

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung und eine Anordnung zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung.

[0002] Im Schienenverkehr kommt es gelegentlich vor, dass Referenzobjekte, wie zum Beispiel Personen oder Straßenfahrzeuge, Einkaufswagen, die auf die Schienen geworfen wurden, oder auch Felsbrocken oder umgestürzte Bäume, auf den Gleiskörper geraten und daher eine Gefahr für die Sicherheit des Schienenverkehrs darstellen und im Fall der Personen und Straßenfahrzeuge aufgrund der Möglichkeit einer Kollision mit einem fahrenden Schienenfahrzeug auch selbst hochgradig gefährdet werden. Daher müssen solche Hindernisse rechtzeitig erkannt werden, um für ein sich näherndes Schienenfahrzeug einen Bremsvorgang einzuleiten, so dass ein Zusammenstoß zwischen dem Schienenfahrzeug und dem betreffenden Hindernis verhindert werden kann. Weiterhin müssen auch Schienenfahrzeuge, die sich auf demselben Gleis befinden, erkannt werden, um eine Kollision dieser Schienenfahrzeuge miteinander zu vermeiden. Mithin gehört es zu den kritischen Aufgaben eines Schienenfahrzeugführers, den Schienenbereich hinsichtlich möglicher Hindernisse, die mit dem Schienenfahrzeug kollidieren können, ständig zu beobachten und zu entscheiden, ob eine Reaktion darauf, wie zum Beispiel ein Bremsmanöver, eingeleitet werden muss oder nicht.

[0003] Bei dem fahrerlosen Steuern von Schienenfahrzeugen ist es besonders wichtig, ein System zu haben, das automatisch mögliche Hindernisse korrekt lokalisiert und entscheiden kann, ob sie eine Gefahr für das Schienenfahrzeug selbst oder andere Verkehrsteilnehmer darstellen können, da hier auf eine Überwachung der Schienenstrecke durch einen Fahrer definitionsgemäß verzichtet werden muss.

[0004] Für derartige Aufgaben bieten sich Lidarsysteme und Radarsysteme, mit denen Abstände und Richtungen, in denen sich Hindernisse befinden, detektiert werden können, an.

[0005] Automatisierte Erkennungssysteme für potenzielle Hindernisse wurden bereits experimentell untersucht und entwickelt. Infrastrukturbasierte Lösungen, bei denen eine Mehrzahl von Sensoren aufgestellt werden, um einen bestimmten Bereich einer Schienenstrecke zu überwachen, werden manchmal benutzt, um Bereiche zu überwachen, in denen häufig Unfälle passieren, wie zum Beispiel Bahnübergänge. Allerdings ist es nicht realisierbar, das gesamte Schienennetz mit infrastrukturbasierten Hindernisdetektionssystemen zu versehen. Daher besteht der Bedarf, dass ein bordseitiges System die Aufgabe eines Fahrers erfüllt, die Schienenstrecke zu beobachten und zu überwachen.

[0006] Die meisten bordseitigen Systeme umfassen Systeme zur Positionsmessung von detektierten Hindernissen. Die Kenntnis der exakten Position eines potenziellen Hindernisses erlaubt eine Einschätzung der Gefahren, die von dem Hindernis ausgehen. Insbesondere muss die Position des potenziellen Hindernisses ausreichend genau ermittelt werden, um einzuschätzen, wie weit entfernt sich das potenzielle Hindernis von einem Schienenfahrzeug befindet und ob sich das potentielle Hindernis im Lichttraumprofil des Schienenfahrzeugs befindet oder nicht bzw. möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt befinden wird oder nicht.

[0007] Um Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, muss die Präzision der Lokalisierung potenzieller Hindernisse durch die eingesetzten bordseitigen Systeme geprüft bzw. validiert werden.

[0008] Bisher erfolgt zur Vorbereitung einer solchen Validierung zunächst eine Positionierung eines Testobjekts auf einer Testschienenstrecke. Weiterhin werden Positionsmarken auf der Testschienenstrecke festgelegt. Während der Validierung werden die durch die festgelegten Positionsmarken markierten Positionen durch ein Schienenfahrzeug mit einer zu validierenden Sensoreinrichtung angefahren. Die Festlegung der Positionsmarken erfolgt üblicherweise einzeln von Hand, sie ist daher recht aufwändig. Außerdem kann es bei dem Anfahren der einzelnen Positionsmarken durch das Schienenfahrzeug zu Ungenauigkeiten der Positionierung des Schienenfahrzeugs, die sich auf die Zuverlässigkeit der Validierung ungünstig auswirken, kommen.

[0009] Die meisten bisherigen Ansätze zur Validierung einer Lokalisierung potenzieller Hindernisse sind auf eine statische Ermittlung des Abstands eines Schienenfahrzeugs und des zu erkennenden Zielobjekts mit herkömmlichen Messmethoden beschränkt. Diese Methode erlauben allerdings nur eine statische Evaluierung und Validierung.

[0010] Es ist weiterhin wünschenswert, eine Lokalisierung potenzieller Hindernisse auch während des normalen Betriebs eines Schienenfahrzeugs zu validieren, da sich die Qualität der Lokalisierung, beispielsweise aufgrund von Wetteränderungen, im laufenden Betrieb eines Schienenfahrzeugs verschlechtern kann.

[0011] Es besteht also die Aufgabe, eine Validierung der Funktion einer bordseitigen Sensorik zur Hindernislokalisierung für Schienenfahrzeuge bereitzustellen, welche auch in dynamischen Szenarien einsetzbar ist.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß Patentanspruch 1 und eine Anordnung zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß Patentanspruch 11 gelöst.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung wird während einer Fahrt des Schienenfahrzeugs auf einer Schienenstrecke ein Referenzobjekt durch die Sensoreinheit detektiert. Ein solches Referenzobjekt kann neben der Schienenstrecke an einer vorbestimmten Referenzposition angeordnet sein, es kann aber auch direkt auf dem Gleisbereich der Schienen-

strecke an einer vorbestimmten Referenzposition an oder auf der Schienenstrecke als eine Art "echtes Hindernis" oder "Dummy"-Hindernis angeordnet sein, um die Funktion zur Hindernisdetektion und Lokalisierung des Hindernisses zu testen. Dabei wird eine Relativposition des Referenzobjekts durch Messen eines Abstands des Referenzobjekts zu der Sensoreinheit und eines Winkels, aus dem das Referenzobjekt von der Sensoreinheit detektiert wird, durch die Sensoreinheit ermittelt. Als Sensoreinheit wird eine zur Abstandsmessung geeignete Sensoreinheit, vorzugsweise eine aktive Sensoreinheit, besonders bevorzugt eine Lidar-Einheit oder eine Radar-Einheit eingesetzt. Wird ein "echtes Hindernis" oder "Dummy"-Hindernis als Referenzobjekt detektiert, welches sich auf der Schienenstrecke, also insbesondere im Lichtraumprofil des Schienenfahrzeugs befindet, so kann auch direkt die Hinderniserkennungsfunktion des Schienenfahrzeugs unter realen Bedingungen geprüft werden.

[0014] Die Referenzposition des Referenzobjekts ist bekannt. D.h., es fand vorab eine exakte Ermittlung der geographischen Position des Referenzobjekts statt.

[0015] Das Referenzobjekt ist an und auf einer von dem Schienenfahrzeug befahrenen Schienenstrecke, welche neben mindestens einem Referenzobjekt eine Vielzahl von über die Schienenstrecke verteilten Referenzmesspunkten aufweist, deren Positionen ebenfalls bekannt sind, angeordnet. Die Referenzpositionen des Referenzobjekts und der Referenzmesspunkte können zum Beispiel vorab durch Abfahren der Schienenstrecke durch ein Messfahrzeug und durch eine Lokalisierung des Referenzobjekts und der Referenzmesspunkte durch das Messfahrzeug ermittelt werden. Zur Lokalisierung des Referenzobjekts und der Referenzmesspunkte umfasst das Messfahrzeug, vorzugsweise ein Schienenfahrzeug, bevorzugt eine Selbstlokalisierungseinheit, welche im Rahmen der vorab durchgeführten Fahrt über die Schienenstrecke bei einer Vorbeifahrt bzw. einem Überfahren der Position eines Referenzobjekts oder eines Referenzmesspunkts die Position des Schienenfahrzeugs und damit auch die Position des betreffenden Referenzobjekts oder Referenzmesspunkts misst.

[0016] Die Position eines Referenzmesspunkts kann entweder von der fahrzeugeigenen Selbstlokalisierungseinheit oder von einer zweiten Lokalisierungseinheit, welche speziell für die Generierung des die Referenzmesspunkte umfassenden Ground Truth Systems vorgesehen ist, ermittelt werden. Im zweiten Fall sind die Sensoren und Messeinheiten für die Ermittlung der "Ground Truth Daten" zur Validierung vollständig von den Messeinheiten zur Objektlokalisierung bzw. Hindernisdetektion getrennt vorhanden, so dass aufgrund der Unabhängigkeit der für die Validierung verwendeten Messeinheiten von den für die reguläre Hindernisdetektion und Hindernislokalisierung genutzten Messeinheiten eine besonders zuverlässige Validierung der Objektlokalisierung erfolgen kann.

