzen
S2a, ..., S2n	Landmarkendetektion
S3	Tracking und Fusion
S4	Erfassung der Schätzposition

S5	Eigenbewegungsschätzung
S6	Abruf der Referenzkartendaten
S7	Partikelfilterbasierte Lokalisierung
S8	Ausgabe der Position
S21a	Akkumulation
S22a	Segmentierung
S23a	Hauptkomponentenanalyse
S24a	Klassifizierung
S25a	Erzeugen von Landmarkenbeobachtungen
S31	Zeitliche Synchronisierung
S32	Abstandsberechnungen
S33	Zuordnen und Verändern von Wahrscheinlichkeiten
S34	Erzeugen von Umfeldmodelldaten
S40	Überprüfen der Initialisierung
S41	Vornehmen der Initialisierung
S42	Anwenden des Bewegungsmodells
S43	Anwenden des Sensormodells
S44	Zuordnen der Gewichtung
S45	Glättung
S46	Ausgabe der korrigierten Pose
S47	Durchführen des Resampling
S50	Erfassen der Schätzposition (Fahrzeug)
S51	Erzeugen der Referenzkartendaten (Server)
S52	Erzeugen von Aktualisierungsdaten (Fahrzeug)
S53	Aktualisieren der Referenzkartendatenbank (Server)

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004003850 A1 [0004]
- DE 102007020791 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen einer Position einer mobilen Einheit, bei dem eine Schätzposition der mobilen Einheit erfasst wird und anhand der erfassten Schätzposition Referenzkartendaten abgerufen werden, wobei die Referenzkartendaten Referenzpositionen von Landmarken (**13, 14, 15, 16**) umfassen;
mittels einer Erfassungseinheit (**3**) Datensätze erfasst werden und anhand der Datensätze Landmarkenbeobachtungen mit Landmarkenparametern bestimmt werden;
anhand der bestimmten Landmarkenbeobachtungen Umfeldmodelldaten bestimmt werden, wobei die Umfeldmodelldaten eine Beschreibung eines Verkehrsumfeldes der mobilen Einheit umfassen;
anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten eine Vielzahl von Positionshypothesen erzeugt wird und den Positionshypothesen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden; wobei
anhand der Wahrscheinlichkeiten die Position der mobilen Einheit bestimmt und ausgegeben wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassung der Schätzposition und das Abrufen der Referenzkartendaten periodisch erfolgen.
3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassungseinheit (**3**) zumindest zwei verschiedene Sensortypen umfasst.
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von der Erfassungseinheit (**3**) erfassten Datensätze Datenpunkte umfassen;
anhand der erfassten Datensätze mittels einer Segmentierung Segmente bestimmt werden, wobei den Segmenten jeweils Datenpunkte zugeordnet sind, und
für jedes der bestimmten Segmente eine Näherungsellipse bestimmt wird, wobei mittels einer Hauptkomponentenanalyse Landmarkenparameter des jeweiligen Segments bestimmt werden.
5. Verfahren gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Segmenten anhand der für die Segmente bestimmten Landmarkenparameter eine Objektklasse zugeordnet wird und
anhand der Segmente Landmarkenbeobachtungen bestimmt werden, wobei die Landmarkenbeobachtungen jeweils Landmarkenparameter und eine Objektklasse umfassen.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Objektklassen Punkte, Linien und Polylinien umfassen.
7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umfeldmodelldaten Daten über Landmarken (**13, 14, 15, 16**) und den Landmarken (**13, 14, 15, 16**) zugeordnete Positionen umfassen.
8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Bestimmen der Umfeldmodelldaten Abstandsberechnungen für Landmarkenbeobachtungen anhand ihrer Objektklasse und ihrer Landmarkenparameter durchgeführt werden, wobei die Landmarkenbeobachtungen anhand der Abstandswerte bestimmten Landmarken (**13, 14, 15, 16**) zugeordnet werden.
9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Landmarken (**13, 14, 15, 16**) des Umfeldmodells Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden und die Wahrscheinlichkeiten anhand der Landmarkenbeobachtungen mittels eines Sequential Probability Ratio Test verändert werden.
10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die den Positionshypothesen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten mittels eines partikelfilterbasierten Lokalisierungsverfahrens bestimmt werden.
11. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine datentechnische Verbindung zu einem externen Server (**2**) hergestellt wird, die erfasste Schätzposition an den ex-

ternen Server (2) übertragen wird, anhand einer Referenzkartendatenbank des externen Servers (2) Referenzkartendaten erzeugt werden und die Referenzkartendaten erfasst werden.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten Aktualisierungsdaten erzeugt und an den externen Server (2) übertragen werden.

13. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ausgegebene Position der mobilen Einheit an ein Fahrerassistenzsystem (12) übertragen wird.

14. System zum Bestimmen einer Position einer mobilen Einheit mit einer Erfassungseinheit (3), durch die eine Schätzposition der mobilen Einheit erfassbar ist; einer Schnittstelle (5), durch die anhand der erfassten Schätzposition Referenzkartendaten abrufbar sind, wobei die Referenzkartendaten Referenzpositionen von Landmarken (13, 14, 15, 16) umfassen; wobei durch die Erfassungseinheit (3) ferner Datensätze erfassbar sind und durch eine Recheneinheit (4) anhand der Datensätze Landmarkenbeobachtungen mit Landmarkenparametern bestimmbar sind; anhand der bestimmten Landmarkenbeobachtungen Umfeldmodelldaten bestimmbar sind, wobei die Umfeldmodelldaten eine Beschreibung eines Verkehrsumfeldes der mobilen Einheit umfassen; durch die Recheneinheit (4) ferner anhand der Umfeldmodelldaten und der Referenzkartendaten eine Vielzahl von Positionshypothesen erzeugbar ist und den Positionshypothesen Wahrscheinlichkeiten zuordenbar sind; wobei anhand der Wahrscheinlichkeiten die Position der mobilen Einheit bestimmbar und ausgebar ist.