[0017] Auf Basis der Relativposition und auf Basis einer Schienenstreckenlandkarte, welche den Verlauf der Schienenstrecke wiedergibt, wird ein Streckenabstand einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt entlang der Schienenstrecke ermittelt. Als "Verlauf" der Schienenstrecke soll eine von der Schienenstrecke gebildete Trajektorie verstanden werden, entlang der sich das Schienenfahrzeug bewegt.

[0018] Weiterhin wird bei der aktuellen Fahrt des Schienenfahrzeugs eine Ego-Pose des Schienenfahrzeugs und damit auch eine Ego-Pose der Sensoreinheit des Schienenfahrzeugs, deren Relativpose zu dem Schienenfahrzeug bekannt ist bzw. sensorbasiert leicht ermittelbar ist, durch eine an dem Schienenfahrzeug angeordnete Selbstlokalisierungseinheit ermittelt. Die Ego-Pose gibt neben der exakten Ego-Position auch die Orientierung des Schienenfahrzeugs an. Die Ego-Position wird bevorzugt in geographischen Koordinaten angegeben. Die Orientierung des Schienenfahrzeugs kann zum Beispiel durch eine Winkelangabe relativ zu einer vorab festgelegten Bezugsrichtung beschrieben werden.

[0019] Anschließend wird ein erster Referenzmesspunkt der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten, welcher einer von der Ego-Pose umfassten Ego-Position am nächsten liegt, und ein zweiter Referenzmesspunkt der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten, welcher dem Referenzobjekt am nächsten liegt, ermittelt. Die Ermittlung und Identifizierung der Referenzmesspunkte erfolgt bevorzugt auf Basis eines Datenverzeichnisses, in dem die Referenzpositionen sämtlicher Referenzmesspunkte angegeben sind.

[0020] Auf Basis der Kenntnis der Position des ersten Referenzmesspunkts und auf Basis der Kenntnis der Position des zweiten Referenzmesspunkts wird ein Referenz-Streckenabstand bis zu dem Referenzobjekt, genauer gesagt eine Länge einer Referenzstrecke, welche das Schienenfahrzeug zwischen dem ersten Referenzmesspunkt und dem zweiten Referenzmesspunkt zurücklegt, ermittelt.

[0021] Schließlich wird die Funktion der Sensoreinheit zur Objektlokalisierung durch Ermitteln einer Abweichung des ermittelten Streckenabstands von dem Referenz-Streckenabstand validiert. Überschreitet die ermittelte Abweichung einen vorbestimmten Schwellwert, so wird dadurch ermittelt, dass die Objektlokalisierung nicht mehr ausreichend genau ist.

[0022] Liegt die Abweichung über einem vorbestimmten Schwellwert, so muss die Objektlokalisierung als nicht mehr zuverlässig eingestuft werden und es wird vorzugsweise eine Benachrichtigung einer Wartungseinheit oder eine automatisierte Reaktion ausgelöst. Vorzugsweise umfasst eine automatisierte Reaktion ein Umschalten auf eine redundante Sensoreinheit zur Objektlokalisierung oder eine automatisierte Re-Kalibrierung der möglicherweise nicht mehr exakt funktionierenden Sensoreinheit zur Objektlokalisierung.

[0023] Vorteilhaft werden durch die streckeneigenen Referenzmesspunkte sogenannte Ground Truth-Daten bereit-

gestellt, welche für eine exakte Validierung einer sensorbasierten Objektlokalisierung genutzt werden können. Besonders vorteilhaft ist eine Ermittlung eines Referenz-Streckenabstands vollständig unabhängig von der Gestalt und Topologie der Schienenstrecke möglich. Insbesondere können Referenz-Streckenabstände hochgenau entlang der Strecke bei Kurven und/oder Hügeln und Tälern ermittelt werden, da die Abstände zwischen den Referenzobjekten und dem Schienenfahrzeug durch Addition der Abstände zwischen einer "Kette" von Referenzmesspunkten ermittelt wird. Hierfür sind die einzelnen Referenzmesspunkte im Vergleich zur Variabilität der Streckentrajektorie nah beieinander angeordnet, so dass eine Krümmung oder Steigung entweder vernachlässigt werden kann oder modellhaft angenähert bei der Abstandsermittlung berücksichtigt werden kann.

[0024] Die erfindungsgemäße Anordnung zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung weist eine Schienenstrecke mit einer Mehrzahl von über die Schienenstrecke verteilten Referenzmesspunkten, deren Positionen bekannt sind, auf. Wie später noch im Detail erläutert, können die Referenzpositionen der Referenzmesspunkte einmalig vorab durch eine Messung durch ein Schienenfahrzeug, welches sich vorzugsweise selbst lokalisiert, ermittelt werden und in einem Datenverzeichnis gespeichert werden.

[0025] Die erfindungsgemäße Anordnung weist mindestens ein Referenzobjekt an oder auf der Schienenstrecke auf, dessen Referenzposition ebenfalls bekannt ist.

[0026] Teil der Anordnung ist auch ein Schienenfahrzeug, dessen Funktion zur Objektlokalisierung validiert werden soll. Das Schienenfahrzeug weist eine Sensoreinheit auf, welche dazu eingerichtet ist, ein Objekt, insbesondere ein Referenzobjekt, zu detektieren, wobei eine Relativposition des Referenzobjekts durch eine Messung eines Abstands des Referenzobjekts zu der Sensoreinheit und eines Winkels, aus dem das Referenzobjekt von der Sensoreinheit detektiert wird, ermittelt wird. Das Schienenfahrzeug umfasst auch eine Selbstlokalisierungseinheit zum Ermitteln einer Ego-Pose des Schienenfahrzeugs.

[0027] Zudem umfasst die Anordnung, vorzugsweise das Schienenfahrzeug, eine Streckenabstandsermittlungseinheit zum Ermitteln eines Streckenabstands einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt entlang der Schienenstrecke auf Basis der Relativposition und auf Basis einer Schienenstreckenlandkarte, welche den Verlauf der Schienenstrecke wiedergibt. Anhand der Schienenstreckenlandkarte lässt sich der Verlauf der Trajektorie, welche einen Schienenstreckenabschnitt zwischen der Position des Schienenfahrzeugs und der Position des Referenzobjekts beschreibt, ermitteln und so die Weglänge dieses Streckenabschnitts ermitteln, insbesondere berechnen.

[0028] Die Anordnung, vorzugsweise das Schienenfahrzeug, weist auch eine Referenzeinheit auf, zum Auswählen eines ersten Referenzmesspunkts der Vielzahl von über die Schienenstrecke verteilten Referenzmesspunkten, welcher einer von der Ego-Pose umfassten Ego-Position am nächsten liegt, und eines zweiten Referenzmesspunkts der Vielzahl von über die Schienenstrecke verteilten Referenzmesspunkten, welcher dem Referenzobjekt am nächsten liegt. Die Ermittlung des ersten und zweiten Referenzmesspunkts erfolgt vorzugsweise auf Basis eines Vergleichs der Abstände der einzelnen Referenzmesspunkte zu dem Schienenfahrzeug bzw. dem Referenzobjekt und eine Auswahl derjenigen Referenzmesspunkte, welche zu dem Schienenfahrzeug bzw. dem Referenzobjekt am nächsten positioniert sind.

[0029] Teil der erfindungsgemäßen Anordnung, vorzugsweise Teil des Schienenfahrzeugs, ist auch eine Referenz-Abstandsermittlungseinheit zum Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands bis zu dem Referenzobjekt auf Basis des ersten Referenzmesspunkts und auf Basis des zweiten Referenzmesspunkts. Als Referenz-Streckenabstand soll eine Länge eines Wegs bzw. einer Strecke verstanden werden, welcher bzw. welche von dem Schienenfahrzeug zwischen dem Passieren des ersten Referenzmesspunkts und dem Passieren des zweiten Referenzmesspunkts zurückgelegt wird.

[0030] Schließlich umfasst die Anordnung, vorzugsweise das Schienenfahrzeug, auch eine Validierungseinheit zum Validieren einer Funktion der Sensoreinheit zur Objektlokalisierung durch Ermitteln einer Abweichung des ermittelten Streckenabstands von dem Referenz-Streckenabstand. Die erfindungsgemäße Anordnung teilt die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung.

[0031] Ein Großteil der zuvor genannten Komponenten der erfindungsgemäßen Anordnung können ganz oder teilweise in Form von Softwaremodulen in einem Prozessor eines entsprechenden Rechensystems realisiert werden, z.B. in einer Steuereinrichtung oder einem Rechensystem eines Schienenfahrzeugs oder einem extern angeordneten Rechensystem. Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher verwendete Rechensysteme auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in ein Rechensystem ladbar ist, mit Programmabschnitten, um die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, zumindest die durch einen Computer ausführbaren Schritte, insbesondere die Schritte des Ermitteln einer Relativposition des Referenzobjekts zu der Sensoreinheit, des Ermitteln eines Streckenabstands einer noch zu fahrenden Strecke, des Auswählens eines ersten Referenzmesspunkts und eines zweiten Referenzmesspunkts, des Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands und des Validierens einer Funktion der Sensoreinheit zur Objektlokalisierung auszuführen, wenn das Programm in dem Rechensystem ausgeführt wird. Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile wie z. B. eine Dokumentation

und/oder zusätzliche Komponenten, auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen.