15. Fahrzeug (1) mit einem System gemäß Anspruch 14.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

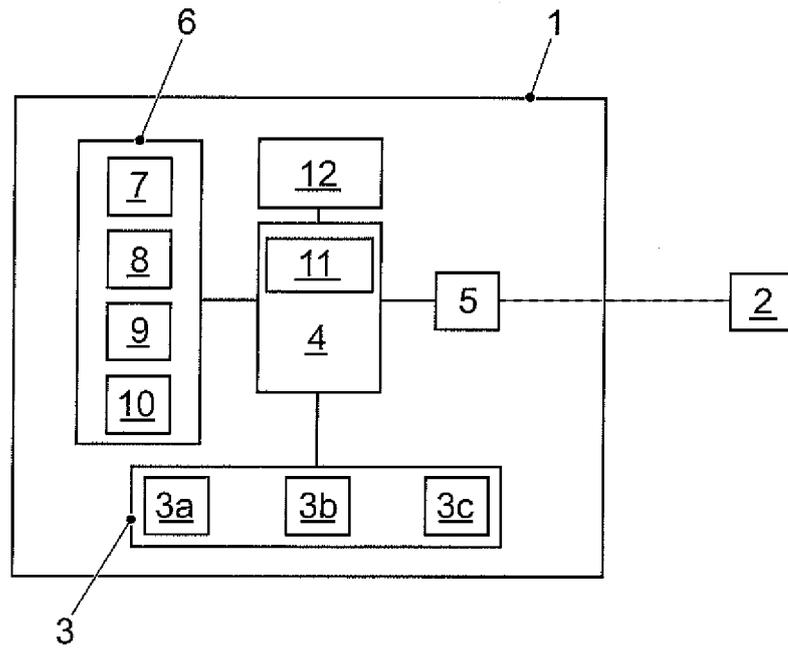


FIG. 1A