[0032] Zum Transport zum Rechensystem bzw. zur Steuereinrichtung und/oder zur Speicherung an oder in dem Rechensystem bzw. der Steuereinrichtung kann ein computerlesbares Medium, z.B. ein Memorystick, eine Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einem Rechensystem einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte des Computerprogramms gespeichert sind. Das Rechensystem kann z.B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

[0033] Die abhängigen Ansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung. Dabei können insbesondere die Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen einer anderen Anspruchskategorie und deren Beschreibungsteilen weitergebildet sein. Zudem können im Rahmen der Erfindung die verschiedenen Merkmale unterschiedlicher Ausführungsbeispiele und Ansprüche auch zu neuen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

[0034] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektklassifizierung liegen die Referenzmesspunkte in Tunneln, und werden mit einer hochgenauen Selbstlokalisierungseinheit vermessen.

[0035] Die Position eines Referenzmesspunkts kann entweder von der fahrzeugeigenen Selbstlokalisierungseinheit, vorzugsweise ein GNSS/IMU-System, oder von einer zweiten Lokalisierungseinheit, welche speziell für die Generierung der Referenzmesspunkte umfassenden "Ground Truth Daten" vorgesehen ist und ebenfalls vorzugsweise ein GNSS/IMU-System umfasst, ermittelt werden. Im zweiten Fall sind die Sensoren und Messeinheiten für die Ermittlung der "Ground Truth Daten" zur Validierung vollständig von den Messeinheiten zur Objektklassifizierung getrennt, so dass eine besonders zuverlässige Validierung der Objektklassifizierung erfolgen kann.

[0036] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektklassifizierung werden die Positionen der Referenzmesspunkte und des oder der Referenzobjekte bei einer vorab erfolgten Messfahrt durch eine Referenzmessung ermittelt. Dabei wird die Schienenstrecke durch ein Messfahrzeug, vorzugsweise ein Schienenfahrzeug, welches eine Selbstlokalisierungseinheit aufweist, abgefahren und es werden bei dem Abfahren der Schienenstrecke die Referenzmesspunkte und das oder die Referenzobjekt/e passiert und deren geographische Positionen mit der Selbstlokalisierungseinheit ermittelt. Vorteilhaft wird durch die vorab erfolgte Messfahrt eine Datenbasis in Form einer sogenannten "Ground Truth" ermittelt, welche als Vergleichsgrundlage für die später erfolgende dynamische Validierung dient. Die Ground Truth Daten ermöglichen eine Ermittlung eines idealerweise zu erwartenden Ergebnisses bzw. Referenzergebnisses einer Objektdetektion bzw. Objektklassifizierung. Durch einen Vergleich von Messdaten mit Ground Truth Daten lässt sich also insbesondere eine Validierung einer Funktion einer Objektklassifizierung durchführen.

[0037] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektklassifizierung umfasst die Selbstlokalisierungseinheit mindestens einen der folgenden Typen von Selbstlokalisierungseinheiten:

- eine Navigationseinheit zum Empfangen eines Satellitennavigationssignals,
- eine inertielle Messeinheit,
- eine Selbstlokalisierungseinheit zur Ermittlung der Ego-Pose des Schienenfahrzeugs auf Basis von Streckenmarkierungen.

[0038] Eine Navigationseinheit ermöglicht eine Ermittlung einer Position eines Schienenfahrzeugs auf Basis von Satellitennavigationssignalen, aber auch die Ermittlung einer Orientierung eines Schienenfahrzeugs auf Basis einer Trajektorie des Schienenfahrzeugs, welche auf Basis von Satellitennavigationssignalen aufgezeichnet wird, und gegebenenfalls auch auf Basis von Landkartendaten, welche den Verlauf der von dem Schienenfahrzeug befahrenen Schienenstrecke wiedergeben.

[0039] Eine auch kurz als IMU-Messeinheit bezeichnete inertielle Messeinheit kann ebenfalls hochgenau eine Orientierung eines Schienenfahrzeugs ermitteln.

[0040] Bevorzugt ist die Selbstlokalisierungseinheit zur Ermittlung der Ego-Pose des Schienenfahrzeugs auf Basis von Streckenmarkierungen, welche die Referenzmesspunkte umfassen, ausgebildet. Bei dieser Variante werden die Referenzmesspunkte nicht nur zur Ermittlung des Referenz-Streckenabstands, sondern auch für die zu validierende Abstandsmessung genutzt. Diese Variante kann genutzt werden, wenn die gesamte Schienenstrecke mit Referenzmesspunkten ausgestattet ist und das Schienenfahrzeug nur auf dieser Schienenstrecke eingesetzt werden soll, so dass eine Selbstlokalisierung des Schienenfahrzeugs auch im regulären Betrieb stets auf Basis der Referenzmesspunkte erfolgen kann.

[0041] Besonders bevorzugt wird die bekannte Referenzposition dem Referenzobjekt durch eine Identifizierung des Referenzobjekts und eine Ermittlung der bekannten Referenzposition auf Basis einer Look-up-Tabelle, in der zu jedem Referenzobjekt eine geographische Position angegeben ist, zugeordnet. Das Referenzobjekt umfasst zu seiner Identi-

fizierung vorzugsweise eine Identifizierungsfunktion, vorzugsweise ein leicht zur Identifizierung nutzbares Merkmal. Vorteilhaft kann auf Basis der Identität des Referenzobjekts auf dessen Position geschlossen werden.

[0042] Ebenfalls bevorzugt wird die Referenzposition des Referenzobjekts durch eine Ermittlung eines nächsten Referenzmesspunkts zu dem Referenzobjekt und durch eine Zuordnung der geographischen Position des nächsten Referenzmesspunkts zu dem Referenzobjekt ermittelt. Bei dieser Variante muss das Referenzobjekt nicht direkt identifiziert werden. Vielmehr kann auf Basis des nächstliegenden Referenzmesspunkts eine "ungefähre" Position des Referenzobjekts ermittelt werden und durch Vergleich der ermittelten "ungefähren" Position mit in einer Look-up-Tabelle gespeicherten Positionen von Referenzmesspunkten ein Referenzobjekt identifiziert werden und dessen genaue Position bestimmt werden.

[0043] Das Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands bis zu dem Referenzobjekt umfasst vorzugsweise die Addition der Abstände zwischen benachbarten Referenzmesspunkten, welche

- den ersten Referenzmesspunkt und
- den zweiten Referenzmesspunkt sowie
- sämtliche Referenzmesspunkte, welche zwischen dem ersten Referenzmesspunkt und dem zweiten Referenzmesspunkt liegen, umfassen.

[0044] Vorteilhaft kann eine Länge einer Trajektorie zwischen dem ersten und dem zweiten Referenzmesspunkt unter Zuhilfenahme der zwischen dem ersten Referenzmesspunkt und dem zweiten Referenzmesspunkt liegenden Referenzmesspunkte als Ground Truth exakt ermittelt werden.

[0045] Bevorzugt sind die Referenzmesspunkte und ihre Referenzpositionen in einer Look-up-Tabelle abgespeichert und es wird bevorzugt bei dem Auswählen des ersten Referenzmesspunkts und des zweiten Referenzmesspunkts und bei der Ermittlung des Referenz-Streckenabstands auf die Look-up-Tabelle zugegriffen, um die Referenzpositionen der Referenzmesspunkte und deren Abstände zueinander zu ermitteln. Vorteilhaft liefert die Look-up-Tabelle exakte Positions- und Abstandswerte, welche unabhängig von der Funktion der Sensoreinheit oder der Selbstlokalisierungseinheit des Schienenfahrzeugs sind, so dass sie als Ground-Truth für eine Validierung der Funktion der genannten Einheiten des Schienenfahrzeugs eingesetzt werden können.

[0046] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung ist das Referenzobjekt beweglich und kann unterschiedliche Referenzpositionen einnehmen und seine aktuelle Referenzposition wird durch eine an dem Referenzobjekt angeordnete Selbstlokalisierungseinheit ermittelt. Vorteilhaft kann die Anzahl der Referenzobjekte an einer Schienenstrecke reduziert werden, weil sich das Referenzobjekt zu unterschiedlichen Positionen hin bewegen kann. In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die Schienenstreckenlandkarte, welche den Verlauf der Schienenstrecke wiedergibt, die Referenzmesspunkte und deren Referenzpositionen.

[0047] In einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung weist das Schienenfahrzeug mindestens einer der folgenden Einheiten, vorzugsweise sämtliche der folgenden Einheiten auf:

- die Lokalisierungseinheit,
- die Streckenabstandsermittlungseinheit,
- die Referenzeinheit,
- die Referenz-Abstandsermittlungseinheit,
- die Validierungseinheit.

[0048] Vorteilhaft kann die Validierung von dem Schienenfahrzeug unabhängig von der Kommunikation mit einer stationären Auswertungseinrichtung erfolgen.

[0049] Alternativ können die vorgenannten Einheiten auch separat bzw. stationär angeordnet sein. Beispielsweise können die vorgenannten Einheiten Teil einer separaten, vorzugsweise stationären Auswertungseinrichtung sein. Die Auswertungseinrichtung umfasst zusätzlich auch eine Empfangseinheit zum Empfangen des von der Sensoreinheit ermittelten Abstands des Referenzobjekts zu der Sensoreinheit und der von der Selbstlokalisierungseinheit ermittelten Ego-Pose des Schienenfahrzeugs.

[0050] Bei dieser Variante umfasst das Schienenfahrzeug eine Sendeeinheit zum Übermitteln des von der Sensoreinheit ermittelten Abstands des Referenzobjekts zu der Sensoreinheit und der von der Selbstlokalisierungseinheit ermittelten Ego-Pose des Schienenfahrzeugs.

[0051] Diese Variante weist den Vorteil auf, dass die Auswertungseinrichtung nun flexibel für eine Validierung der Funktion unterschiedlicher Schienenfahrzeuge genutzt werden kann, wobei nur eine einzige Validierungseinheit für die genannten Anwendungsfälle benötigt wird. Auf diese Weise können Ressourcen eingespart werden. Die Auswertungseinrichtung kann an einer bestimmten Teststrecke fest installiert sein, sie kann auch als mobile bzw. transportable Einrichtung für eine Validierung an unterschiedlichen Teststrecken ausgebildet sein. Für den Transport kann die Aus-

wertungseinrichtung mit einem Fahrwerk und einer Traktionseinheit zum Transport zwischen unterschiedlichen Teststrecken ausgebildet sein. Bei letzter Variante wird der Anwendungsbereich der Auswertungseinrichtung auf unterschiedliche Testschienenstrecken erweitert, so dass die Ressourceneffizienz durch vielseitige Einsatzmöglichkeiten ein- und derselben Validierungseinheit weiter erhöht wird.

[0052] Die Selbstlokalisierungseinheit in oder an dem Schienenfahrzeug der erfindungsgemäßen Anordnung erfasst Messdaten zur Positionsschätzung und Orientierungsschätzung für die Position und gegebenenfalls die Pose des Schienenfahrzeugs. Diese Messdaten können durch technisch sehr unterschiedliche Arten von Messgeräten erfasst werden. Die genannten Messdaten können die folgenden Typen von Messdaten umfassen:

- Satellitennavigationsdaten,
- IMU-Daten (IMU = inertial measurement unit = inertielle Messeinheit)
- Geschwindigkeitssensordaten,
- Odometriedaten.

[0053] Satellitennavigation kann für eine Positionsermittlung oder Bewegungsrichtungsermittlung im Rahmen der differenziellen Satellitennavigation durch eine Ergänzung von Referenzstationen sowie die Auswertung der Phasenverschiebung der Trägerwelle hohe Genauigkeiten erreichen. Eine inertielle Messeinheit kann zur Orientierungsmessung genutzt werden. Geschwindigkeitsdaten und Odometriedaten können ebenfalls zur Positionsbestimmung genutzt werden.

[0054] Bevorzugt umfasst die Schienenstrecke einen krummlinigen Verlauf. Aufgrund der Messung des Referenzstreckenabstands auf Basis der Referenzmesspunkte, welche vorab sehr genau vermessen wurden, können auch Wegstrecken zwischen Referenzobjekten und Schienenfahrzeugen über krummlinig angeordnete Schienenstrecken exakt vermessen werden und als Vergleichsbasis bzw. Ground Truth für eine Validierung genutzt werden.

[0055] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 2 ein Flussdiagramm, welches ein Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

FIG 3 einen Kreisabstand auf einer Sphäre,

FIG 4 eine Darstellung von Winkelbeziehungen in einem Kreisbogen,

FIG 5 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0056] In FIG 1 ist eine schematische Darstellung bzw. eine Draufsicht einer Anordnung 1 zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gezeigt. Die Anordnung 1 umfasst eine krummlinige Schienenstrecke 2, neben der sich ein Referenzobjekt 3 befindet.

[0057] Das Referenzobjekt 3 ist in FIG 1 auf der rechten Seite lediglich schematisch gezeichnet. Weiterhin befindet sich auf der Schienenstrecke 2 ein Schienenfahrzeug 6, das in FIG 1 auf der linken Seite ebenfalls nur schematisch dargestellt ist. Das Referenzobjekt 3 befindet sich in einem Abstand d zu der Sensoreinheit 7 des Schienenfahrzeugs 6.

[0058] Das Schienenfahrzeug 6 weist eine Selbstlokalisierungseinheit 4 auf, welche dazu eingerichtet ist, eine Ego-Pose EP und insbesondere eine Ego-Position EPS des Schienenfahrzeugs 6 zu ermitteln. Die Selbstlokalisierungseinheit 4 umfasst zur Positionsermittlung eine Satellitennavigationseinheit. Zur Ermittlung der Orientierung des Schienenfahrzeugs 6 umfasst die Selbstlokalisierungseinheit 4 eine inertielle Messeinheit und/oder verarbeitet Schienenstreckenlandkartendaten, auf denen eine Orientierung eines Schienenstrangs in Abhängigkeit von der Position des Schienenfahrzeugs 6 ersichtlich ist.

[0059] Bei einer Vorbereitungsfahrt (nicht gezeigt) fährt das Schienenfahrzeug 6 die Schienenstrecke 2 ab und ermittelt bei dem Passieren eines jeweiligen Referenzmesspunkts RMP mit Hilfe seiner Selbstlokalisierungseinheit 4 dessen jeweilige Position bzw. Referenzposition.

[0060] In dem in FIG 1 gezeigten Szenario misst die Sensoreinheit 7 des Schienenfahrzeugs 6 gerade bei einer regulären Fahrt den Abstand d zu dem im Seitenbereich der Schienenstrecke 2 befindlichen Referenzobjekt 3 sowie einen Winkel α , aus dem das Referenzobjekt 3 detektiert wird. Die genannten Daten geben Auskunft über die Relativ-

position RLP des Referenzobjekts 3 zu dem Schienenfahrzeug 6.

[0061] Das Schienenfahrzeug 6 umfasst auch eine Streckenabstandsermittlungseinheit 5. Die Streckenabstandsermittlungseinheit 5 ist dazu eingerichtet, auf Basis der Relativposition RLP des Referenzobjekts 3 zu der Sensoreinheit 7 einen Streckenabstand d_s einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt 3 zu ermitteln. Hierzu wird eine Schienenstreckenlandkarte SLK (siehe auch Schritt 2.V in FIG 2), welche den Verlauf der Schienenstrecke 2 wiedergibt, herangezogen. Die Schienenstreckenlandkarte SLK kann zum Beispiel aus einem Datenspeicher (nicht gezeigt) bezogen werden.

[0062] Das Schienenfahrzeug 6 umfasst auch eine Referenzeinheit 8, welche dazu eingerichtet ist, einen ersten Referenzmesspunkt RMP1 der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten RMP zu ermitteln, welcher einer von der aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 umfassten Ego-Position EPS am nächsten liegt, und einen zweiten Referenzmesspunkt RMP2 der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten RMP zu ermitteln, welcher dem Referenzobjekt 3 am nächsten liegt. Der erste Referenzmesspunkt RMP1 ist in FIG 1 von dem Schienenfahrzeug 6 verdeckt.

[0063] Das Schienenfahrzeug 6 umfasst zudem eine Referenz-Abstandsermittlungseinheit 9 zum Zuordnen der aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 zu dem nächsten Referenzmesspunkt RMP1 (auch als erster Referenzmesspunkt RMP1 bezeichnet) zu einer von der Ego-Pose EP umfassten Ego-Position EPS und zum Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands ds_R und auf Basis des dem Referenzobjekt 3 zugeordneten Referenzmesspunkts RMP.

[0064] Schließlich umfasst das Schienenfahrzeug 6 auch eine Validierungseinheit 10 zum Validieren einer Objektlokalisierung der Sensoreinheit 7 durch Ermitteln einer Abweichung AW des ermittelten Streckenabstands ds von dem Referenz-Streckenabstand ds_R .

[0065] In FIG 2 ist ein Flussdiagramm 200 gezeigt, welches ein Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

[0066] Bei dem Schritt 2.1 erfolgt eine Referenzmessung zumindest über einen Teil einer Schienenstrecke 2. Die Referenzmessung wird durch ein Schienenfahrzeug 6 durchgeführt, das diesen Teil der Schienenstrecke 2 einmal abfährt. Dabei misst es mit einer Selbstlokalisierungseinheit 4 ständig die eigene Position und legt mit Kenntnis dieser Ego-Position EPS in regelmäßigen Abständen, beispielsweise alle 10 cm, einen Referenzmesspunkt RMP fest, dessen geographische Position P-RMP jeweils ermittelt wird. Weiterhin werden auch sämtliche an der Schienenstrecke 2 angeordnete Referenzobjekte 3 vermessen, d.h. es wird deren geographische Position GPO jeweils ermittelt.