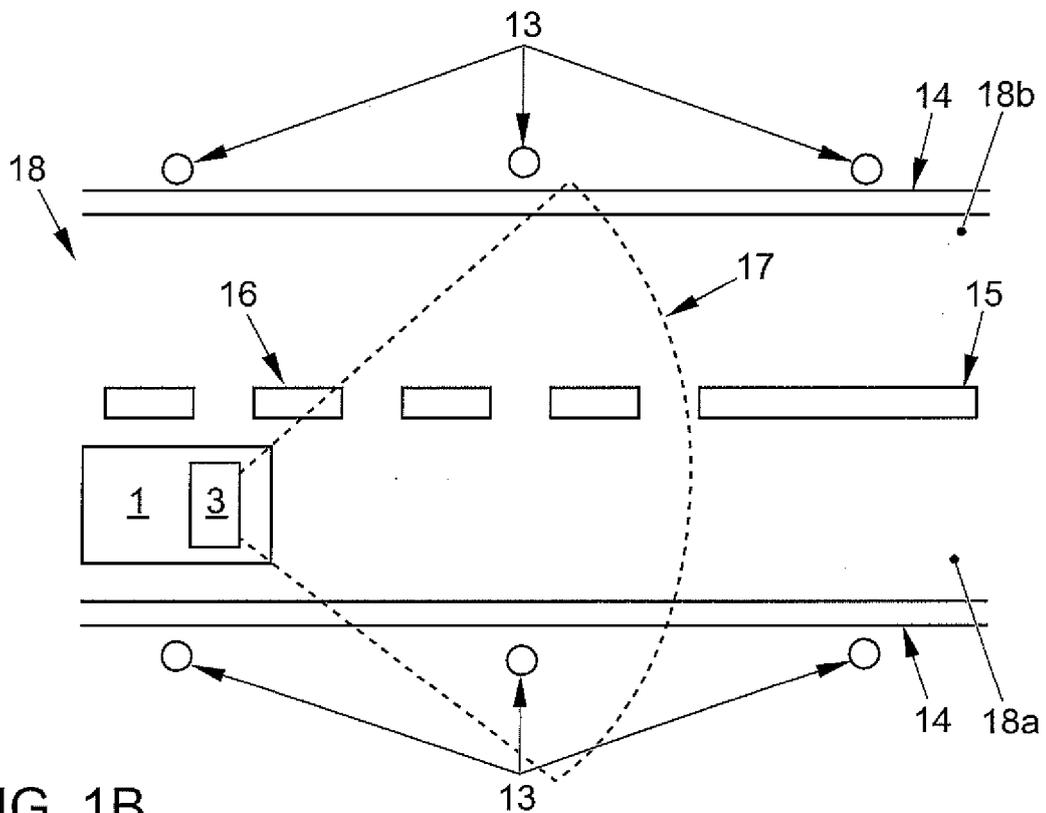


FIG. 1B

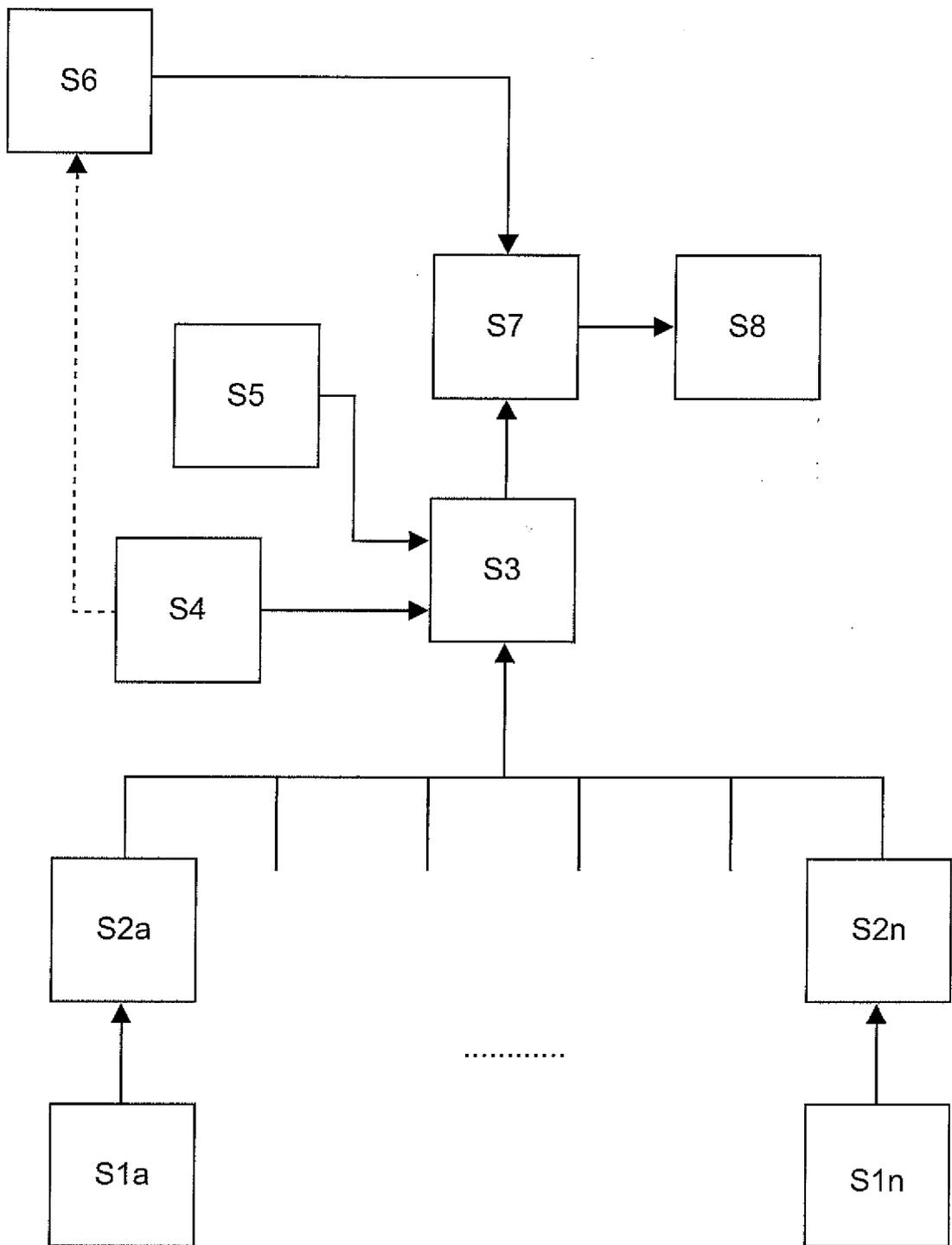


FIG. 2

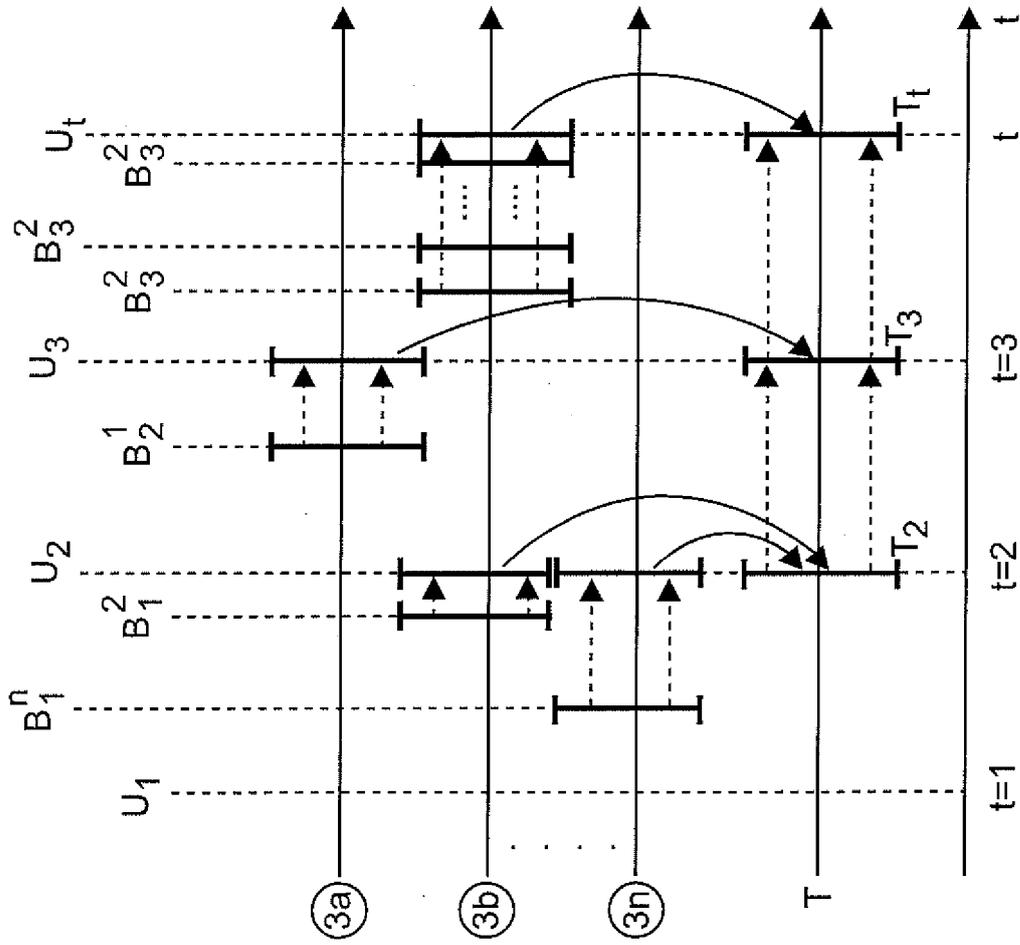


FIG. 4B

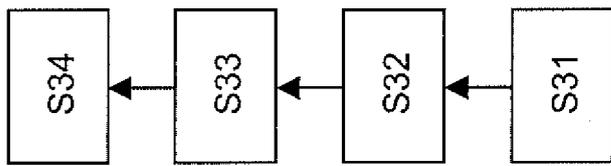