[0067] Bei dem Schritt 2.II wird eine reguläre Fahrt eines Schienenfahrzeugs 6 auf der vermessenen Schienenstrecke 2 gestartet. In dem in FIG 2 veranschaulichten Beispiel handelt es sich bei dem Schienenfahrzeug 6 um dasselbe Schienenfahrzeug 6, das auch bei der Ermittlung der Ground Truth Daten bei dem Schritt 2.1 eingesetzt wurde. Es soll an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt werden, dass die Erfindung nicht auf dieses konkrete Ausführungsbeispiel beschränkt ist und die Vermessung der Schienenstrecke 2 und die reguläre Fahrt von unterschiedlichen Schienenfahrzeugen ausgeführt werden können.

[0068] Bei dem Schritt 2.III detektiert und lokalisiert das Schienenfahrzeug 6 ein neben der Schienenstrecke 2 angeordnetes Referenzobjekt 3 mit Hilfe einer an dem Schienenfahrzeug 6 angeordneten Sensoreinheit 7, welche zur Abstandsmessung eingerichtet ist. Dabei kann durch eine Selbstlokalisierung des Schienenfahrzeugs 6 mit einer Ermittlung einer aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 und durch eine Abschätzung der Position des Referenzobjekts 3 auf Basis der ermittelten aktuellen Ego-Position EPS des Schienenfahrzeugs 6 die geographische Position GPO des Referenzobjekts 3 zumindest grob abgeschätzt werden und auf Basis dieser groben Schätzung und auf Basis einer Look-up-Tabelle, auf der sämtliche exakte geographische Positionen GPO der Referenzobjekte 3 angegeben sind, erfolgt eine eindeutige Identifizierung des detektierten Referenzobjekts 3 und eine Ermittlung deren exakter geographischer Positionsdaten GPO bzw. dessen Referenzposition RP.

[0069] Bei dem Schritt 2.IV erfolgt auch eine Ermittlung einer Relativposition RLP des Referenzobjekts 3 zu der Sensoreinheit 7 durch eine Messung eines Abstands d des Referenzobjekts 3 zu der Sensoreinheit 7 und auf Basis der bei dem Schritt 2.III ermittelten aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6.

[0070] Bei dem Schritt 2.V wird ein Streckenabstand ds einer noch bis zu dem Referenzobjekt 3 zu fahrenden Strecke auf Basis der bei dem Schritt 2.IV ermittelten Relativposition RLP des Referenzobjekts 3 und auf Basis einer Schienenstreckenlandkarte SLK, welche den Verlauf der Schienenstrecke 2 wiedergibt, ermittelt.

[0071] Bei dem Schritt 2.VI wird die bekannte aktuelle Ego-Position EPS des Schienenfahrzeugs 6 dem nächsten Referenzmesspunkt RMP1, der ebenfalls in einer Look-up-Tabelle zu finden ist, zugeordnet.

[0072] Bei dem Schritt 2.VII wird ein Referenz-Streckenabstand ds_R bis zu dem Referenzobjekt 3 auf Basis des der Ego-Position EPS zugeordneten Referenzmesspunkts RMP1 und auf Basis des dem Referenzobjekt 3 zugeordneten Referenzmesspunkts RMP2 ermittelt. Dazu werden einfach die Abstände zwischen den Referenzmesspunkten RMP, die zwischen dem der Ego-Position EPS zugeordneten ersten Referenzmesspunkt RMP1 und dem Referenzobjekt 3 zugeordneten zweiten Referenzmesspunkt RMP2 liegen, sowie der Abstand des ersten Referenzmesspunkts RMP1 zu einem benachbarten Referenzpunkt RMP und der Abstand des zweiten Referenzmesspunkts RMP2 zu einem benachbarten Referenzmesspunkt RMP aufsummiert.

[0073] Schließlich erfolgt bei dem Schritt 2.VIII die Validierung der Objektlokalisierung der Sensoreinheit 7 durch ein Ermitteln einer Abweichung AW des auf Basis der aktuellen Abstandsmessung durch die Sensoreinheit 7 bei dem Schritt 2.V ermittelten Streckenabstands d_s und des bei dem Schritt 2.VI ermittelten Referenz-Streckenabstands d_{sR} . Liegt die Abweichung AW über einem vorbestimmten Schwellwert, so muss die Objektlokalisierung als nicht mehr zuverlässig eingestuft werden und eine Benachrichtigung einer Wartungseinheit oder eine automatisierte Reaktion ausgelöst werden. Beispielsweise kann eine automatisierte Reaktion ein Umschalten auf eine redundante Sensoreinheit umfassen oder eine automatisierte Re-Kalibrierung der möglicherweise nicht mehr exakt funktionierenden Sensoreinheit 7 umfassen.

[0074] In FIG 3 ist ein Kreisabstand auf einer Sphäre zwischen einem Punkt P und P_0 gezeigt. Mittels der sogenannten Haversine-Formel lässt sich der Abstand zwischen zwei gegebenen Punkten auf einer Sphäre berechnen. Mithin lässt sich der Abstand zwischen zwei Punkten, deren Geokoordinaten bekannt sind, leicht berechnen. Insbesondere können auf diese Weise exakte Abstände zwischen Referenzmesspunkten RMP ermittelt werden.

[0075] In FIG 4 ist eine Darstellung von Winkelbeziehungen in einem Einheitskreis gezeigt. Die Punkte A, B und der Mittelpunkt Q' bilden ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Schenkel die Länge 1 aufweisen. Einer der Schenkel, die Höhe h des gleichschenkligen Dreiecks, und die halbe Basis des gleichschenkligen Dreiecks, bilden ein rechtwinkliges Dreieck mit dem Schenkel mit der Einheitslänge 1 als Hypotenuse und dem Winkel θ zwischen dem Schenkel des gleichschenkligen Dreiecks und der Höhe h. Die Basis des gleichschenkligen Dreiecks wird an dem Fußpunkt C in zwei gleiche Hälften geteilt. Wird die Höhe h in x-Richtung verlängert, so schneidet die verlängerte Halbgerade den Einheitskreis im Punkt D. Der Funktionswert $\sin\theta$ wird durch die halbe Basis des gleichschenkligen Dreiecks gebildet. Der Funktionswert $\cos\theta$ wird durch die Höhe h des gleichschenkligen Dreiecks gebildet und der Funktionswert $\text{hav}\theta$ wird durch die Strecke zwischen den Punkten C und D gebildet. Soll nun die in FIG 4 gezeigte Bogenstrecke d_0 aus den Koordinaten $(\text{lat}_1, \text{lon}_1)$, $(\text{lat}_2, \text{lon}_2)$ der beiden Punkte P, P_0 , wobei "lat" für Breitengrad und "lon" für Längengrad steht und "1", "2" die beiden unterschiedlichen Punkte P, P_0 symbolisieren, berechnet werden, so ergibt sich der Abstand zwischen den Punkten P und P_0 , d.h. der Abstand d_0 zu:

$$d_0 = r \operatorname{archav}(\operatorname{hav}(\theta)), \quad (1)$$

wobei

$$\operatorname{hav}(\theta) = \operatorname{hav}(\text{lat}_2 - \text{lat}_1) + \cos(\text{lat}_1) \cdot \cos(\text{lat}_2) \cdot \operatorname{hav}(\text{lon}_2 - \text{lon}_1). \quad (2)$$

und Gleichung (2) in Gleichung (1) eingesetzt ergibt schließlich den Abstand von d_0 , wobei r den Erdradius repräsentiert.

[0076] In FIG 5 ist eine schematische Darstellung einer Anordnung 1 zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

[0077] Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel weist die Anordnung 1 eine von dem Schienenfahrzeug 6 und dem Referenzobjekt 3 separate stationäre Auswertungseinrichtung 12 auf. Das Schienenfahrzeug 6 umfasst in diesem Fall nur die Sensoreinheit 7 zur Detektion und Lokalisierung eines Referenzobjekts 3, die Selbstlokalisierungseinheit 4 zur Ermittlung einer Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 und eine Sendeeinheit 5a zum Übermitteln der ermittelten Messdaten RLP, EP. In FIG 5 ist auch ein "echtes" Hindernis 3' im Bereich der Schienenstrecke 2 gezeigt, das ebenfalls von der Sensoreinheit 7 des Schienenfahrzeugs 6 zu detektieren bzw. zu lokalisieren ist.

[0078] Die stationäre Auswertungseinrichtung 12 umfasst in diesem Fall eine Empfangseinheit 5b zum Empfangen der Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 und zum Empfangen der Relativposition RLP des Referenzobjekts 3 oder des echten Hindernisses 3' zu dem Schienenfahrzeug 6. Teil der Auswertungseinrichtung 12 ist auch eine Streckenabstandsermittlungseinheit 5, welche dazu eingerichtet ist, auf Basis der Relativposition RLP des Referenzobjekts 3 oder des echten Hindernisses 3' zu dem Schienenfahrzeug 6 einen Streckenabstand d_s einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt 3 bzw. zu dem echten Hindernis 3', auch als Dummy-Hindernis bezeichnet, zu ermitteln. Hierzu wird eine Schienenstreckenlandkarte SLK, welche den Verlauf der Schienenstrecke 2 wiedergibt, herangezogen. Die Schienenstreckenlandkarte SLK kann zum Beispiel aus einem Datenspeicher (nicht gezeigt) bezogen werden.