FIG. 4a

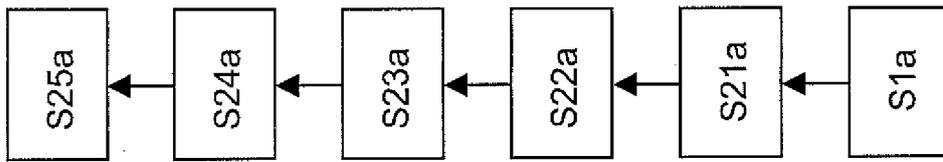


FIG. 3

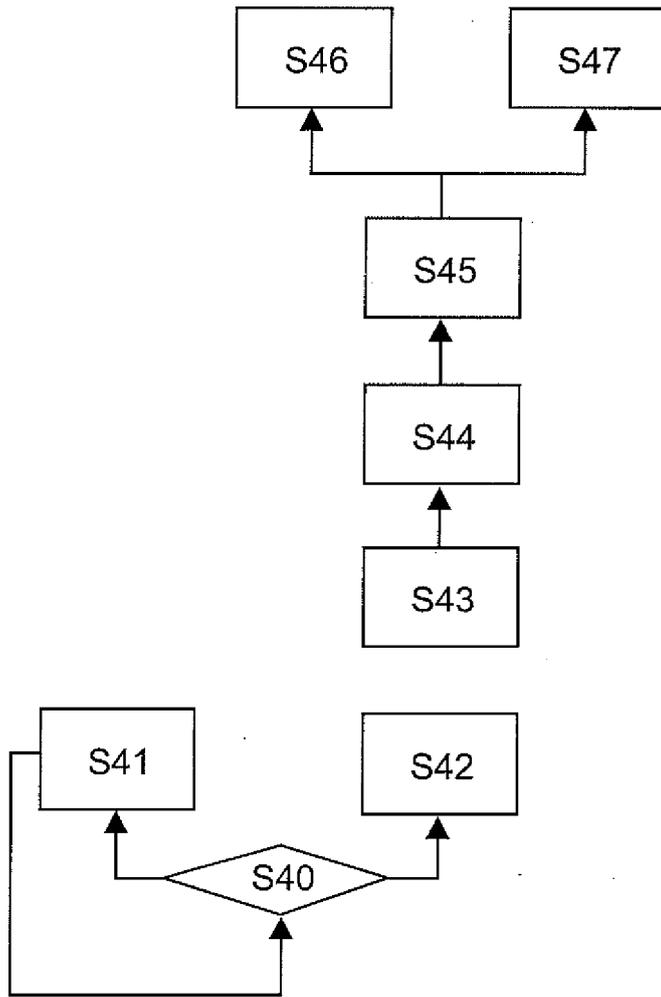


FIG. 5

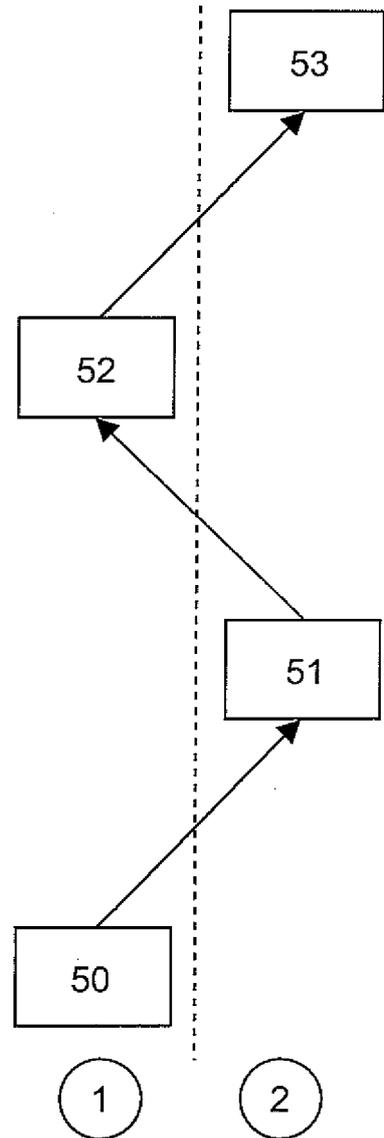


FIG. 6