[0079] Die Auswertungseinrichtung 12 umfasst auch eine Referenzeinheit 8, welche dazu eingerichtet ist, einen ersten Referenzmesspunkt RMP1 der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten RMP zu ermitteln, welcher einer von der aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 umfassten Ego-Position EPS am nächsten liegt, und einen zweiten Referenzmesspunkt RMP2 der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten RMP zu ermitteln, welcher dem Referenzobjekt 3 bzw. dem echten Hindernis 3' am nächsten liegt. Die Ermittlung des ersten Referenzmesspunkts RMP1 erfolgt auf Basis der aktuellen Ego-Pose EP des Schienenfahrzeugs 6 und der Positionsdaten der Referenzmesspunkte RMP, welche in einer Datenbank, welche zum Beispiel Teil der Referenzeinheit 8 ist, abgespeichert sind. Die Ermittlung des zweiten Referenzmesspunkts RMP2 erfolgt durch Vergleich der bekannten Referenzposition RP des Referenzobjekts

3 bzw. des echten Hindernisses 3' mit den Positionsdaten der Referenzmesspunkte RMP aus der Datenbank.

[0080] Die Auswertungseinrichtung 12 weist zudem eine Referenz-Abstandsermittlungseinheit 9 zum Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands ds_R auf Basis des ersten Referenzmesspunkts RMP1 und des zweiten Referenzmesspunkts RMP2 und auf Basis der zwischen dem ersten und dem zweiten Referenzmesspunkt RMP1, RMP2 liegenden Referenzmesspunkte RMP auf.

[0081] Schließlich umfasst das Schienenfahrzeug 6 auch eine Validierungseinheit 10 zum Validieren einer Objektkoordinatierung der Sensoreinheit 7 durch Ermitteln einer Abweichung AW des ermittelten Streckenabstands ds von dem Referenz-Streckenabstand ds_R .

[0082] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorbeschriebenen Verfahren und Vorrichtungen lediglich um bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung handelt und dass die Erfindung vom Fachmann variiert werden kann, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Es wird der Vollständigkeit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht ausschließt, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff "Einheit" nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten besteht, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

[0083] Unabhängig vom grammatikalischen Geschlecht eines bestimmten Begriffes sind Personen mit männlicher, weiblicher oder anderer Geschlechteridentität mit umfasst.

Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektkoordinatierung, aufweisend die Schritte:

- Detektieren eines Referenzobjekts (3), dessen Referenzposition (RP) bekannt ist und welches an oder auf einer von dem Schienenfahrzeug (6) befahrenen Schienenstrecke (2) angeordnet ist, welche neben mindestens einem Referenzobjekt (3) eine Vielzahl von über die Schienenstrecke (2) verteilten Referenzmesspunkten (RMP), deren Positionen (P-RMP) ebenfalls bekannt sind, aufweist, durch die Sensoreinheit (7), wobei eine Relativposition (RLP) des Referenzobjekts (3) durch eine Messung eines Abstands (d) des Referenzobjekts (3) zu der Sensoreinheit (7) und eines Winkels (α), aus dem das Referenzobjekt (3) von der Sensoreinheit (7) detektiert wird, ermittelt wird,
- Ermitteln eines Streckenabstands (ds) einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt (3) entlang der Schienenstrecke (2) auf Basis der Relativposition (RLP) und auf Basis einer Schienenstreckenlandkarte (SLK), welche den Verlauf der Schienenstrecke (2) wiedergibt,
- Ermitteln einer Ego-Pose (EP) des Schienenfahrzeugs (6) durch eine an dem Schienenfahrzeug (6) angeordnete Selbstlokalisierungseinheit (4),
- Auswählen eines ersten Referenzmesspunkts (RMP1) aus der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten (RMP), welcher einer von der Ego-Pose (EP) umfassten Ego-Position (EPS) des Schienenfahrzeugs am nächsten liegt, und eines zweiten Referenzmesspunkts (RMP2) aus der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten (RMP), welcher dem Referenzobjekt (3) am nächsten liegt,
- Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands (ds_R) einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt (3) auf Basis des ersten Referenzmesspunkts (RMP1) und auf Basis des zweiten Referenzmesspunkts (RMP2),
- Validieren einer Funktion der Sensoreinheit (7) zur Objektkoordinatierung durch Ermitteln einer Abweichung (AW) des ermittelten Streckenabstands (ds) von dem Referenz-Streckenabstand (ds_R).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Positionen (P-RMP, RP) der Referenzmesspunkte (RMP1) und des Referenzobjekts (3) oder der Referenzobjekte (3) bei einer vorab erfolgten Messfahrt durch eine Referenzmessung ermittelt werden, wobei die Schienenstrecke (2) durch ein Schienenfahrzeug (6), welches eine Selbstlokalisierungseinheit (4) aufweist, abgefahren wird und bei dem Abfahren der Schienenstrecke (2) die Referenzmesspunkte (RMP) und das Referenzobjekt (3) oder die Referenzobjekte (3) passiert werden und deren geographische Positionen (P-RMP, GPO) mit der Selbstlokalisierungseinheit (4) ermittelt werden.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Selbstlokalisierungseinheit (4) mindestens eine der folgenden Typen von Selbstlokalisierungseinheiten umfasst:

- eine Navigationseinheit zum Empfangen eines Satellitennavigationssignals,
- eine inertielle Messeinheit,
- eine Selbstlokalisierungseinheit zur Ermittlung der Ego-Pose (EP) des Schienenfahrzeugs (6) auf Basis von

Streckenmarkierungen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Selbstlokalisierungseinheit (4) zur Ermittlung der Ego-Pose (EP) des Schienenfahrzeugs (6) auf Basis von Streckenmarkierungen, welche die Referenzmesspunkte (RMP) umfassen, ausgebildet ist.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die bekannte Referenzposition (RP) dem Referenzobjekt (3) durch eine Identifizierung des Referenzobjekts (3) und eine Ermittlung der bekannten Referenzposition (RP) auf Basis einer Look-up-Tabelle, in der zu jedem Referenzobjekt (3) eine geographische Position (P-RMP) angegeben ist, zugeordnet wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Referenzposition (RP) des Referenzobjekts (3) durch eine Ermittlung eines nächsten Referenzmesspunkts (RMP) zu dem Referenzobjekt (3) und durch eine Zuordnung der geographischen Position (P-RMP) des nächsten Referenzmesspunkts (RMP) zu dem Referenzobjekt (3) ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands (ds_R) bis zu dem Referenzobjekt (3) die Addition der Abstände zwischen benachbarten Referenzmesspunkten (RMP) aufweist, welche
 - den ersten Referenzmesspunkt (RMP1) und
 - den zweiten Referenzmesspunkt (RMP2) sowie
 - sämtliche Referenzmesspunkte (RMP), welche zwischen dem ersten Referenzmesspunkt (RMP1) und dem zweiten Referenzmesspunkt (RMP2) liegen, umfassen.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Referenzmesspunkte (RMP) und ihre Referenzpositionen (RP) in einer Look-up-Tabelle abgespeichert sind und bei dem Auswählen des ersten Referenzmesspunkts (RMP1) und des zweiten Referenzmesspunkts (RMP2) und der Ermittlung des Referenz-Streckenabstands (ds_R) auf die Look-up-Tabelle zugegriffen wird, um die Referenzpositionen (RP) der Referenzmesspunkte (RMP1, RMP2, RMP) zu ermitteln.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Referenzobjekt (3) beweglich ist und unterschiedliche Referenzpositionen (RP) einnehmen kann und seine aktuelle Referenzposition (RP) durch eine an dem Referenzobjekt (3) angeordnete Selbstlokalisierungseinheit ermittelt.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schienenstreckenlandkarte (SLK), welche den Verlauf der Schienenstrecke (2) wiedergibt, die Referenzmesspunkte (RMP) und deren Referenzpositionen (P-RMP) wiedergibt.
11. Anordnung (1) zur dynamischen Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektlokalisierung, aufweisend:
 - eine Schienenstrecke (2) mit einer Mehrzahl von über die Schienenstrecke (2) verteilten Referenzmesspunkten (RMP), deren Positionen (P-RMP) bekannt sind,
 - mindestens ein Referenzobjekt (3) an oder auf der Schienenstrecke (2), dessen Referenzposition (RP) ebenfalls bekannt ist,
 - ein Schienenfahrzeug (6), welches aufweist:
 - eine Sensoreinheit (7), welche dazu eingerichtet ist, ein Referenzobjekt (3) durch eine Messung eines Abstands (d) des Referenzobjekts (3) zu der Sensoreinheit (7) zu detektieren und eine Relativposition (RLP) des Referenzobjekts (3) zu der Sensoreinheit (7) auf Basis des gemessenen Abstands (d) des Referenzobjekts (3) zu der Sensoreinheit (7) und auf Basis eines Winkels (α), aus dem das Referenzobjekt (3) von der Sensoreinheit (7) detektiert wird, zu ermitteln,
 - eine Selbstlokalisierungseinheit (4) zum Ermitteln einer Ego-Pose (EP) des Schienenfahrzeugs (6),
 - eine Streckenabstandsermittlungseinheit (5) zum Ermitteln eines Streckenabstands (ds) einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt (3) entlang der Schienenstrecke (2) auf Basis der Relativposition (RLP) und auf Basis einer Schienenstreckenlandkarte (SLK), welche den Verlauf der Schienenstrecke (2) wie-

dergibt,

- eine Referenzeinheit (8) zum Auswählen eines ersten Referenzmesspunkts (RMP1) aus der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten (RMP), welcher einer von der Ego-Pose (EP) umfassten Ego-Position (EPS) am nächsten liegt, und eines zweiten Referenzmesspunkts (RMP2) aus der Vielzahl von verteilten Referenzmesspunkten (RMP), welcher dem Referenzobjekt (3) am nächsten liegt,
- eine Referenz-Abstandsermittlungseinheit (9) zum Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands (ds_R) einer noch zu fahrenden Strecke bis zu dem Referenzobjekt (3) auf Basis des ersten Referenzmesspunkts (RMP1) und auf Basis des zweiten Referenzmesspunkts (RMP2),
- eine Validierungseinheit (10) zum Validieren der Funktion der Sensoreinheit (7) zur Objektlokalisierung durch Ermitteln einer Abweichung (AW) des ermittelten Streckenabstands (ds) von dem Referenz-Streckenabstand (ds_R).

12. Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Schienenstrecke (2) einen krummlinigen Verlauf umfasst.

13. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Schienenfahrzeug (6) mindestens eine der folgenden Einheiten aufweist:

- die Streckenabstandsermittlungseinheit (5),
- die Referenzeinheit (8),
- die Referenz-Abstandsermittlungseinheit (9),
- die Validierungseinheit (10).

14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Ermitteln eines Streckenabstands (ds), des Auswählens eines ersten Referenzmesspunkts (RMP1) und eines zweiten Referenzmesspunkts (RMP2), des Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands (ds_R) und des Validierens einer Funktion der Sensoreinheit (7) zur Objektlokalisierung des Verfahrens, nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen.

15. Computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Ermitteln eines Streckenabstands (ds), des Auswählens eines ersten Referenzmesspunkts (RMP1) und eines zweiten Referenzmesspunkts (RMP2), des Ermitteln eines Referenz-Streckenabstands (ds_R) und des Validierens einer Funktion der Sensoreinheit (7) zur Objektlokalisierung des Verfahrens nach, einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen.

FIG 1

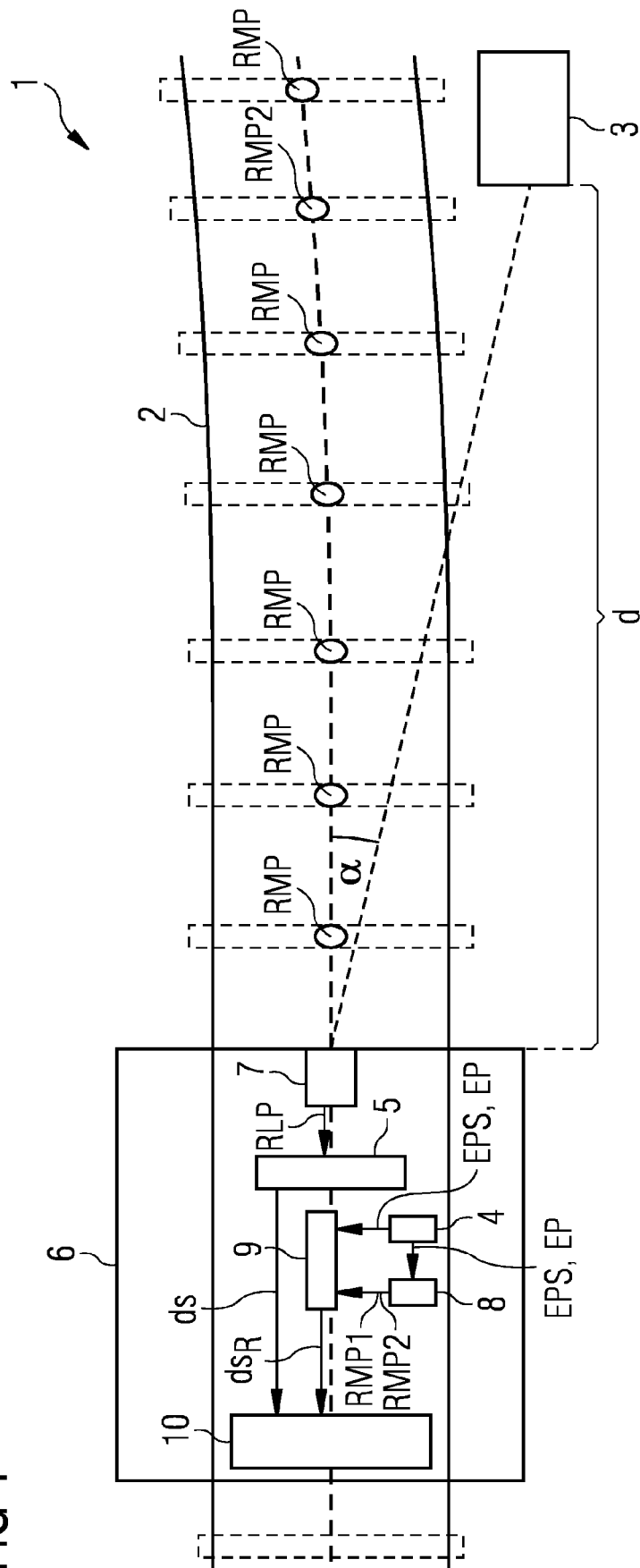


FIG 2

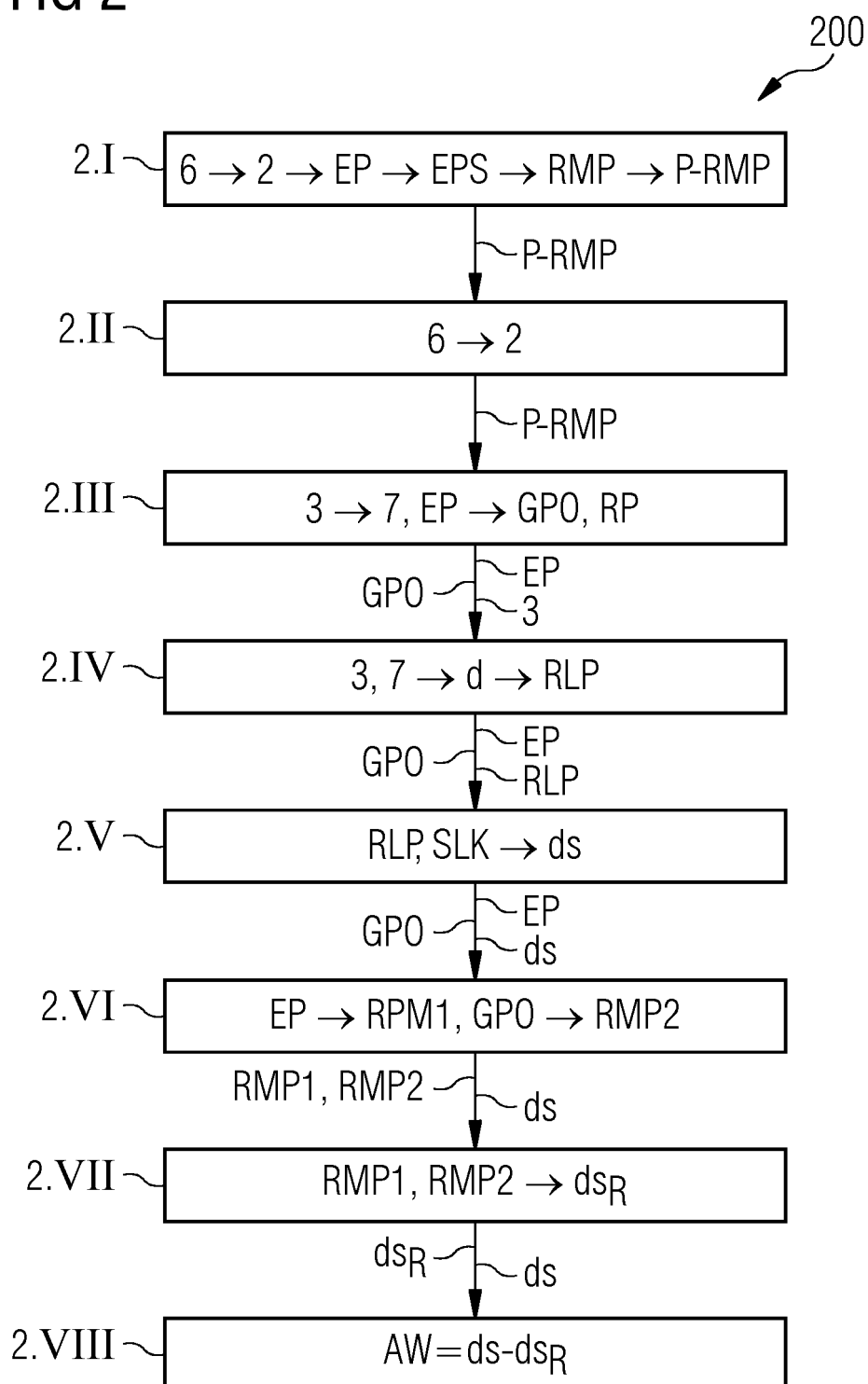


FIG 3

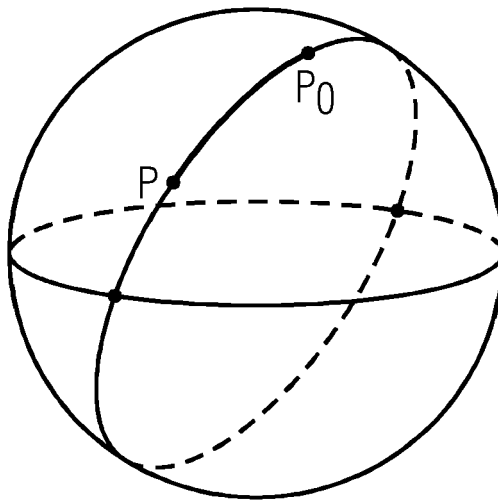


FIG 4

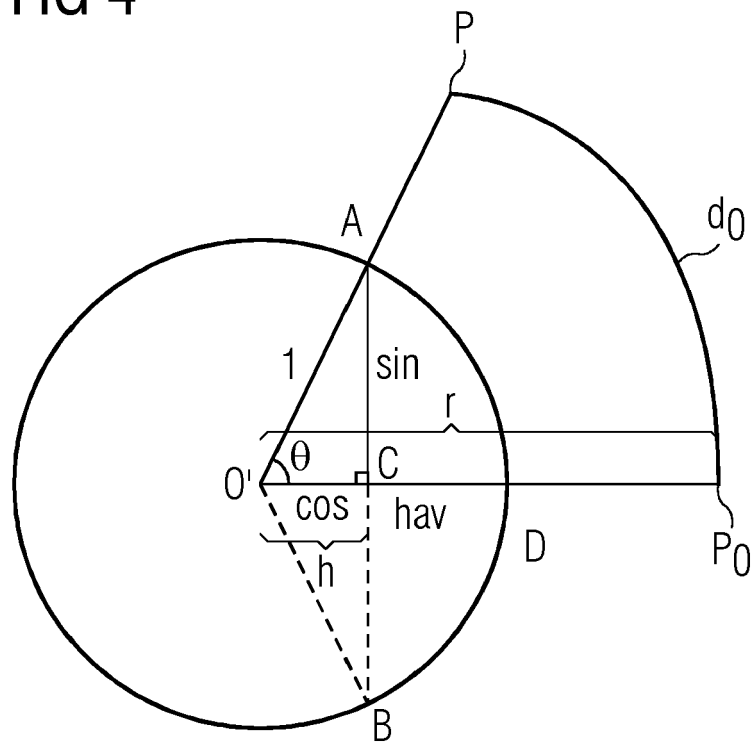
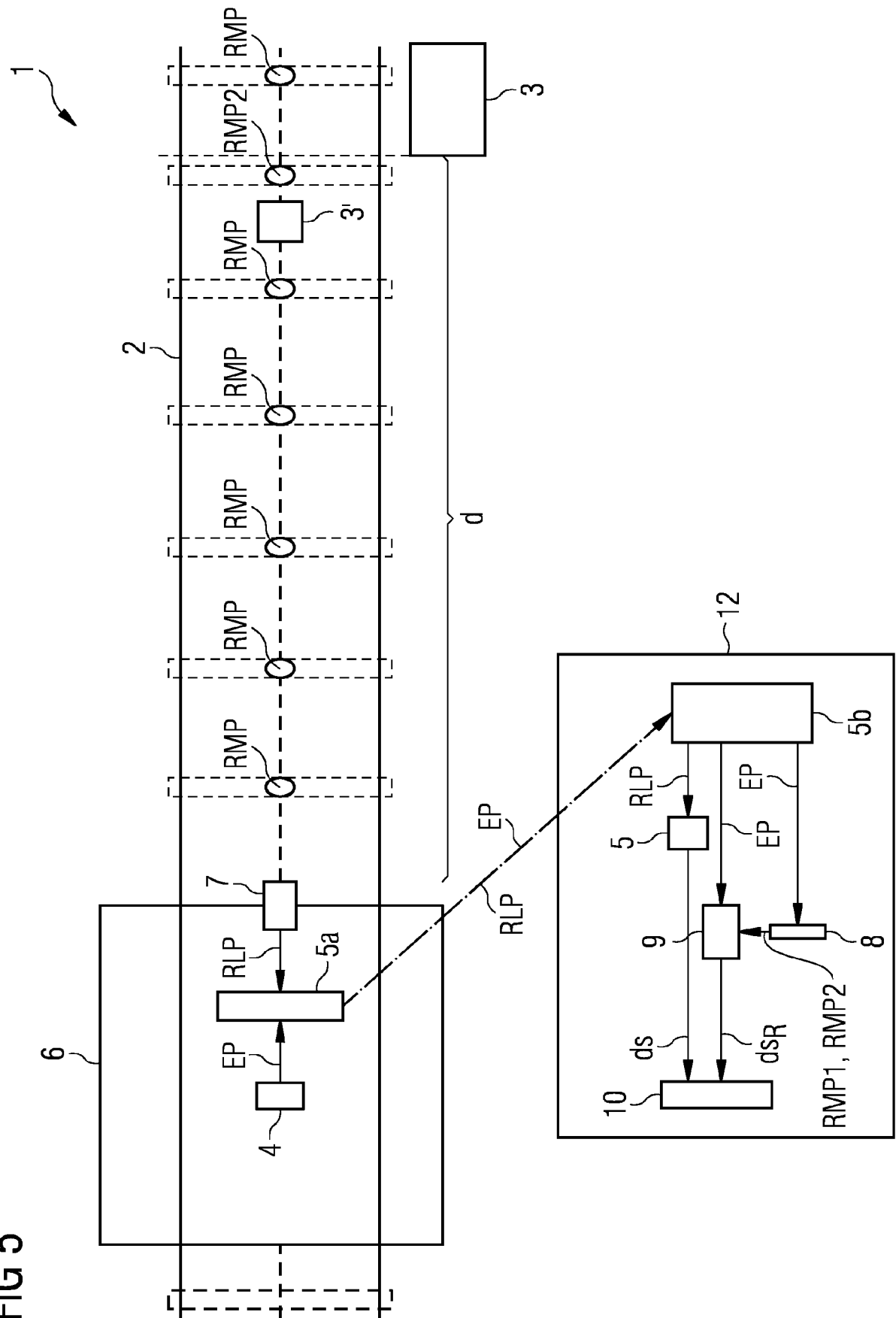


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 17 2971

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2016 225595 A1 (SIEMENS AG [DE]) 21. Juni 2018 (2018-06-21) * Absätze [0001], [0008] - [0012], [0022], [0027] - [0029], [0040] - [0100]; Abbildungen 1,2 * -----	1-15	INV. B61L25/02 B61L23/04
A	DE 10 2020 212374 A1 (SIEMENS MOBILITY GMBH [DE]) 31. März 2022 (2022-03-31) * Absätze [0001], [0007], [0015], [0016]; Abbildungen 1,2 * -----	1-15	
A	DE 10 2021 203014 A1 (SIEMENS MOBILITY GMBH [DE]) 29. September 2022 (2022-09-29) * Absätze [0001], [0046] - [0047], [0064] - [0070]; Abbildungen 1,2 * -----	1-15	
A	WO 2007/096273 A1 (SIEMENS AG [DE]; BAUER JOCHEN [DE] ET AL.) 30. August 2007 (2007-08-30) * Seite 1, Zeile 3 - Zeile 10 * * Seite 2, Zeile 17 - Seite 4, Zeile 17 * * Seite 6, Zeile 14 - Zeile 36 * * Seite 7, Zeile 26 - Seite 14, Zeile 12 * * Abbildung 1 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B61L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
München	15. Oktober 2024	Massalski, Matthias	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 17 2971

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-10-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102016225595 A1	21-06-2018	KEINE	

15	DE 102020212374 A1	31-03-2022	DE 102020212374 A1	31-03-2022
			EP 3978332 A1	06-04-2022

	DE 102021203014 A1	29-09-2022	DE 102021203014 A1	29-09-2022
			EP 4277826 A1	22-11-2023
20			US 2024174274 A1	30-05-2024
			WO 2022200020 A1	29-09-2022

	WO 2007096273 A1	30-08-2007	DE 102006007788 A1	30-08-2007
			WO 2007096273 A1	30-08-2007

25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82